

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Génie des Matériaux  
Domaine : Sciences et Technologie  
Filière : Génie de procédé  
Spécialité : Génie des Matériaux  
Thème

***Dessalement de l'eau de Mer par osmose inverse***

Présenté Par :

- 1) M Missaoui Marwa
- 2) Melle Bendaoud Asmaa

Devant le jury composé de :

Dr Chouat Nadjet	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr Ramlaoui Ahmed	UAT.B.B UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Pr. Nehari Driss	M C A UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr Nehari Abderrahmane	M C B UAT.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadrante

*Année Universitaire 2023/2024*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciements :

*Je remercie en premier lieu **DIEU** tout puissant pour m'avoir accordé la puissance, la patience, le courage et la volonté de terminer ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier **Pr. Nehari Idriss** pour avoir accepté d'encadrer ce travail et de m'avoir apporté ses connaissances et ses conseils précieux.*

*Je tiens à remercier **Mr Nehari Abderrahmane** pour son aide, son encouragement, ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de ce travail.*

*Je tiens à remercier particulièrement et très sincèrement **Mme Mostefaoui Leïla** pour ses efforts continus et ses précieux conseils pendant cette période difficile.*

*J'aimerais exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous les membres du jury pour avoir bien voulu donner de leur temps pour lire ce travail et faire partie des examinateurs. Leurs critiques et commentaires seront bénéfiques pour enrichir nos connaissances dans ce domaine.*

*Je remercie l'ensemble du personnel de la BWC, à leur tête **Mr Zoheiri Abderrahmane** pour m'avoir donné la chance de faire mon stage au sein de la station et je tiens à remercier **Mr Bouzzada Cheikh** pour ses conseils.*

*Je suis très reconnaissante à **Mme Lahcen Bencherif Amina**, ingénieur et responsable du laboratoire du génie de l'eau et de l'environnement pour son aide durant mes expériences.*

*Enfin, je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

***Merci à tous et à toutes.***

# **Dédicace :**

***Je dédie ce modeste travail :***

*A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse et de force, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, **ma mère** ...*

***A mon père**, mon professeur de toujours qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.*

***Que dieu les gardes et les protèges.***

*A mon frères : Jalal*

*A ma seule et unique sœur et sa fille : Nour el Houda et Wissal*

*A tous mes **meilleures amis**, en particulier : Kamar, Imane, Asmaa, Nihad, Marwa .....*

*A tous mes oncles et tantes, cousins et cousines,*

***Missaoui Marwa***

## **Dédicace :**

**Au profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,**

### **A MA CHERE MERE**

Aucune dédicace ne me saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je t'aime et je te remercie pour tout ce que tu as fait pour moi, j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

### **A L'AME DE MON PERE**

Ce travail est dédié à mon père, décède trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'espère que du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme .Puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

Tes paroles resteront des étoiles dont je me guiderai aujourd'hui, demain et pour toujours.

**A MES TRES CHERES FRERES :** Youcef, Sid Ahmed et Djamel Eddine

**A MA SOEUR ET MES BELLES SOEURS :** Noura, Fatima et Amira

**A MA TRES CHERE PROFFESOEUR :** Fatiha Bendaoud

**A MES NIECES & MES NEVEUX :** Hanaa, Marwa, Fatima, Lina, Anes et Mohamed

**A MES TRES CHERS AMIES :** Kamar, Marwa et Marwa.

A tous ce que j'aime et ce que m'aiment

***Bendaoud Asmaa***

## **Résumé :**

L'osmose inverse (OI) est basée sur le fait que l'eau à traiter traverse une membrane semi-perméable sous une pression supérieure à la pression osmotique, ce qui permet de retenir les solutés du côté du concentré et d'obtenir un perméat (eau traitée) de l'autre côté.

Notre mémoire présente une lecture des différents procédés dessalement d'eau de mer, et met en lumière le processus d'osmose inverse le plus répandu en Algérie appuyé par un stage effectué au niveau de la station de dessalement BWC. Ce mémoire expose une série d'expériences effectuées sur un pilote d'OI ROUC qui ont pour objectif d'étudier les conséquences de divers paramètres, tels que la pression, la température, le débit et la concentration en sel, sur l'efficacité du processus d'OI.

L'augmentation de la pression (35 bars et 40 bars) peut réduire l'efficacité de la membrane en provoquant des effets de polarisation et de colmatage. Une température plus élevée (35°C et 40°C) augmente la perméabilité de la membrane et facilite le passage des sels. Le débit d'alimentation et la concentration en sel influencent également le rendement : un débit de 29,9 ml/s produit un rendement de 4,4%, tandis que des concentrations en sel de 15 g/l et 20 g/l réduisent le rendement à 1,86% et 1,49%, respectivement.

**Mots clés :** dessalement, osmose inverse, pression, concentration, membrane.

## الملخص:

يعتمد التناضح العكسي (RO) على حقيقة أن الماء المراد معالجته يمر عبر غشاء شبه منفذ تحت ضغط أعلى من الضغط الأسموزي، مما يجعل من الممكن الاحتفاظ بالمواد المذابة في الجانب المركز والحصول على مادة متنفذة (معالجة الماء) من جهة أخرى.

تقدم أطروحتنا قراءة لعمليات تحلية مياه البحر المختلفة، وتسلط الضوء على عملية التناضح العكسي الأكثر شعبية في الجزائر، مدعومة بتدريب داخلي تم إجراؤه في محطة تحلية مياه البحر BWC. تقدم هذه الأطروحة سلسلة من التجارب التي تم إجراؤها على ROUC RO التجريبي والتي تهدف إلى دراسة نتائج العوامل المختلفة، مثل الضغط ودرجة الحرارة ومعدل التدفق وتركيز الملح، على كفاءة عملية OI.

زيادة الضغط (35 بار و 40 بار) يمكن أن تقلل من كفاءة الغشاء عن طريق التسبب في تأثيرات الاستقطاب والانسداد. ارتفاع درجة الحرارة (35 درجة مئوية و 40 درجة مئوية) يزيد من نفاذية الغشاء ويسهل مرور الأملاح. يؤثر معدل التغذية وتركيز الملح أيضاً على المحصول: معدل التدفق 29.9 مل / ثانية ينتج محصولاً بنسبة 4.4٪، في حين أن تراكيزات الملح 15 جم / لتر و 20 جم / لتر تقلل المحصول بنسبة 1.86٪ و 1.49٪ على التوالي.

**الكلمات المفتاحية:** تحلية المياه، التناضح العكسي، الضغط، التركيز، الغشاء.

## **Abstract:**

Reverse osmosis (RO) is based on the fact that the water to be treated passes through a semi-permeable membrane under a pressure higher than the osmotic pressure, which makes it possible to retain the solutes on the concentrate side and obtain a permeate (treated water) on the other side.

Our dissertation presents a reading of the different seawater desalination processes, and highlights the most popular reverse osmosis process in Algeria, supported by an internship carried out at the BWC desalination station. This thesis presents a series of experiments carried out on a ROUC RO pilot which aim to study the consequences of various parameters, such as pressure, temperature, flow rate and salt concentration, on the efficiency of the RO process.

Increasing the pressure (35 bars and 40 bars) can reduce the efficiency of the membrane by causing polarization and clogging effects. A higher temperature (35°C and 40°C) increases the permeability of the membrane and facilitates the passage of salts. Feed rate and salt concentration also influence yield: a flow rate of 29.9 ml/s produces a yield of 4.4%, while salt concentrations of 15 g/l and 20 g/l reduce the yield at 1.86% and 1.49%, respectively.

**Key words:** desalination, reverse osmosis, pressure, concentration, membrane.



# ***Table des matières***

## **Table des matières :**

Remerciements .....	I
Dédicace .....	II
Résumé .....	III
Table des matières .....	IV
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Introduction Générale.....	1

### **Chapitre I :**

#### **Généralités sur le dessalement**

I.1. Introduction :.....	3
I.2 Définition de dessalement :.....	3
I.3 Les eaux de dessalement :.....	3
1.3.1 Les eaux de mer :.....	3
I.3.2 Les eaux saumâtres : .....	4
I.4. Les stations de dessalement de l'eau de mer dans le monde : .....	4
I.5. Le dessalement de l'eau de mer en Algérie : .....	5
I.5.1 Les stations de dessalement en Algérie : .....	5
I.5.2 Stations monoblocs : .....	6
I.6. Différents procédés de dessalement :.....	6
I.6.1. Les procédés de distillation :.....	7
• Distillation à simple effet :.....	7
• Distillation à effets multiples (Multi Effet Distillation : MED) : .....	8
• Distillation par détente successive ou multi flash (MSF):.....	9
• Distillation par compression de vapeur.....	10
I.6.2 Les procédés membranaires :.....	11
• L'électrodialyse :.....	11
• L'osmose inverse (OI) : .....	11

I.6.3. Les procédés chimiques :	12
• Echangeurs d'ions :	12
• Extraction par solvant :	12
• Autres procédés :	12
1) La congélation :	12
2) Le dessalement par énergie solaire et éolienne :	12
I.7. Rejets de saumures :	13
I.8. Les problèmes techniques rencontrés en dessalement :	13
I.8.1 Entartrage :	13
I.8.2 Le colmatage :	14
I.8.3 La corrosion :	14
I.9. Les avantages et les inconvénients de dessalement :	14
Conclusion :	15

## **Chapitre II**

### **L'osmose inverse**

II.1.introduction :	17
II.2. Principe de l'osmose inverse :	17
II .3 : pression osmotique :	18
II .4: Schéma général d'une installation d'osmose inverse :	19
II.4.1. L'alimentation en eau de mer :	20
II.4.2. Le prétraitement:	20
II.4.3. Installation de dessalement :	21
II.4.4. Le post-traitement :	21
II .5: Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse : taux de conversion, taux de rejet, débit spécifique	21
II .5.1 : Taux de conversion :	21
II .5.2 .Sélectivité :	22
II .5.3.Débit spécifique ou densité du flux volumique :	22
II .6: Mécanismes de transfert :	22
II .7.Module d'osmose inverse :	23
II.7.1.Modules Spirales :	23
II.7.2. Modules Tubulaires :	24

II.7.3. Modules plans et en plaques :	25
II.7.4. Modules en fibres:	25
II.7.5. Modules en céramiques :	25
II.7.6. Modules en fibres creuses:	26
II .8.Durée de vie des membranes :	27
II.9.Consommation d'énergie :	27
II.10. Récupération d'énergie :	27
II.11.Conclusion :	28

## **Chapitre III**

### **La description de la station de dessalement d'eau de mer de Béni Saf (BWC)**

Introduction :	33
III.1. Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de Beni Saf :	33
III.2.Situation géographique :	34
III.3. Fiche Technique :	35
III.4.Processus de la station :	35
III.5.Description du fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer :	36
III.5.1. Captage :	36
III.5.1.1.Bâtiment de Captage :	37
III.5.1.2. Dégrillage:	38
III.5.1.3. Filtres rotatifs :	39
III.5.1.4. La station de pompage:	39
III.5.2. Zone de production:	40
III.5.2.1.Prétraitement :	40
III.5.2.1.1. Prétraitement chimique:	41
a) Traitement par chlorure ferrique (coagulation) :	41
b) Traitement par acide sulfurique (neutralisation du pH) :	41
C) Injection de Meta bisulfite sodique (neutralisation du chlore libre) .....	42
D) Dosage d'anti incrustant .....	42
III.5.2.1.2. La filtration sur sable:	42
III.5.2.1.3. Caractéristiques des filtres :	43
III.5.2.1.4. Filtrage à anthracite:	43

III.5.2.1.5. Filtration par cartouches: .....	44
III.5.2.1.6. Caractéristiques des filtres :.....	45
III.5.2.1.7. Caractéristiques des cartouches :.....	45
III.5.2.1.8. Description du prétraitement chimique: .....	45
III.5. 3. Post d'osmose inverse : .....	46
III.5. 4. Membranes: .....	48
III.5. 5. Description du récupérateur d'énergie: .....	49
III.5. 6. Le post traitement : .....	49
III.5. 7. Le Stockage : .....	50
III.5. 8. Equipment de nettoyage : .....	50
III.5.8. 1. Nettoyage des filtres :.....	50
III.5.8.2. Nettoyage des membranes :.....	51
III.5.9. Bâtiment de saumure : .....	51
III.5.10. Le laboratoire : .....	52
III.5.11. Salle de contrôle : .....	53
III.5.12. Autres composants de la station : .....	53
Conclusion :.....	54

## **Chapitre IV**

### **La partie expérimentale**

Introduction : .....	57
IV.1. Méthodes et Matériels : .....	57
IV.1.1. Description du fonctionnement du pilote « ROUC » :.....	57
IV.1. 2. Les Principaux Caractéristiques De L'unité ROUC : .....	58
IV.1.3. Préparation de la solution : .....	62
IV.1.4. Mise en marche du pilote : .....	63
IV.1.5. Conditions opératoires des essais .....	63
IV.1.6. Note de calcul : .....	64
IV.2. Résultats et interprétations : .....	65
IV.2.1. Pression : .....	65
IV.2.2. Température : .....	67
IV.2.3. Débit : .....	69
IV.2.4. Concentration : .....	71

IV. 3. Discussions – limites – et recommandations : .....	73
Conclusion : .....	75
Conclusion Générale .....	76
Bibliographie	

# *Liste des figures*

## Liste des figures :

### Chapitre I :

<b>Figure I-1:</b> Différents procédés de dessalement.....	7
<b>Figure I.2:</b> Distillateur simple effet .....	8
<b>Figure I .3:</b> Distillation à multiples effet.....	9
<b>Figure I.4:</b> ci-dessous schématise un distillateur par détente successive .....	10
<b>Figure I.5:</b> Schéma d'une unité de distillation avec compression de vapeur .....	10
<b>Figure I.6:</b> Schéma d'une unité de dessalement par électrodialyse .....	11

### Chapitre II :

<b>Figure II.1:</b> Principe d'osmose inverse .....	17
<b>Figure II-2:</b> Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse .....	18
<b>Figure II-3:</b> Module spirale.....	24
<b>Figure II-4:</b> Module tubulaire.....	25
<b>Figure II-5:</b> Module plan.....	25
<b>Figure II-6:</b> Module en fibres creuses .....	26
<b>Figure II-7 :</b> Membranes à fibres creuses .....	26

### Chapitre III :

<b>Figure III.1:</b> la station de dessalement de Chatte el Hillel (Beni Saf) .....	34
<b>Figure III. 2:</b> Site géographique de la SDEM de Béni Saf. ....	34
<b>Figure III. 3 :</b> Processus de dessalement de la SDEM de Beni Saf. ....	36
<b>Figure III.4:</b> Préfabrication de la tour de Captage.....	37
<b>Figure III.5 :</b> Préfabrication de l'émissaire DN 2400. ....	37
<b>Figure III.6 :</b> Lancement de l'émissaire de captage. ....	37

<b>Figure III.7 :</b> La conduite du captage d'eau de mer. ....	37
<b>Figure III. 8 :</b> Bâtiment de captage .....	38
<b>Figure III. 9:</b> Réservoir de stockage d'Hypochlorite de sodium. ....	38
<b>Figure III.10:</b> Le dégrillage pour éliminer les plus gros déchets. ....	39
<b>Figure III. 11 :</b> Filtres rotatifs de nettoyage. ....	39
<b>Figure III. 12:</b> pompes de pompage et bassin de stockage .....	40
<b>Figure III. 13 :</b> Bâtiment de dosage chimique. ....	41
<b>Figure III. 14:</b> Bâtiment d'acide sulfurique.....	41
<b>Figure III. 15:</b> Zone des filtres à sable et anthracite.....	42
<b>Figure III. 16 :</b> Zone des filtres à sable et à anthracite de la SDEM de Béni Saf. ....	44
<b>Figure III. 17:</b> Les filtres à cartouches de la SDEM de Béni Saf. ....	45
<b>Figure III. 18 :</b> la zone de production de la SDEM de Béni Saf. ....	47
<b>Figure III. 19:</b> Membrane d'osmose inverse.....	48
<b>Figure III. 20 :</b> les composants d'un ERI .....	49
<b>Figure III.21:</b> Le post traitement. ....	50
<b>Figure III. 22:</b> bâtiment de lavage des filtres.....	51
<b>Figure III. 23:</b> Bâtiment de saumure où l'eau de rejet de saumure. ....	52
<b>Figure III. 24:</b> le laboratoire de la SDEM de Béni Saf. ....	52
<b>Figure III. 25 :</b> la salle de contrôle de la SDEM de Béni saf.....	53
<b>Figure III. 26:</b> Salle d'électricité de la SDEM de Béni Saf.....	54

### **Chapitre IV :**

<b>Figure IV.1 :</b> l'installation pilote ROUC (laboratoire du génie de l'eau et de L'environnement).....	58
--	----

<b>Figure IV.2:</b> boîtier d'interface de contrôle.....	60
<b>Figure IV.3:</b> contrôler boîte d'interface.....	61
<b>Figure IV.4 :</b> a- balance électrique.....	62
b- compteur desel.....	62
c - plaque chauffante.....	62
<b>Figure IV.5:</b> Evolution de concentration de l'eau traité (g/l) en fonction de la pression (bar).....	66
<b>Figure IV.6:</b> Evolution de concentration de l'eau de rejet (g/l) en fonction de la pression (bar).....	67
<b>Figure IV.7:</b> Evolution du rendement ( $\eta$ ) en fonction de la pression ( <b>P</b> ).....	67
<b>Figure IV.8:</b> Evolution de concentration de l'eau de traité (g/l) en fonction de la température .....	68
<b>Figure IV.9:</b> Evolution de concentration de l'eau de traité (g/l) en fonction de la température.....	69
<b>Figure IV.10 :</b> Evolution du rendement ( $\eta$ ) en fonction de la température (T).....	69
<b>Figure IV.11:</b> Evolution de concentration de l'eau traité (g/l) en fonction du débit (ml/s)...	70
<b>Figure IV.12:</b> Evolution de concentration de l'eau de rejet (g/l) en fonction du débit (ml/s).....	71
<b>Figure IV. 13:</b> Evolution du rendement ( $\eta$ ) en fonction de débit ( <b>Q</b> ).....	71
<b>Figure IV.14:</b> Evolution de concentration de perméat en fonction de concentration (g/l).....	72
<b>Figure IV.15:</b> Evolution de la concentration de l'eau de rejet en fonction de concentration (g/l).....	74
<b>Figure IV.16 :</b> Effets de la concentration (g/l) sur le rendement % .....	74



*Liste des tableaux*

## Liste des tableaux :

### Chapitre I :

<b>Tableau I. 1 :</b> La salinité de l'eau de mer et des océans .....	4
<b>Tableau I.2 :</b> Stations de dessalement en Algérie réalisées entre 2005 -2014 .....	5
<b>Tableau I.3 :</b> Stations monoblocs de dessalement réalisé en Algérie .....	6

### Chapitre III :

<b>Tableau III.1 :</b> Fiche technique de la SDEM de Béni Saf. ....	35
<b>Tableau III.2:</b> contrôle de qualité de l'eau commercialisée.....	52

### Chapitre IV:

<b>Tableau IV.1 :</b> Valeurs des concentrations.....	62
<b>Tableau IV.2:</b> Modes opératoires des essais .....	64
<b>Tableau IV.3 :</b> Valeurs des débits pour la pression.....	65
<b>Tableau IV.4:</b> Valeurs des débits pour la température .....	68
<b>Tableau IV.5:</b> Valeurs des débits.....	70
<b>Tableau IV.6:</b> Valeurs des débits pour la concentration .....	72

# *Liste des abréviations*

ADE : Algérienne des eaux

BWC : Béni Saf water company

ED : L'électrodialyse dite conventionnelle

EDMB : L'électrodialyse à membrane bipolaire

EM : L'électrolyse à membranes

ERI : Récupération d'énergie Incorporer

HP : haute pression

MED : Multi Effet Distillation

MF : Modules en fibres

MSF : Distillation par détente successive ou multi flash

OI : L'osmose inverse

PEHD : polyéthylène haute densité

PX : pressure Echanger

Q b : débit brute.

Q t : débit traitée.

Q r : débit de rejet.

ROUC : Computer controlled reverse osmosis/ ultrafiltration

SDEM : La station de dessalement d'eau de mer de Béni Saf

SNCC : système numérique de contrôle et de commande

ST : Capteur de température

SP : Capteur de pression

SC : capteur de débit

SDI : système de détection indice

T : durée de l'échantillon

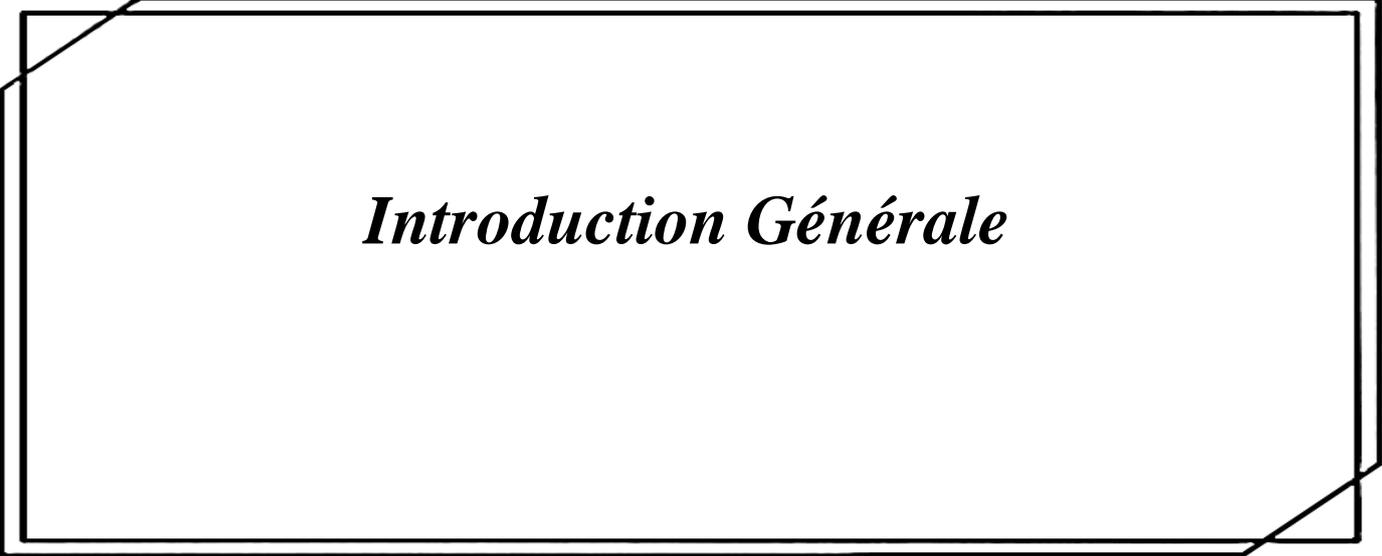
VR : vanne rouge

V t : volume de l'échantillon de l'eau traitée.

V r : volume de l'échantillon de l'eau de rejet.

**Les équations :**

(1) : $\pi V = n . R . T$ .....	18
(2) : $\pi = i . C.R . T$ .....	18
(3) : $\pi = 0,7C$ .....	19
(4) : $Y = \frac{Qp}{Q0}$ .....	21
(5) : $TR = \frac{c0 - cp}{c0} = 1 - \frac{cp}{c0}$ .....	22
(6) : $J1 = A (\Delta P - \Delta \pi)$ .....	27
(7) : $J2 = B \Delta C$ .....	27
(8) : $Q = \frac{V}{T}$ .....	64
(9) : $Q \text{ brute} = Q \text{ traité} + Q \text{ rejet}$ .....	65
(10) : $\eta = \frac{Qt}{Qb} \times 100$ .....	65



# *Introduction Générale*

# Introduction générale

---

L'Algérie a vécu plus d'une décennie de sécheresse, les ressources conventionnelles en eau étaient insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population, ce qui a incité les autorités algériennes à chercher d'autres ressources pour garantir l'alimentation en eau potable de cette population. La solution la plus adaptée et qui ne dépend pas des aléas climatiques, était le dessalement d'eau de mer.

C'est donc dans cette optique que les chercheurs de nombreux pays développent des techniques de dessalement de plus en plus performantes, afin de produire une plus grande quantité d'eau potable à un coût plus faible. Parmi ces techniques, trois sont les plus utilisées :

L'osmose inverse, la distillation et l'électrodialyse. En dessalement, le principal procédé membranaire est l'osmose inverse (OI). Cette méthode est la plus rentable, la moins chère et de ce fait la plus envisageable pour subvenir aux besoins en eau potable futur. L'osmose inverse (OI) est une technique essentielle dans le domaine du traitement de l'eau, reposant sur le passage de l'eau à travers une membrane semi-perméable sous une pression supérieure à la pression osmotique. Ce procédé permet de retenir les solutés du côté du concentré, tout en obtenant un perméat (eau traitée) de l'autre côté. La technologie de l'OI est particulièrement utilisée pour le dessalement de l'eau de

mer, une solution cruciale pour les régions confrontées à une pénurie d'eau potable.

Ce mémoire présente une analyse détaillée des différents procédés de dessalement de l'eau de mer, en mettant particulièrement en lumière le processus d'osmose inverse, qui est le plus répandu en Algérie. Cette étude s'appuie sur un stage effectué à la station de dessalement BWC, offrant une perspective pratique et concrète sur l'application de l'OI dans un contexte réel.

Au cœur de ce mémoire se trouve une série d'expériences réalisées sur un pilote d'OI ROUC. Ces expériences visent à étudier les effets de divers paramètres, tels que la pression, la température, le débit et la concentration en sel, sur l'efficacité du processus d'OI. Les résultats obtenus permettent de mieux comprendre les dynamiques en jeu et de proposer des solutions pour optimiser le rendement du traitement de l'eau.

En outre, ce mémoire met en évidence les défis techniques rencontrés lors de l'utilisation de l'osmose inverse et formule des recommandations pour améliorer l'efficacité de cette technologie. Ces propositions visent à faciliter une meilleure compréhension et une utilisation

## **Introduction générale**

---

plus efficace de l'OI dans le secteur technique, contribuant ainsi à une gestion plus durable des ressources en eau.

L'objectif de ce travail est donc de fournir une vision exhaustive des processus de dessalement, avec un focus particulier sur l'osmose inverse, tout en offrant des pistes pour surmonter les obstacles techniques et améliorer les performances de cette technologie vitale.

***Chapitre I :***  
***Généralités sur le dessalement***

## **I.1. Introduction :**

L'image d'une planète bleue composée d'eau à 75 % donne l'impression d'une ressource renouvelable et inépuisable malheureusement 97 % de l'hydrosphère est de l'eau salée. Les réserves d'eau douce représentent seulement 2,53 % de l'eau de la planète dont la majeure partie est immobilisée sous forme de glace ou de neige. Seuls 0,001 % des ressources globales, environ 14 000 millions de m<sup>3</sup> d'eau douce sont utilisables.

Pour remédier à ce déficit en eau douce, le recours au dessalement des eaux de mer est une nécessité.

## **I.2 Définition de dessalement :**

Le dessalement est le processus d'élimination des solides dissous de l'eau de mer et de l'eau saumâtre pour produire de l'eau potable. La quantité de sel dans l'eau est généralement décrite par la concentration du total des solides dissous (TDS) dans l'eau. Le TDS se réfère à la somme de tous les minéraux, métaux, cations et anions dissous dans l'eau ce qui définit la salinité de l'eau [1].

## **I.3 Les eaux de dessalement :**

### **1.3.1 Les eaux de mer :**

La caractéristique la plus essentielle des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates).

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g.L<sup>-1</sup>, cette valeur est considérée comme la salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation.

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques (tableau I. 1). [2]

Tableau I.1 : La salinité de l'eau de mer et des océans [2].

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

### I .3.2 Les eaux saumâtres :

Une eau saumâtre est une eau salée non potable dont la salinité est inférieure à celle de l'eau de mer. En fin la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g de sels Par litre. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme mais d'eaux Souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le  $\text{CaCO}_3$ , le  $\text{CaSO}_4$ , le  $\text{MgCO}_3$  et le  $\text{Na Cl}$ . [2]

### I.4.Les stations de dessalement de l'eau de mer dans le monde :

Beaucoup de régions et pays qui n'ont pas ou peu de ressources en eau douce et qui sont situés dans les zones côtières dépendent totalement ou partiellement de ces technologies pour leur eau potable. La production des 15 900 usines de désalinisation opérationnelles en 2018 s'élèverait à 95 millions de mètres cubes d'eau douce par jour, dans 177 pays différents ; 62,3 % de cette eau serait destinée à l'usage humain, 30,2 % à l'industrie, et le reste à l'agriculture et à l'énergie. [4].

En 2008, 13 869 usines de dessalement étaient construites dans le monde, principalement positionnées sur le pourtour de la méditerranée, autour du golfe persique et de la péninsule arabique, sur les côtes de l'Inde, des Sud-États-Unis, de la Chine, de l'Australie et du Japon, pour un total prélevé de 52 millions de m<sup>3</sup> par jour. La péninsule arabique (dessalement par distillation) compte pour plus du tiers des prélèvements, 13% vont aux États-Unis et 8% à l'Espagne [3].

## I.5. Le dessalement de l'eau de mer en Algérie :

### I.5.1 Les stations de dessalement en Algérie :

Le tableau I.2 ci-dessous donne la répartition des stations de dessalement en Algérie entre 2005 -2014 :

**Tableau I.2** : Stations de dessalement en Algérie réalisées entre 2005 -2014 [4].

N	Station	Wilaya	Capacité m <sup>3</sup> /j	Mise en service
01	Kahrama Arzew	Oran	90.000	2005
02	Hamma	Alger	200.000	2007
03	Skikda	Skikda	100.000	2007
04	Bnisef	Ain Temouchent	200.000	2007
05	Mostaganem	Mostaganem	200.000	2008
06	Douaouda	Alger Ouest	100.000	2008
07	Souk Tlata	Tlemcen	200.000	2011
08	Honain	Tlemcen	200.000	2012
09	Cap Blanc	Oran	200.000	2008
10	El-Taref	El-Taref	50.000	2008
11	Ténès	Chleff	200.000	2008
12	Magtaâ	Mostaganem	500.000	2014
13	Oued Sebt	Tipaza	100.000	2009
14	Cap Djenet	Alger Est	100.000	2011
<b>Total</b>	<b>14 Stations</b>		<b>2400 000</b>	

**I.5.2 Stations monoblocs :**

Ce sont des stations de petite capacité (2500 m<sup>3</sup> /j). L'Algérie en possède 23 petites stations de dessalement d'eau de mer pour une capacité de 57 500 m<sup>3</sup> /j ont été réalisées et réparties à travers 08 wilayas. Cette opération a été soumise à la passation de deux marchés. 08 stations du tableau, sur 05 sites d'une capacité globale de 22 500 m<sup>3</sup>/j ont été réalisées par l'entreprise Allemande LINDE-KCA. [4]

**Tableau I.3 :** Stations monoblocs de dessalement réalisé en Algérie [4].

N°	Wilaya	Site	Commune	Capacité (m <sup>3</sup> /J)
1	Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	2500
2		Ghazaouet 2	Ghazaouet	2500
3	Tipaza	Bou-Ismaïl	Bou-Ismaïl	5000
4	Alger	Champ de tir	Zeralda	2500
5		Champ de tir 2	Zeralda	2500
6		Palm Beach	Staouali	2500
7		La fontaine	Ain Benian	2500
8		La fontaine	Ain Benian	2500
<b>Total</b>	8 Station			22500

**I.6. Différents procédés de dessalement :**

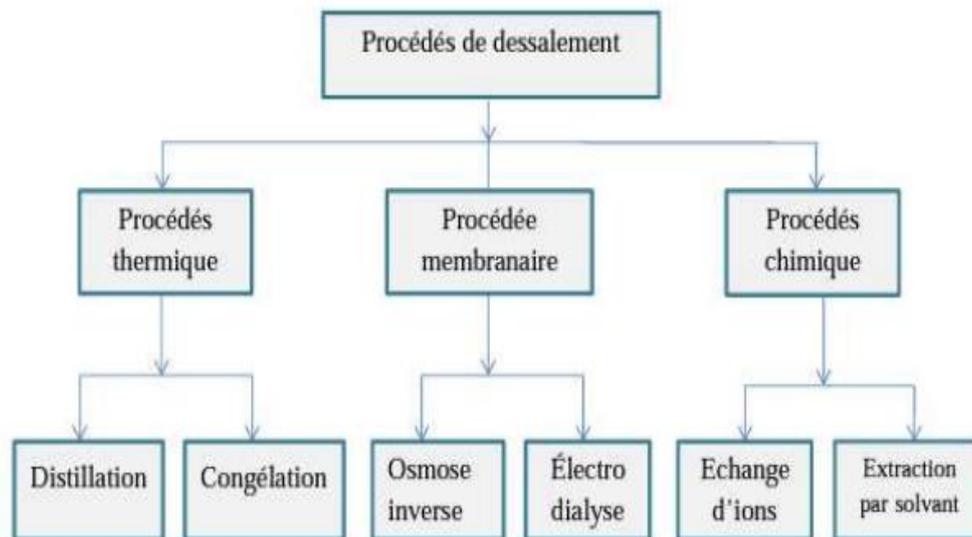
Les méthodes actuelles de dessalement des eaux sont classées en trois catégories, selon le

Principe appliqué :

- Les procédés thermiques ;
- Les procédés membranaires ;
- Les procédés chimiques.

Parmi les procédés mentionnés précédemment, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies qui ont démontré leurs performances dans le traitement de l'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de Problèmes

liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des Investissements qu'ils requièrent [5].



**Figure I-1:** Différents procédés de dessalement

## I.6.1. Les procédés de distillation :

Les procédés de distillation consistent à chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie.

La vapeur obtenue ne contient pas de sels, et donc une condensation de cette vapeur sert à obtenir de l'eau douce liquide. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. Dans la nature l'eau s'évapore des océans, la vapeur s'accumule pour former les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce procédé de dessalement a été utilisé dès l'Antiquité pour générer de très faibles quantités d'eau douce sur les navires [6].

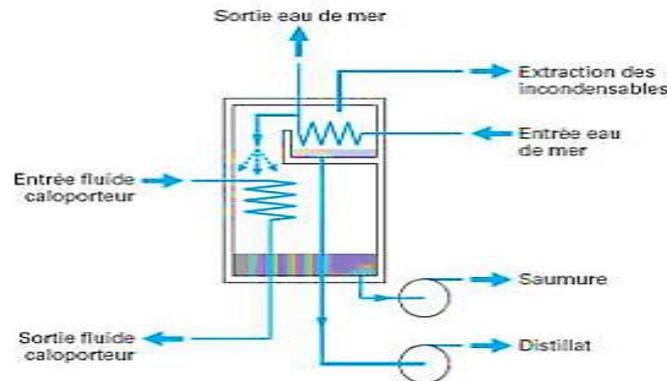
Dans ce procédé on distingue :

- **Distillation à simple effet :**

Son principe est simple. Il reproduit le cycle naturel de l'eau (Voir la figure I.3) :

1. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.

2. La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.
3. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.



**Figure I.2 :** Distillateur simple effet [6].

Cette première solution est simple à mettre en œuvre mais n'offre qu'un rendement réduit, aussi elle n'est utilisée que dans les navires disposant d'une source d'énergie thermique [6].

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

La distillation à multiples effets se base sur la recherche d'une récupération aussi poussée que possible de la chaleur libérée par la condensation et par une évaporation sous pression réduite. La distillation à multiples effets c'est une installation constituée par la juxtaposition de  $n$  cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple. Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure.

La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide.

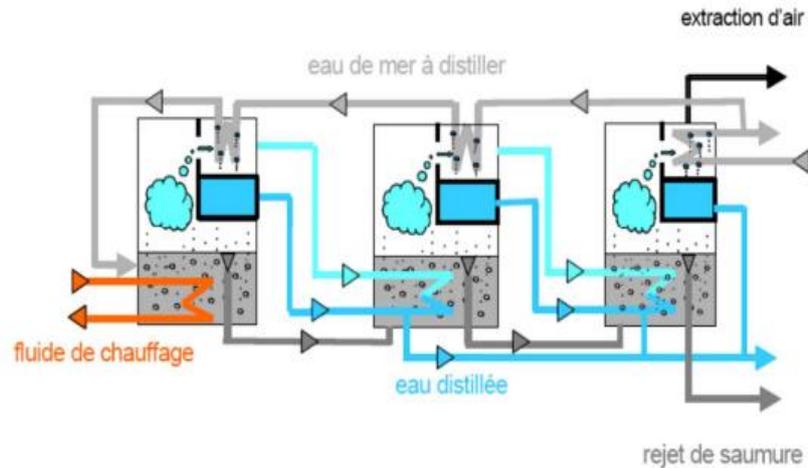


Figure I .3: Distillation à multiples effets [7]

- **Distillation par détente successive ou multi flash (MSF):**

Ce procédé appelé Flash maintient l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage, quand elle atteint une température d'environ  $120^{\circ}\text{C}$ , elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où on trouve une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par une détente appelée Flash. Une partie de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. C'est alors l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer atteint la température d'ébullition qui correspond à la pression qui se trouve dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus réduite.

La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détente successive dans un ensemble d'étages où il y'a des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle [6].

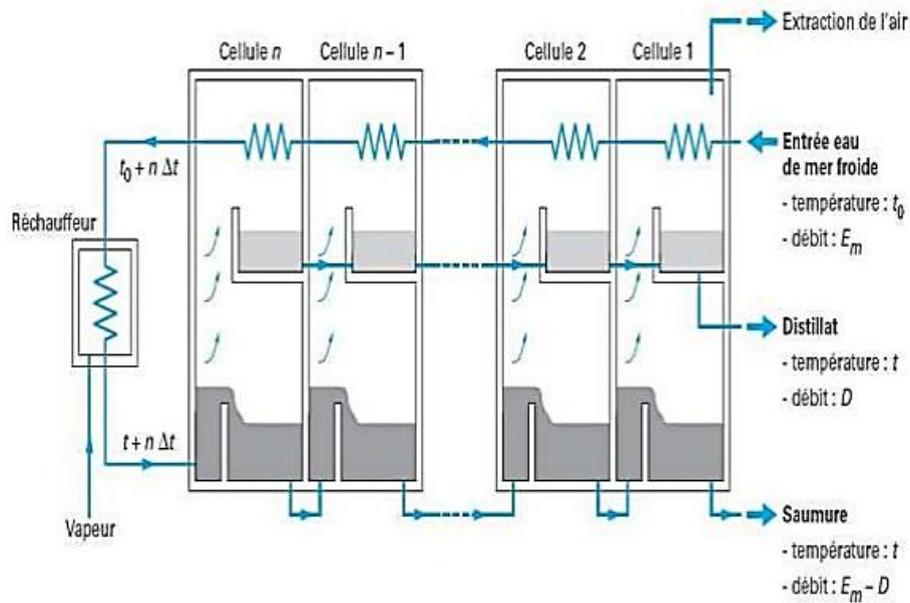


Figure I.4: ci-dessous schématise un distillateur par détonnes successives [6].

- **Distillation par compression de vapeur**

Consiste à une revalorisation de la vapeur d'eau du dernier effet par compression grâce à un compresseur mécanique ou via un éjecteur, on parle alors de thermo compression. La compression par éjecteur nécessite par ailleurs une vapeur motrice (Figure I.6), [8].

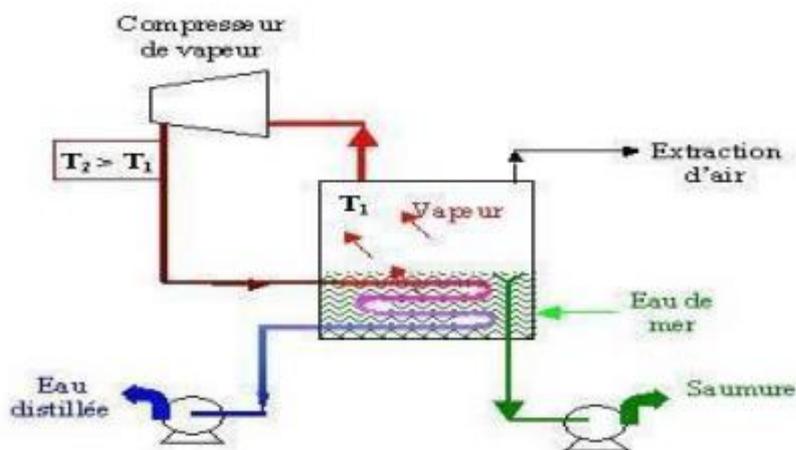


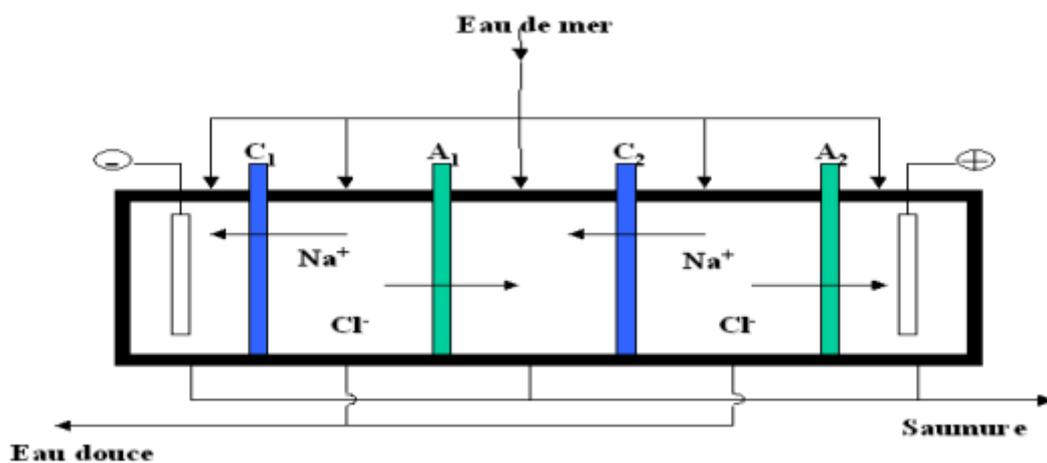
Figure I.5: Schéma d'une unité de distillation avec compression de vapeur [9].

### I.6.2 Les procédés membranaires :

Plutôt que de séparer l'eau douce de l'eau de mer en la faisant s'évaporer, il est possible de séparer l'eau et les sels dissous en utilisant des membranes sélectives. [8].

- **L'électrodialyse :**

L'électrodialyse fonctionne sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques de l'électrodialyse sont : la dialyse et l'électrode ionisation, (Figure I.7) [8].



**Figure I.6:** Schéma d'une unité de dessalement par électrodialyse [10].

On distingue trois types d'électrodialyse :

- L'électrodialyse dite conventionnelle (ED)
- L'électrodialyse à membrane bipolaire (EDMB)
- L'électrolyse à membranes (EM)

Le point commun de ces techniques est la mise en œuvre de membranes échangeuses d'ions permettant de transférer des ions de façon sélective sous l'effet d'un champ électrique

- **L'osmose inverse (OI) :**

L'osmose implique le transfert de solvant à travers une membrane en raison d'un gradient de concentration. Si l'on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane

semi sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler: cette pression est nommée la pression osmotique. Si l'on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique: c'est le phénomène d'osmose inverse [11].

### I.6.3. Les procédés chimiques :

- **Echangeurs d'ions :**

La technologie de l'échange d'ions est idéale pour éliminer les contaminants spécifiques de l'eau potable. Comparé à d'autres procédés, l'échange d'ions est très sélectif et se trouve utilisé dans de nombreuses applications à grande échelle, pour l'élimination ciblée de la dureté, des nitrates, du bord, des matières organiques naturelles, des perchlorates, des chromates, de l'uranium et de divers autres métaux [12].

L'échange ionique se définit par la permutation réversible entre ions structurels d'un matériau, appelé «échangeur ionique», et ions en solution, cette dernière solution étant en contact avec l'échangeur ionique [13].

- **Extraction par solvant**

- **Autres procédés :**

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

- 1) **La congélation :**

Lors du processus de congélation, les sels dissous sont naturellement éliminés lors de la formation initiale de cristaux. Le refroidissement de l'eau salée pour former des cristaux de glace sous des conditions bien définies est un moyen de dessaler l'eau de mer. Il existe plusieurs procédés de congélation pour dessaler l'eau de mer. et un petit nombre d'usines ont été installées à cet effet au cours des 50 dernières années.

- 2) **Le dessalement par énergie solaire et éolienne :**

A l'échelle mondiale, environ une centaine d'unités de dessalement associées aux énergies renouvelables ont été construites ces 20 dernières années. La plupart sont des petites

installations expérimentales ou de démonstration (0,5 à 200 m<sup>3</sup> /j). Plusieurs sont localisées en Méditerranée (Egypte, Algérie, Tunisie, Espagne). Elles fonctionnent avec un stockage d'énergie par batteries, entraînant des coûts élevés et pâtissent du manque de compétence locale en particulier pour la maintenance. Cependant, l'expérience montre que les unités de dessalement solaire et éolien de petite capacité, bien conçues et exploitées, peuvent permettre d'alimenter en eau de bonne qualité des sites isolés, à des coûts dès aujourd'hui intéressants. Mais si l'on veut éviter des difficultés de fonctionnement dans la durée et assurer une bonne maintenance et durabilité, les installations doivent être les plus simples et les plus fiables possibles [14].

### **I.7. Rejets de saumures :**

Les rejets de saumure, qu'ils soient directs via les rivières et oueds, ou indirects via les émissaires sous-marins après un prétraitement, sont devenus au fil des années l'un des problèmes majeurs des villes côtières dans le monde entier. La dispersion insuffisante des polluants mène à des graves contaminations de l'environnement côtier. Le contrôle de tels problèmes de pollution nécessite la bonne compréhension des écoulements liés au processus de dispersion. Il est courant de décharger les eaux usées. En jets simples ou multiséculeaires comme indiqué par [15].

Le mélange initial du jet avec le milieu récepteur (l'eau de mer) est induit par le mouvement, souvent turbulent, du jet

### **I.8. Les problèmes techniques rencontrés en dessalement :**

#### **I.8.1 Entartrage :**

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. A cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonates et sulfate). Ces dépôts sont constitués principalement par de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) ; de l'hydroxyde de magnésium (Mg(OH)<sub>2</sub>) et de sulfate de calcium (CaSO<sub>4</sub>)....etc. [15]

Par la diversité de leurs origines, Les dépôts de tarte ont un impact considérable sur le fonctionnement des installations de dessalement : [16]

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

### **I.8.2 Le colmatage :**

Les eaux brutes naturelles peuvent également contenir des substances organiques, des microorganismes. En osmose inverse ces organismes qui sont retenus par les membranes peuvent les encrasser et trouver des conditions favorables à leur développement. Elles forment alors un bio film qui peut conduire au colmatage des membranes. La capacité de production des installations et le coût du processus sont directement affectés par ce phénomène. [16] Comme pour les autres problèmes il est possible de réduire le colmatage par un prétraitement adéquat : dans certains cas une étape de coagulation-floculation suivie d'une filtration sera indispensable. [16]

### **I.8.3 La corrosion :**

C'est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. La corrosion concerne principalement l'action progressive d'agents naturels comme l'air ou l'eau salée sur les métaux. [17]

Les principales conséquences de la corrosion sont :

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

### **I.9. Les avantages et les inconvénients de dessalement :**

Les principaux avantages du procédé de dessalement sont

- ✓ L'Algérie dispose d'un littoral de 1200
- ✓ L'utilisation de l'eau de mer qui est une ressource pratiquement non polluante et inépuisable.
- ✓ La population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la mer

- ✓ Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce aux procédés (l'osmose inverse)
- ✓ Une importante demande en eau se situe à proximité de la cote ce qui réduit davantage les prix de revient d'eau ; [18]

Malgré que le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau, quel que soit le procédé utilisé il n'est pas sans inconvénients :

- Les installations de dessalement coutent cher et elles se caractérisent par leur grande consommation énergétique ;
- Ces installations dégagent des gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement climatique ;
- Elles détruisent les zones côtières ;
- Elles bouleversent les écosystèmes, car elles rejettent les déchets appelés saumure, certaines espèce ou végétations sont très sensibles à la salinité ;
- Présence de traces de métaux lourds échappés des installations ;
- les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux provenant du nettoyage (filtre à sable, membranes et dépôts) contaminent le milieu. [18]

### **Conclusion :**

Le dessalement est l'une des solutions efficaces et maîtrisées techniquement, pour la mobilisation des ressources en eaux supplémentaires.

En ce siècle, le dessalement sera un enjeu majeur partout dans le monde. Cependant, il ne faut pas négliger l'impact écologique des rejets de concentrât.

***Chapitre II :***  
***L'osmose inverse***

## II.1.introduction :

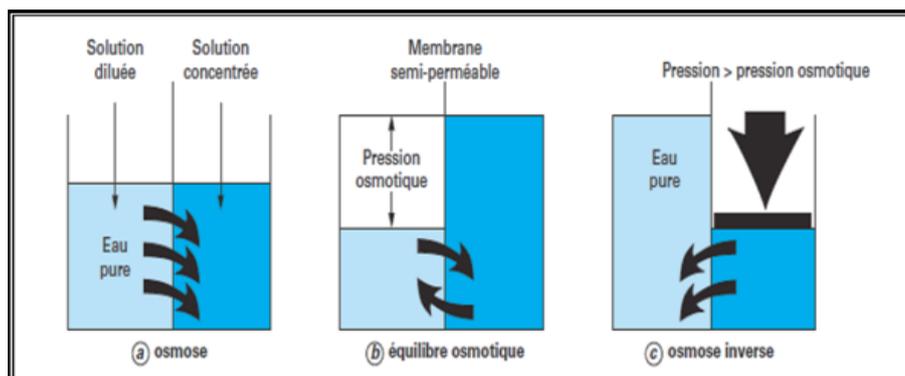
Dans la nature, l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques. Mais le procédé industriel est qualifié d'«osmose inverse» car, à l'aide d'une forte pression  $P$  (supérieure à la pression osmotique), de l'ordre de 80 bars, on force l'eau salée à passer du compartiment le plus concentré en sel au compartiment d'eau douce. Comme les deux compartiments sont séparés par une membrane, le compartiment d'eau douce s'enrichit en fait en eau douce. Dans la réalité, si on avait laissé faire la nature, sans imposer ni membrane ni pression, l'eau douce se serait chargée en sel et l'eau salée se serait diluée.

## II.2. Principe de l'osmose inverse :

Rappelons qu'on appelle le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane sous l'action d'un gradient de concentration.

Considérons un système à deux compartiments séparés par une membrane perméable et contenant deux solutions de concentration différentes (figure II.1).

L'osmose se traduit par un déplacement de l'eau de la solution diluée vers la solution concentrée.



**Figure II.1:**Principe d'osmose inverse [19]

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 flux d'eau va s'annuler. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Si la pression augmente au-delà de la pression osmotique, cela entraînera un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique. C'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée :c'est la phénomène d'osmose inverse qui a été découvert en 1950 par Reid à l'université de Floride ( États - Unis) dans le cadre d'études relatives au dessalement de l'eau de mer et qui s'est développé dans les années 1960 lorsque Loeb et Sourira Jan ont réussi à obtenir des membranes asymétriques à perméabilité élevée à l'université de Californie (États- Unis) (membrane à base d'acétate de cellulose ). [19]

### II .3 : pression osmotique :

La pression osmotique peut être calculée en se basant sur le comportement des molécules du soluté diluée. On peut appliquer la loi des gaz parfaits :

$$\pi V = n .R .T \quad (1)$$

$\pi$  : pression osmotique ;

$V$  : volume de la solution ;

$n$  : nombre de moles de soluté ;

$R$  : constante des gaz parfaits ;

$T$  : température absolue ;

La loi de Van 't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercée dans l'état gazeux parfait dans le même volume  $V$  et à la même température  $T$ . Si le soluté est dissocié en  $i$  ions la pression osmotique sera  $i$  fois Supérieures. [19]

La pression osmotique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en soluté : [20]

$$\pi = i. C.R .T \quad (2)$$

Avec :

$\pi$  : Pression osmotique (bar) ;

$i$  : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte ;

$C$  : Concentration molaire (mol. L<sup>-1</sup>) ;

$R$  : Constante des gaz parfaits (0,082 L.bar.mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) ;

$T$  : Température absolue (K)

Dans le cas d'une solution saline, la pression osmotique peut être, en première approximation estimée à 0,7 bar par g/l de salinité : [21]

$$\pi = 0,7C \quad (3)$$

$\pi$  : pression osmotique en bar ;

$C$  : concentration en sel en g/l ;

### II .4: Schéma général d'une installation d'osmose inverse :

Les éléments principaux qui composent une installation d'osmose inverse sont les suivants (figure II .2) :

- \_ La membrane proprement dite ;
- \_ le module ;
- \_ La pompe haute pression ;
- \_ Éventuellement un système de récupération d'énergie ;
- \_ le poste de prétraitement ; [19]

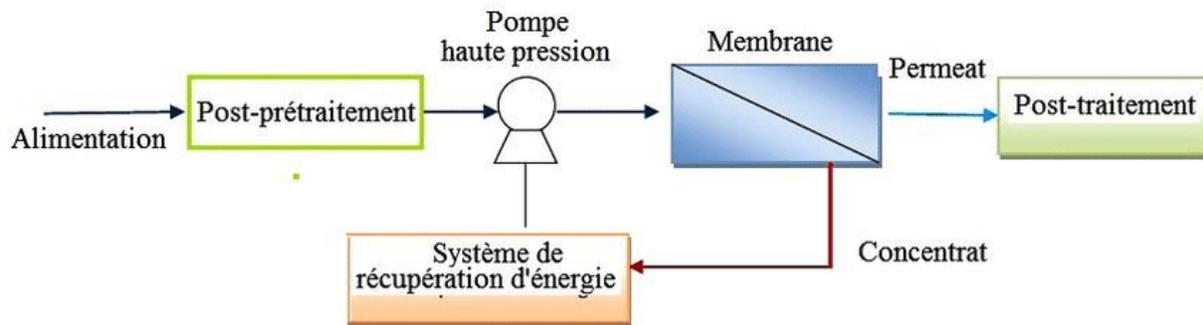


Figure II-2: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse [22]

#### II.4.1. L'alimentation en eau de mer :

Il est possible de le faire soit par prise directe, soit par puits côtiers. Ce dernier système permet d'obtenir une eau non turbide, ce qui réduit les prétraitements [23].

Dans le cas où l'eau provient de la mer via une prise d'eau à ciel ouvert, le système comprendra les têtes de prises d'eau, les conduites d'acheminement des têtes de prises d'eau vers les puits de prises d'eau, la station de pompage dans le puits et les conduites à terre, du puits à l'installation de prétraitement. Les têtes de prises d'eau doivent être correctement situées afin d'éviter l'aspiration de matériaux flottants ou de sédiments, pour garantir une alimentation suffisante en eau salée [24].

#### II.4.2. Le prétraitement:

La salinité, les matières en suspension et les matières organiques des différents océans ou mers du globe sont variées énormément. Les systèmes de prétraitement de l'eau de mer avant dessalement ont pour but d'éliminer les matières en suspension et le plancton qui sont susceptibles de colmater les installations de dessalement [25].

Les techniques de prétraitement de l'eau de mer sont :

- **Chloration** : Bloque la prolifération des organismes vivants. Évite l'obstruction des conduites.
- **Filtration** : Protège les pompes et assure le bon fonctionnement des pulvérisateurs.
- **Antitartre** : La distillation favorise la précipitation du carbonate de calcium qui se dépose sur la paroi des échangeurs et réduit le transfert de chaleur [23].

### II.4.3. Installation de dessalement :

C'est le système qui retire les sels de l'eau brute (eau saumâtre ou eau de mer). Ce système peut être un «système membranaire », un « système thermique » ou « un autre système ». Le choix de la meilleure technologie de dessalement peut être influencé par la géographie, de l'environnement, de la maturité de la technologie, de l'eau brute et de la qualité de l'eau produite, de la disponibilité des technologies, de l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'installation disponible, de la capacité des opérateurs à faire fonctionner cette technologie, des coûts, ... etc. [24].

### II.4.4. Le post-traitement :

Permet de potabilité l'eau en 2 étapes (à la sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée).

- **Correction de la corrosivité** : le traitement consiste à ajouter du  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ou du  $\text{CaCO}_3$ .
- **Désinfection finale** : bien que certains procédés (osmose inverse) retiennent tous les microorganismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine [23].

## II .5: Caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse : taux de conversion, taux de rejet, débit spécifique

### II .5.1 : Taux de conversion :

Le taux de conversion (Y) est, par définition, La fraction du débit de liquide qui traverse la membrane : [19]

$$Y = \frac{Q_p}{Q_0} \quad (4)$$

$Q_p$  : perméat à débit.

**Q0** : La solution à traiter.

### **II .5.2 .Sélectivité :**

La sélectivité d'une membrane est en général définie par le taux de rétention ou le taux de rejet de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir : [21]

$$\mathbf{TR} = \frac{C_0 - C_p}{C_0} = 1 - \frac{C_p}{C_0} \quad (5)$$

TR : Taux de rétention.

C0 : concentration de l'espèce à retenir dans la solution ;

Cp : concentration de la même espèce dans le perméat.

Le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (Na Cl), compte tenu du fait que la déminéralisation des eaux est l'application la plus importante de l'osmose inverse. On trouve ainsi couramment des membranes qui ont été développées soit pour le dessalement de l'eau de mer et qui ont un taux de rejet au NaCl de 99% environ, soit pour le dessalement des eaux saumâtres et qui ont un taux de rejet au NaCl de 96% et ceci pour des conditions opératoires déterminées (pression, température ,taux de conversion...).[21]

### **II .5.3.Débit spécifique ou densité du flux volumique :**

Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité de flux volumique) doit œuvrer et par là même l'investissement.

### **II .6: Mécanismes de transfert :**

Lors de l'osmose inverse, on utilise la solubilisation-diffusion pour transférer les éléments solubles à travers une membrane semi-perméable.: toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent dans la membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme à travers un solide ou un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression.

Donnons l'indice 1 au solvant (eau) et l'indice 2 au soluté (sel). Pour rendre les choses plus simples, nous opterons pour un seul soluté. [19]

Le flux de solvant et de soluté à travers la membrane sont donnés par les deux relations suivantes : [26]

$$\mathbf{J1 = A (\Delta P - \Delta \pi) \text{ (6)}}$$

Avec :

$J1 \text{ (kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$  : flux d'eau à travers la membrane ;

$A \text{ (kg.s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{m}^{-2})$  : perméabilité de la membrane à l'eau ;

$\Delta P \text{ (Pa)}$  : différence de pression de part et d'autre de la membrane ;

$\Delta \pi$  : différence de pression osmotique de part et d'autres de la membrane ; [26]

$$\mathbf{J2 = B\Delta C \text{ (7)}}$$

Avec :

$J2 \text{ (kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1})$  : flux de sel à travers la membrane ;

$B \text{ (m}^{-1}.\text{s}^{-1})$  : perméabilité de la membrane au sel ;

$\Delta C \text{ (kg.m}^{-3})$  : différence de concentration en sel de part et d'autres de la membrane ; [27]

## **II .7.Module d'osmose inverse :**

### **II.7.1.Modules Spirales :**

Ces modules sont largement utilisés dans le domaine des membranes. A l'origine, ont été exclusivement conçu pour le dessalement, mais la conception compacte et le bas prix pousse beaucoup d'industrie à les utiliser, même en conception immergée (laiterie, jus, pulpe...), [19] voir figure **II-3** :

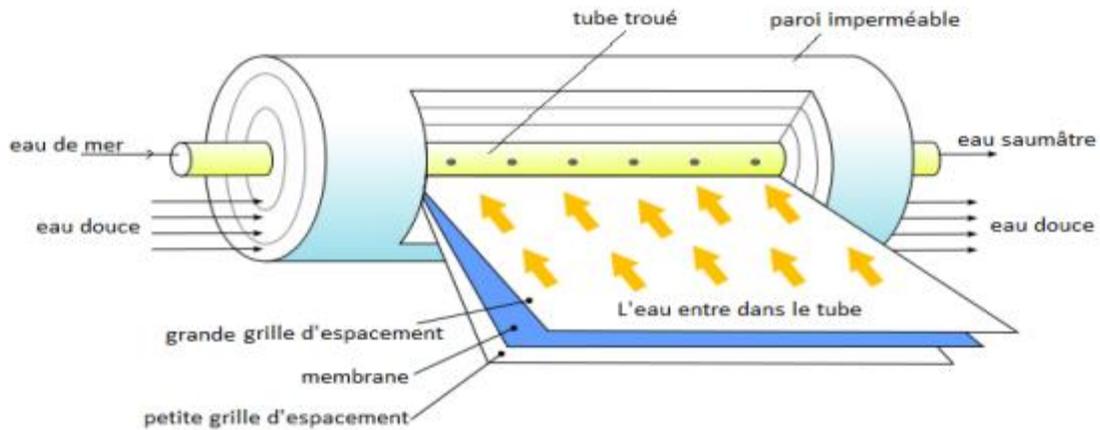


Figure II-3: Module spirale [28]

### II.7.2. Modules Tubulaires :

Du fait de leur conception simple, ils sont très utilisés dans les laboratoires pédagogiques; à cause de la facilité de calculer le nombre de Reynolds et d'établir l'état théorique des coefficients de transfert de masse, voir figure II-4.

Les modules tubulaires présentent des avantages considérables:

Ils tolèrent les solides en suspension, et les filtrent jusqu'à un degré élevé.

Leurs inconvénients sont :

- l'exigence de beaucoup d'espace.
- le changement de membrane à cause des difficultés et du temps.
- les modules à grand diamètre nécessitent beaucoup d'énergie.
- sont coûteux et moins souples.
- nécessitent de rinçage périodique (coûteux vis à vis les produits chimiques).

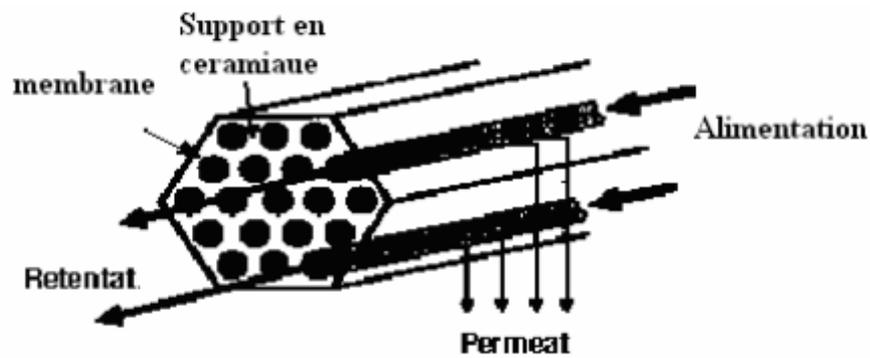


Figure II-4: Module tubulaire [29].

### II.7.3. Modules plans et en plaques :

Dominant le marché en Europe pendant 15ans, mais le manque de développement et le prix élevé ont arrêté leur expansion. Le système de feuilles plates offre une conception très robuste mais chères. Certains systèmes modernes tolèrent une très forte pression (jusqu'à 100 bars), voir figure II-5:

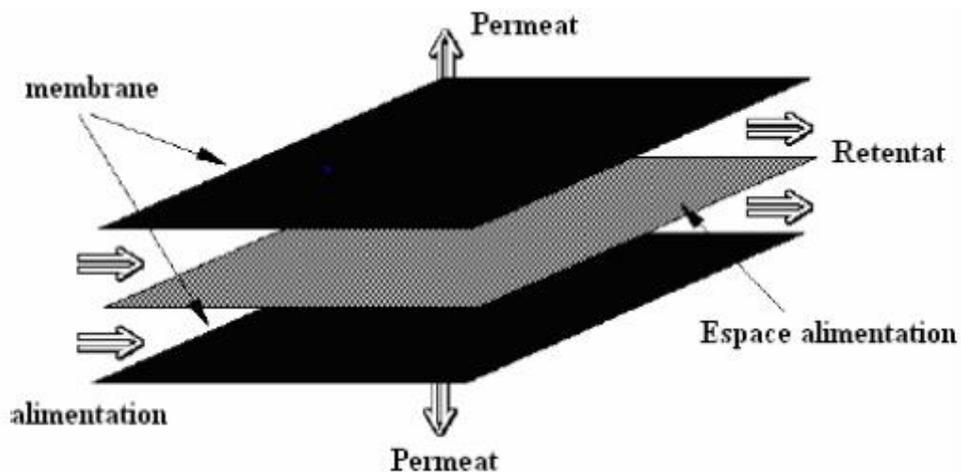


Figure II-5: Module plans [29].

### II.7.4. Modules en fibres:

Semblable aux modules tubulaires mais leur diamètres intérieurs est inférieurs à 2mm (d'où vient leur nom). La différence qui les sépare des modules à grands diamètres c'est qu'elles sont des membranes sans support (sont mécaniquement faible). Ils sont utilisés beaucoup plus pour l'ultrafiltration. [29]

## II.7.5. Modules en céramiques :

Ils sont très chers. Théoriquement, sont très efficaces pour Le MF. En fait, il y en a très peu sur le marché aujourd'hui. [29]

## II.7.6. Modules en fibres creuses:

Les fibres en forme de U sont regroupées et assemblées de manière à obtenir une étanchéité aux deux extrémités du module. Le liquide à traiter circule perpendiculairement à l'axe des fibres, tandis que le concentrât est recueilli dans une enceinte qui enveloppe le faisceau et permet son évacuation à l'une des extrémités du module. Le perméat s'écoule à l'intérieur de chacune des fibres puis dans un collecteur, voir figure II-6 et II-7. Ce type de modules nécessite un prétraitement adéquat. [29]

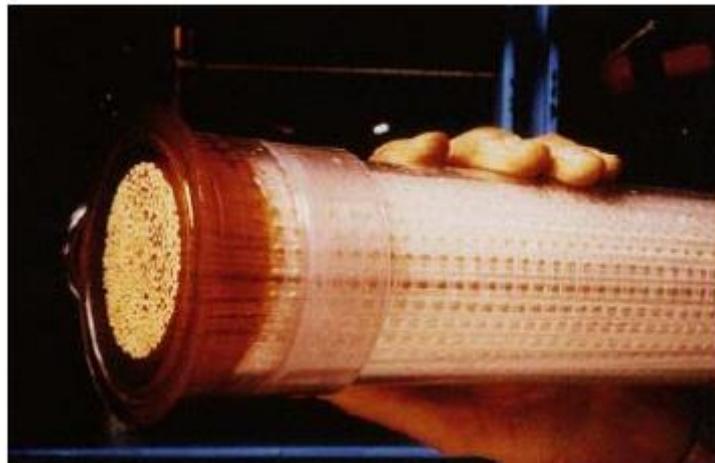


Figure II-6: Module en fibres creuses [30].

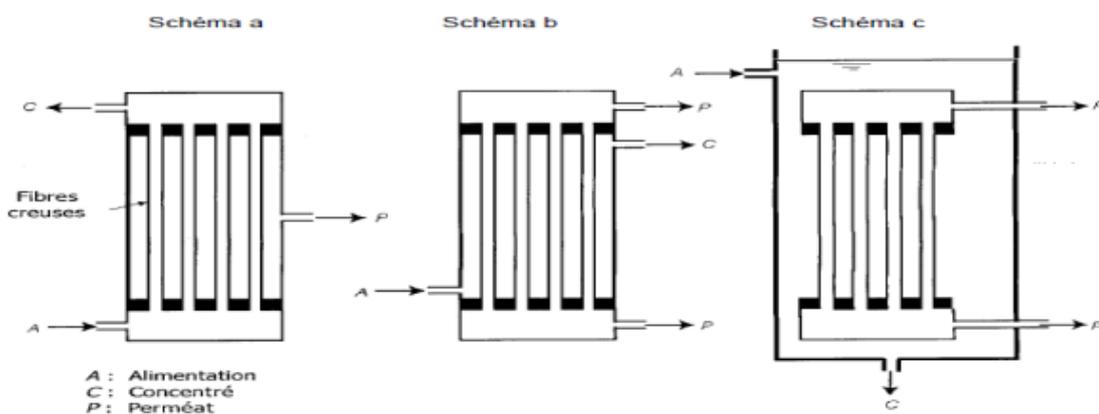


Figure II-7 : membranes à fibres creuses [31]

### II.8. Durée de vie des membranes :

Actuellement, les membranes ont une durée de vie supérieure à 5 ans, alors qu'elles étaient auparavant de 2 à 3 ans, ce qui se traduit par un taux de renouvellement compris entre 10 et 20 % par an. [19]

### II.9. Consommation d'énergie :

Le procédé d'osmose inverse ne faisant pas intervenir de changement de phase, doit présenter une consommation d'énergie plus faible que d'autres procédés de séparation tels que la distillation par exemple. D'autres parts, ce procédé peut fonctionner dans des conditions très proches de la réversibilité.

En fait la consommation d'énergie est toujours Supérieure au minimum théorique et cela pour plusieurs raisons :

- \_ Si l'on le flux d'eau à travers la membrane ait une valeur acceptable, il nécessaire que la pression de fonctionnement soit nettement supérieure aux conditions de réversibilité ;
- \_ De manière à minimiser les phénomènes de polarisation, les vitesses de passage dans les modules doivent être suffisamment élevées ;
- \_ dans le cas où aucun système de récupération d'énergie n'est prévu, le circuit de concentration est détenu à travers une vanne, de perte d'énergie. [19]

### II.10. Récupération d'énergie :

Dans les station d'eau de mer principalement, où l'on travaille avec des pressions comprises entre 60 et 90kg/ cm<sup>2</sup>, la récupération de l'énergie contenue dans le débit de rejet , est obligatoire pour des raisons énergétiques-économiques .Au débit ,on utilisait des turbines Francis , avec des rendements très bas , de l'ordre de 65%, plus tard on a utilisé des turbines Pelton , avec des efficacités supérieures à 80 %. Récemment , ces dernières sont devenues également obsolètes grâce à l'apparition sur le marché des systèmes d'échange d'énergie ,qui outre des rendements supérieurs à 90 %, ont comme caractéristiques besoin d'une pompe à haute pression approximativement 50% plus petite que celle d'une station conventionnelle ,ce qui a induit d'importantes réductions dans la consommation d'énergie.[32]

### II.12.Conclusion :

L'osmose inverse a connu un développement technologique avec l'apparition des membranes en polyamides sur le marché dont la durée de vie est plus importante. Il s'agit d'une technique performante qui peut être utilisée sur une grande plage de concentration ; comparé à l'électrodialyse et à la distillation qui sont réservés à des domaines plus spécifiques, et l'objectif principal de cette technique est l'élimination des sels, des matières organiques et des microorganismes présents dans l'eau souterraine.

***Chapitre III :***

***La description de la station de  
dessalement d'eau de mer de Béni  
Saf (BWC)***

### **Introduction :**

A l'ouest du pays, les incertitudes de la météo s'ajoutent à la pression démographique et aux perturbations prévisibles liées au réchauffement climatique pour peser sur la disponibilité de l'eau. Devant cette situation de fait, la volonté de l'état s'est appuyée sur les ressources de la science en faisant appel à la technologie du dessalement de l'eau de mer, qui se profile aujourd'hui comme une alternative crédible. Le gouvernement a lancé un chapelet de projets de dessalement d'eau de mer intégrant des usines de différentes capacités tout au long des côtes algériennes, au Nord-Ouest Algérien, la Wilaya d'Ain-Temouchent a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement d'eau de mer d'une capacité de production de 200.000.m<sup>3</sup>/j, assurant l'approvisionnement en eau potable des Wilayas d'Ain-Temouchent et d'Oran.

Les informations mentionnées dans ce chapitre proviennent de notre stage au niveau de la station BWC.

### **III.1. Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer de Beni Saf :**

La station est implantée à Beni Saf de la wilaya de Ain T'émouchent situé à l'Ouest d'Algérie avec une capacité journalière 200 000 m<sup>3</sup> La station produira de l'eau dessalée à travers 10 modules en utilisant la méthode d'osmose inverse et nécessitera une consommation électrique de 4,15 kWh/m<sup>3</sup>, entrée en production en octobre 2010.



**Figure III.1:** la station de dessalement de Chatte el Hillel (Beni Saf). [33]

### III.2.Situation géographique :



**Figure III. 2:** Site géographique de la SDEM de Béni Saf. [33]

Le site de la SDEM de Béni Saf (figure III.2) est localisé sur la côte méditerranéenne d'Algérie dans la Wilaya d'Ain-Temouchent commune d'Oued El Kihel au niveau de la plage de Chatte El Hillel, sur une superficie de 65 700 m<sup>2</sup>. [34]

### III.3. Fiche Technique :

Tableau III.1 : Fiche technique de la SDEM de Béni Saf. [33]

<b>Lieu d'implantation :</b>	<b>Chatte El Hilal, Beni Saf, Wilaya de Ain Témouchent, Algérie.</b>
<b>Superficie du terrain :</b>	65 700 m <sup>2</sup> (concession sur 25 ans).
<b>Capacité de production d'eau dessalée:</b>	200.000 m <sup>3</sup> /jour.
<b>Nombre de modules:</b>	10 unités de 20.000 M <sup>3</sup> /j chacune.
<b>Technologie de dessalement:</b>	Osiose Inverse
<b>Consommation électrique:</b>	≤ 4,15 kWh/m <sup>3</sup>
<b>Type de prise d'eau de mer et rejet :</b>	Émissaire sous-marin DN 2400 mm /1800mm
<b>Prétraitements :</b>	Pré filtration, Filtres à sable et anthracite, Filtres à cartouche
<b>Système de récupération d'énergie:</b>	Chambres isobariques (ERI) 95%
<b>Poste traitement du produit :</b>	Carbonate de calcium - Hypochlorite sodique.
<b>Montant de l'investissement :</b>	240 M\$
<b>Prix de l'eau :</b>	0.6994 \$
<b>Début Exploitation :</b>	Mars 2010

### III.4.Processus de la station :

Le procédé utilisé pour le dessalement d'eau de mer a la SDEM de Beni saf est l'osiose inverse :

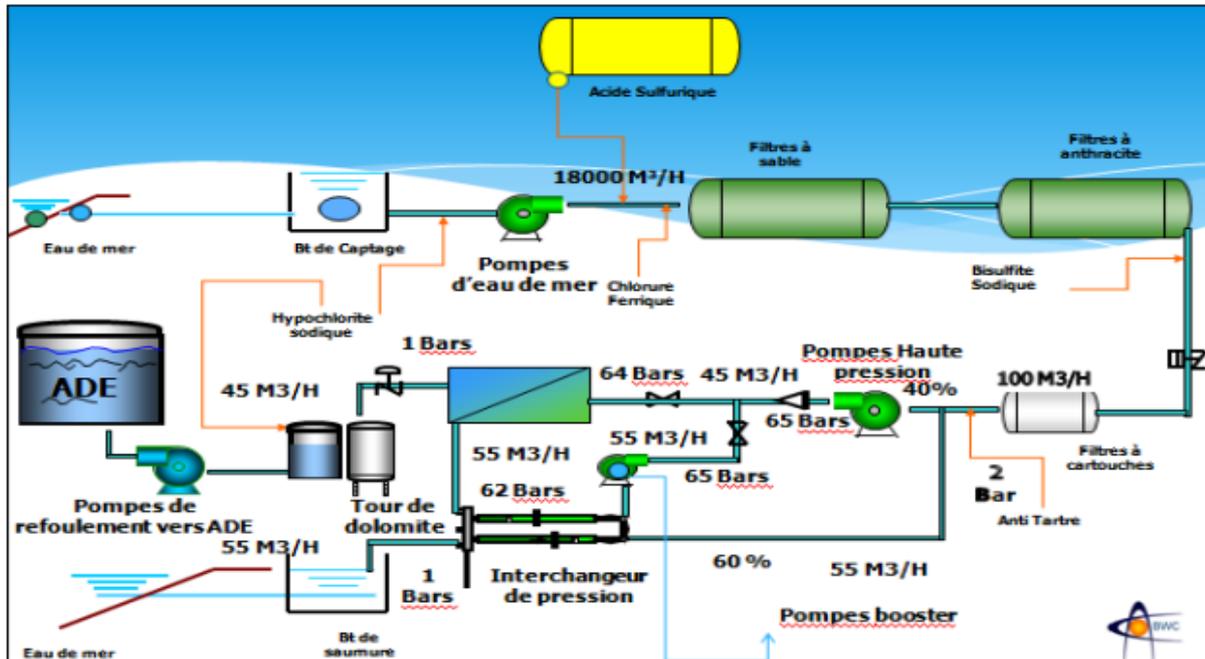


Figure III. 3 : Process de dessalement de la SDEM de Beni Saf. [35]

### III.5. Description du fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer :

#### III.5.1. Captage :

L'eau de mer est captée à partir de 1000 ml de la cote grâce à un émissaire en PEHD de diamètre 2.400 mm Cet émissaire est raccordé à une tour de 10m de hauteur, érigée sur 18 m de fond pour capter une eau la plus propre possible. Cette dernière est véhiculée à l'intérieur de la conduite par gravité avec une vitesse d'écoulement inférieure à 1m/s Après une première filtration brute, l'eau de mer est tamisée à l'aide de filtres rotatifs avant d'être pompée à partir du bassin de captage vers le prétraitement, sur une distance de 900 mètre . [35]



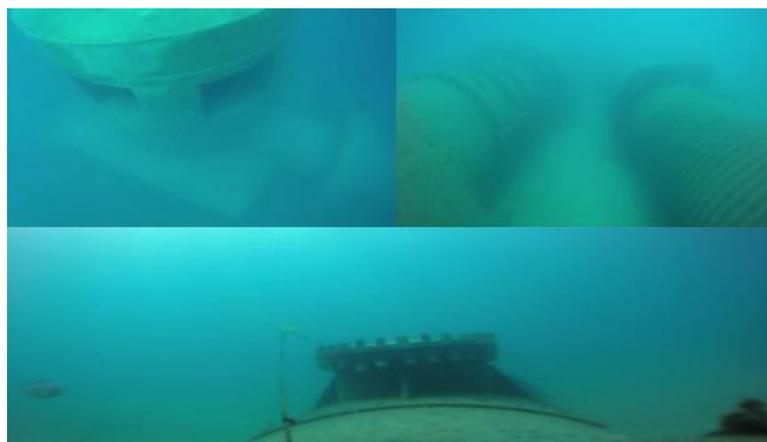
**Figure III.4:** Préfabrication de la tour de Captage. [35]



**Figure III.5 :** Préfabrication de l'émissaire DN 2400.



**Figure III.6 :** Lancement de l'émissaire de captage.



**Figure III.7 :** La conduite du captage d'eau de mer. [35]

### III.5.1.1. Bâtiment de Captage :

Bâtiment de captage et de nettoyage préliminaire d'eau de mer constitué de deux filtres à tamis rotatif, bassin d'aspiration d'eau de mer, Et 11 pompes de refoulement, Et deux réservoir anti- coup de bélier et une salle électrique.

02 réservoir d'hypochlorite de sodium avec des pompes doseuses afin d'injecter le produit jusqu'à la tour de captage ou bien dans le bassin de bâtiment de captage. [35]



**Figure III. 8:** Bâtiment de captage. [35]



**Figure III. 9:** Réservoir de stockage d'Hypochlorite de sodium. [35]

### III.5.1.2. Dégrillage:

Le dégrillage est destiné à piéger les matières plus ou moins volumineuses et les déchets de toutes sortes contenus dans le chenal d'admission d'un ouvrage hydraulique de prétraitement d'eau.

Filtration mécanique Cette étape du traitement consiste à faire passer l'eau à travers deux gros dégrilleurs pour empêcher le passage de grandes particules contenues dans l'eau de mer telle que (les poissons, feuilles, planches, bidons, plastiques, les débris et les algues...etc.). [35]



**Figure III. 10:** Le dégrillage pour éliminer les plus gros déchets. [35]

### **III.5.1.3. Filtres rotatifs :**

Après une première filtration brute, l'eau de mer est tamisée à l'aide de filtres rotatifs

(Figure III. 10) avant d'être pompée à partir du bassin de captage vers le prétraitement, sur une distance de 900 mètres. [35]



**Figure III. 11 :** Filtres rotatifs de nettoyage. [35]

### **III.5.1.4. La station de pompage:**

L'épine dorsale de la SDEM est la station de pompage de l'eau de mer du captage vers la zone de production, Cette dernière contient un bassin d'aspiration d'eau de mer avec un total de 11 pompes centrifuges horizontales (Sulzer), 10 pompes en service et une en « standby » (10+1) pendant le fonctionnement normal, un système d'amorçage des pompes à vide composé de 2 compresseurs d'air. Chaque pompe offre un débit d'un refoulement de 1800

m<sup>3</sup>/h d'eau de mer par aspiration à vide avec une pression de 6 bars aussi deux réservoirs anti-coup de bélier. [35]



**Figure III. 12:** pompes de pompage et bassin de stockage [35]

### **III.5.2. Zone de production:**

La zone de production d'osmose inverse est composée de différents bâtiments qui interviennent dans le procédé de production d'eau.

Avant de faire passer l'eau de mer dans les modules d'osmose inverse, elle passe par des unités prétraitement.

#### **III.5.2.1. Prétraitement :**

Cette étape est très importante pour une station de dessalement, Son but d'éliminer les matières en suspension, organiques et les micro-organismes. Aussi pour éviter la détérioration des pompes, l'incrustation et la dégradation des membranes de l'osmose inverse par les microorganismes.

### III.5.2.1.1. Prétraitement chimique:

#### a) Traitement par chlorure ferrique (coagulation) :

Le chlorure ferrique a le but de l'élimination des matières en suspension et les matières colloïdales présentes dans l'eau de mer, L'injection ce fait à partir de deux citernes de  $\text{FeCl}_3$  d'une capacité de  $60 \text{ m}^3$  chacune.

Bâtiment de dosage chimique

Constitué de 2 réservoirs en PRFV de

Chlorure ferrique, 2 réservoirs en PRFV de

Metabilsufite de sodium et 2 réservoirs en PRFV de l'anti tartre. [35]



Figure III. 13 : Bâtiment de dosage chimique.

#### b) Traitement par acide sulfurique (neutralisation du pH) :

En aval des filtres à sable au niveau du tuyau principal qui alimente ces filtres un traitement à l'acide sulfurique est effectué, pour but d'ajuster le pH de l'eau de mer et d'éviter les précipitations de carbonates et bicarbonates, ainsi qu'à générer le  $\text{CO}_2$  suffisant pour la reminéralisations d'eau produite dans la tour de calcite.

Bâtiment d'acide sulfurique avec  
2 réservoirs en acier de  $100 \text{ m}^3$  chacun. [35]



Figure III. 14: Bâtiment d'acide sulfurique.

**C) Injection de Meta bisulfite sodique (neutralisation du chlore libre)**

L'utilisation du bisulfite sodique permet l'élimination de chlore résiduel du dosage d'hypochlorite de sodium et de prévenir l'oxydation des membranes. L'injection de la solution  $\text{Na}_2\text{O}_5\text{S}_2$  se fait avant la filtration à sable pour donner au contact le temps maximum possible

**D) Dosage d'anti incrustant**

Ce traitement est effectué avant les filtres à cartouches pour éviter les incrustations sur les membranes.

Pour la coagulation	—————→	chlorure ferrique
Pour la neutralisation du PH	—————→	l'acide sulfurique
Pour la neutralisation du chlore libre	—————→	méta bisulfite
Pour la prévention des membranes	—————→	l'anti scalant

Une zone de filtration avec  
24 filtres (48 réservoirs) à  
sable et  
14 filtres (28 réservoirs) à  
anthracite. [33]



**Figure III. 15:** Zone des filtres à sable et anthracite. [35]

**III.5.2.1.2. La filtration sur sable:**

Le filtrage est un processus au cours duquel l'eau traverse un milieu filtrant poreux qui est dans ce cas, le sable de silice (qui n'entre pas de quelque réaction avec l'eau de mer), qui retient mécaniquement les MES.

Le système de filtrage à sable est situé à l'extérieur de l'usine constitué de 2 trains de filtrage identique, chacun admet 24 filtres regroupés en 12 modules. Ces derniers sont constitués de 2 filtres identiques fonctionnant comme une unité filtrante avec collecteurs et vannes communes.

Le système de filtrage est fabriqué en acier de carbone, à l'intérieur une couche de néoprène de 3 mm d'épaisseur. Il présente un diamètre de 3.7 m avec une longueur de 11m.

Au cours duquel l'eau traverse un milieu filtrant poreux, qui retient mécaniquement les solides en suspension. Dans ce cas, le milieu filtrant utilisé est le sable de silice de deux grosseurs (bicouche). Une couche de sable grossier (couche support) est située en bas des filtres et une couche de sable plus fin (couche filtrante) la recouvre et retient les particules les plus fines. En amont des filtres à sable (système de captage et pompage), on trouve un mélangeur statique prévu pour faciliter le mélange de l'eau et des produits chimiques dosés au préalable et favoriser la floculation de MES.

Le pupitre de l'analyseur de turbidité de chaque train comprend un dispositif de prélèvement d'échantillon destiné à mesurer le taux de matières SDI. Cette mesure est importante pour le contrôle de la qualité de l'eau qui passe à l'étape suivante. Il s'agit d'un bon indicateur du fonctionnement du filtre.

A l'entrée et à la sortie de chaque train de filtrage, est monté un manomètre destiné à vérifier les variations de pression entre les collecteurs d'entrée et de sortie, appartenant au système de captage et de pompage. [35]

### **III.5.2.1.3. Caractéristiques des filtres :**

48 filtres à pression horizontale et à fond bombé sont installés en parallèle, afin que le volume d'eau soit uniformément réparti entre tous ces filtres en fonctionnement normal.

Les filtres sont disposés en deux trains, constitué chacun de 12 modules de 2 filtres. Au niveau fonctionnel, un module constitue l'unité minimale de filtrage. Le collecteur supérieur est celui d'entrée d'eau de mer et le collecteur inférieur, celui de sortie de l'eau filtrée. L'eau tombe sur le lit sableux, est filtrée puis passe à la cavité inférieure.

### **III.5.2.1.4. Filtrage à anthracite:**

Le système de filtrage à anthracite (figure III. 16) a pour fonction de retenir les agents

résiduels et cancérigènes, la matière organique et, en général, les composés causant des problèmes de mauvaises odeurs et de mauvais goût dans l'eau. L'eau est ainsi prête à passer par les filtres à cartouches, d'où elle est envoyée aux appareils d'OI.



**Figure III. 16 :** Zone des filtres à sable et à anthracite de la SDEM de Béni Saf. [33]

### **III.5.2.1.5. Filtration par cartouches:**

Le système de filtration par cartouches est conçu pour retenir les particules de plus petite taille (jusqu'à 5 microns absolus) qui n'ont pas été retenues par les filtres à sable et à anthracite et qui pourraient endommager les installations des modules d'OI. Le système de filtration par cartouches se situe à l'intérieur du bâtiment de production, il est constitué de 2 lignes de filtration formées de 10 filtres chacune. Par conséquent, le système dispose en tout de 20 filtres.

La filtration est un procédé suffisamment connu. On fait passer l'eau à travers un milieu filtrant poreux où sont retenus les solides en suspension, par le biais d'une action mécanique. Le milieu filtrant utilisé ici consiste en des cartouches logées à l'intérieur des corps des filtres. Leur seule mission est d'accueillir les cartouches filtrantes. Pour protéger aussi bien le groupe haute pression que les membranes d'OI, une filtration de sécurité est installée dans le but de retenir les particules de plus petite taille pouvant endommager les appareils du système. La filtration par cartouches est la technique de filtration la plus conseillée pour les applications dont les exigences quant à la qualité et à la sécurité sont très élevées. En règle générale, les filtres doivent retenir des particules solides d'une taille microscopique et il est nécessaire pour l'installation d'OI qu'il n'existe pas de solides supérieurs à 5 $\mu$ m nominaux. Les cartouches

ont une capacité limitée de rétention et, une fois que celle-ci a été atteinte, les cartouches doivent être remplacées. [33]



**Figure III. 17:** Les filtres à cartouches de la SDEM de Béni Saf. [33]

### **III.5.2.1.6. Caractéristiques des filtres :**

20 filtres verticaux à cartouche sont installés en parallèle, de façon à ce que le débit d'eau soit réparti entre tous les filtres pendant le processus normal de fonctionnement. Les filtres sont disposés dans deux lignes, chacune comprenant 10 filtres. [33]

### **III.5.2.1.7. Caractéristiques des cartouches :**

Une cartouche est un élément filtrant aux dimensions standards, habituellement fongible, avec une forme cylindrique. Les cartouches sont généralement composées d'un tube ou âme support intérieur recouvert de l'élément filtrant. [33]

### **III.5.2.1.8. Description du prétraitement chimique:**

**Les dosages chimiques ont pour fonctions :**

- Conditionner l'eau de mer en vue du dessalement par osmose inverse ;
- Conditionner l'eau dessalée produite pour la rendre potable ;
- Neutraliser les effluents de lavage des membranes.

**Le système de dosage chimique est constitué des sous-systèmes suivants :**

Sous-système de dosage d'hypochlorite de Sodium dans l'eau de mer : installé dans le bâtiment de captage, il aide à éliminer les matières organiques.

Sous-système de dosage d'hypochlorite de Sodium dans l'eau produite : situé à côté du réservoir d'eau dessalée, il a pour principale fonction la stérilisation de l'eau produite. Sous-système de dosage d'acide sulfurique dans l'eau de mer : traitement effectué en amont des filtres à sable pour :

- Fixer le pH et éviter la précipitation de carbonates et de bicarbonates sur les membranes.
- Dégager suffisamment de CO<sub>2</sub> pour reminéraliser l'eau produite dans les tours de calcites.

Sous-système de dosage du chlorure ferrique dans l'eau de mer : traitement effectué avant les filtres à sable pour la coagulation des colloïdes et des matières en suspension, afin que ces substances soient retenues lors du filtrage.

Sous-système de dosage de bisulfite de sodium dans l'eau de mer : traitement effectué après les filtres à cartouche, afin d'éliminer le chlore résiduel et de prévenir l'oxydation des membranes.

Sous-système de dosage des anti-incrustants : Traitement effectué avant les filtres cartouches pour éviter les incrustations sur les membranes.

Sous-système de dosage d'acide sulfurique pour neutralisation : sa fonction principale est de neutraliser les effluents de lavage des membranes.

Sous-systèmes de dosage de Sodium pour neutralisation : Sa fonction principale est de neutraliser les effluents de lavage des membranes. [33]

### **III.5. 3. Post d'osmose inverse :**

Le système d'osmose inverse est composé de :

- 10 unités de production de 20 000 m<sup>3</sup>/j chacune ;
- 256 tubes à pression par unité ;
- 1792 membranes dans chaque unité, soit 7 membranes dans chaque tube à pression ;
- 01 pompe centrifuge de haute pression par unité ;
- 01 pompe de recirculation par unité ;
- 22 récupérateurs d'énergie par unité.

Ce système a pour fonctions :

- Dessaler l'eau de mer pour produire de l'eau potable ;
- Evacuer la saumure de rejet à pression au système de récupération d'énergie

Le processus de dessalement s'effectue par le passage de l'eau de mer d'alimentation à travers des modules de membranes semi-perméables disposés en série à l'intérieur de chaque tuyau de pression et en parallèle dans chaque module.

Pour que le courant d'entrée au châssis d'osmose inverse traverse la membrane, il est nécessaire que la pression exercée sur celle-ci soit supérieure à sa pression osmotique. De cette manière, à partir du courant d'eau de mer qui a une plus grande concentration saline, il se produit un courant d'eau produit ayant une concentration plus faible, le perméat, et un autre courant de rejet, la saumure, avec une teneur en sels bien supérieure à celle que possédait initialement le courant d'eau d'alimentation. [33]



**Figure III. 18:** la zone de production de la SDEM de Béni Saf. [33]

Le système d'OI se trouve à l'intérieur du bâtiment de production et est organisé en trois sous-systèmes différenciés essentiellement par la nature du fluide qu'ils acheminent. Chaque sous-système dispose de ses propres collecteurs principaux, de ses instruments et de ses vannes associées.

Il y a les sous-systèmes suivants :

Sous-système d'eau d'alimentation : le fluide circulant est l'eau de mer d'entrée au traitement d'OI. L'eau de mer d'alimentation aux membranes doit être préalablement conditionnée dans les conditions requises par celles-ci. Ce conditionnement est essentiellement basé sur un

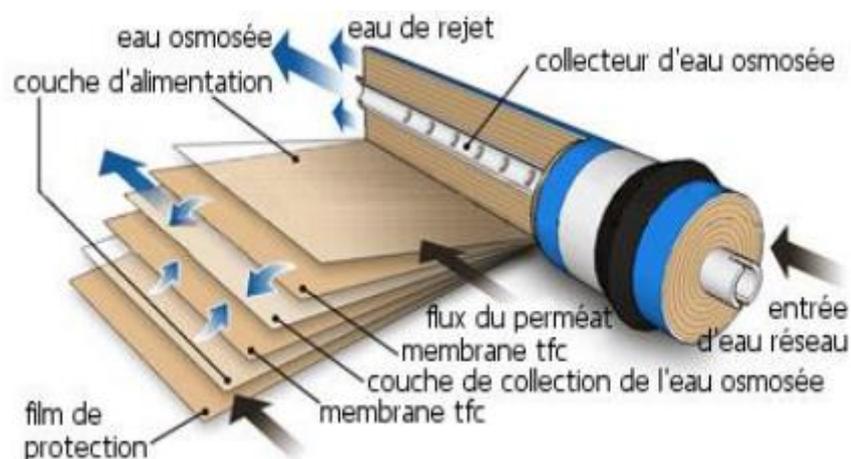
contrôle de la matière en suspension et sur un dosage chimique pour éviter la croissance biologique et la précipitation d'incrustations dans les membranes.

Sous-système d'eau dessalée : le fluide de circulation est l'eau qui a traversé les éléments de la membrane (7 membranes par tube de pression). Ce courant est caractérisé par le fait qu'il possède une plus faible concentration saline que celle de l'eau de mer.

Sous-système d'eau de rejet : le courant de saumure circule dans ce sous-système. Il ne traverse pas les éléments de membrane et c'est le courant ayant la concentration saline la plus élevée.

### III.5. 4. Membranes:

Les membranes utilisées dans la SDEM de Beni saf sont de chez Hydranautics. Les membranes d'OI sont constituées de films de polyamide à enroulement en spirale avec une feuille de séparation entre deux membranes. Cette feuille se comporte comme un canal dans lequel circule l'eau d'alimentation/saumure qui alimente l'élément suivant de membrane à l'intérieur du tube de pression. Le modèle des membranes sélectionné est le SWC5 qui est approprié lorsque le courant d'eau d'alimentation est de l'eau de mer. Son pourcentage de rejet des sels est supérieur à 99,7%.



**Figure III. 19:** Membrane d'osmose inverse. [34]

### III.5. 5. Description du récupérateur d'énergie:

Le rejet des membranes est dirigé vers le PX (the pressure Echanger), qui transfère la pression du rejet à l'eau d'alimentation, et la renvoie vers les membranes. Le PX fournit donc en eau de mer prétraitée, la quantité de concentrât qu'il reçoit.

Le travail du rotor peut être vu comme deux longueurs de tuyaux en rotation. L'eau d'alimentation à basse pression entre dans un tuyau, puis est transférée sur le côté haute pression du PX, grâce à la rotation du rotor. En même temps, le rejet de la membrane à haute pression entre dans l'autre tuyau puis est transférée vers le côté basse pression.

Du fait que la totalité du rotor soit composé de ces tuyaux, il existe en permanence un débit entre les côtés basse pression et haute pression du PX.

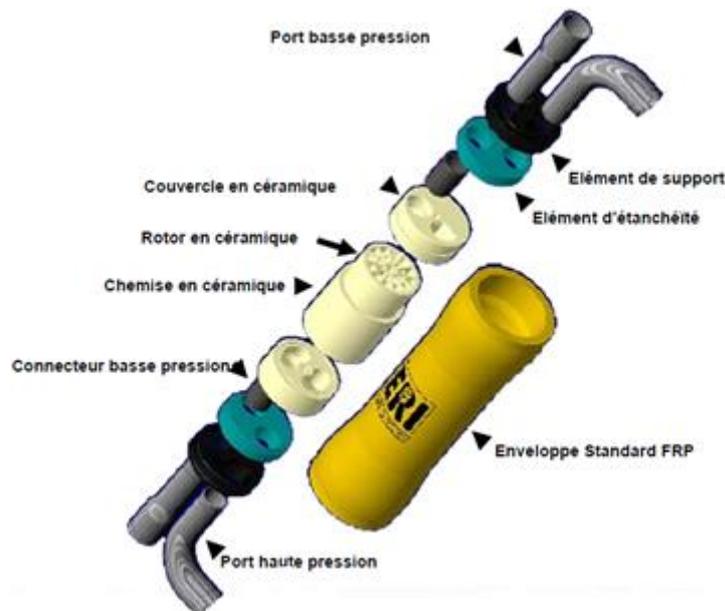


Figure III. 20: les composants d'un ERI. [34]

### III.5. 6. Le post traitement :

L'eau produite est conservée dans deux réservoir chacun d'une capacité de 2500 m<sup>3</sup>, cette eau indemne de tous les minéraux (non consommable), elle sera de nouveau traitée pour qu'elle soit potable.

Le post- traitement est constitué de :

- une déminéralisation par calcite (carbonate de calcium).

- une injection d'hypochlorite sodique.



**Figure III. 21:** Le post traitement. [33]

### **III.5. 7. Le Stockage :**

L'eau sera stockée dans un réservoir de 5000 m<sup>3</sup>, Ce réservoir est comme un réservoir d'attente pour :

- Réguler les variations de la demande de la compagnie des eaux.
- Gagner un temps de contact essentiel à la purification avant le pompage de l'eau vers le système de distribution. [33]

### **III.5. 8. Equipment de nettoyage :**

#### **III.5.8. 1. Nettoyage des filtres :**

Le lavage des filtres à sable et à anthracite s'effectue avec de l'eau de mer au moyen d'une pompe de lavage et d'une autre en réserve.

L'incorporation du groupe soufflant permet d'assurer un lavage effectif, ainsi qu'une économie appréciable des eaux de lavage, le groupe soufflant est pourvu de son filtre d'air



**Figure III. 22:** bâtiment de lavage des filtres. [33]

### **III.5.8.2. Nettoyage des membranes :**

Le nettoyage des membranes est un processus nécessaire dans le cas d'encrassement appréciable des membranes, détecté par le manomètre. Le nettoyage s'effectue par une solution de réactif avec de l'eau produite qui est préparée dans un réservoir. Cette solution aspirée par deux pompes à travers la ligne d'alimentation, traversera les filtres à cartouches à travers les tubes de pression puis sortira vers le réservoir de nettoyage pour la neutralisation par la soude avant son déversement dans la mer. Enfin, les modules sont rincés à l'eau dessalée. L'eau de rejet sortira par la tuyauterie de saumure vers le drainage générale de l'installation.

### **III.5.9. Bâtiment de saumure :**

L'eau de rejet de saumure et les eaux usées provenant des nettoyages sont collectées avant d'être déversées à la mer par le biais d'une canalisation DN 1800 mm à 500 mètre de la côte, ce lieu de déversement a été déterminé par les résultats de l'étude marine afin d'atténuer les impacts.



**Figure III. 23:** Bâtiment de saumure où l'eau de rejet de saumure. [33]

### III.5.10. Le laboratoire :

Le laboratoire est équipé des instruments nécessaires à la supervision et au contrôle corrects du procédé.



**Figure III. 24 :** Le laboratoire de la SDEM de Béni Saf. [33]

Des analyses journalières sont faites afin d'assurer la qualité de l'eau et répondre aux exigences du client (Tableau III.2).

**Tableau III.2:** contrôle de qualité de l'eau commercialisée. [33]

Analyse effectuée	Unité	Qualité garantie
<b>Ph</b>		8 à 8.5
<b>Alcalinité</b>	Ppm CaCO <sub>3</sub>	65
<b>Dureté</b>	Ppm CaCO <sub>3</sub>	50 à 65
<b>Indice de Langelier</b>		0 à 0.4
<b>Chlore résiduel</b>	Ppm	0.5

### III.5.11. Salle de contrôle :

Avec un système de contrôle digital (DCS) YOKOGAWA, tous les équipements de la station sont contrôlables à partir de la salle de commande.



**Figure III. 25:** la salle de contrôle de la SDEM de Béni saf [33]

### III.5.12. Autres composants de la station :

- Les salles électriques ;
- Les salles des automates ;
- SNCC: système numérique de contrôle et de commande ;
- Station électrique conçue pour le fonctionnement de la totalité de la SDEM. (deux lignes électrique de 220000KV) ;
- Deux bâtiments administratifs de R+1 ;
- Un poste d'entrée à la station ;
- Un poste de sécurité ;
- Un post contre incendies ;
- Ateliers de maintenances et réparation mécaniques, électriques et d'instrumentation.



**Figure III. 26:** Salle d'électricité de la SDEM de Béni Saf. [33]

### **Conclusion :**

La station de dessalement de la plage El Hillel fait partie des grandes usines de dessalement en Algérie avec une capacité de production de 200000 m<sup>3</sup>/jour. En effet, ce projet contribue à résoudre la pénurie des ressources en eau de la wilaya d'Ain Témouchent et ceux de la partie ouest de la wilaya d'Oran. Cette station est basée sur la technique d'osmose inverse qui a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages, et plus performante du point de vue énergétique, avec des filtres à sables et cartouches, intégrant des technologies pionnières, notamment en matière de récupération d'énergie.

## *Chapitre IV*

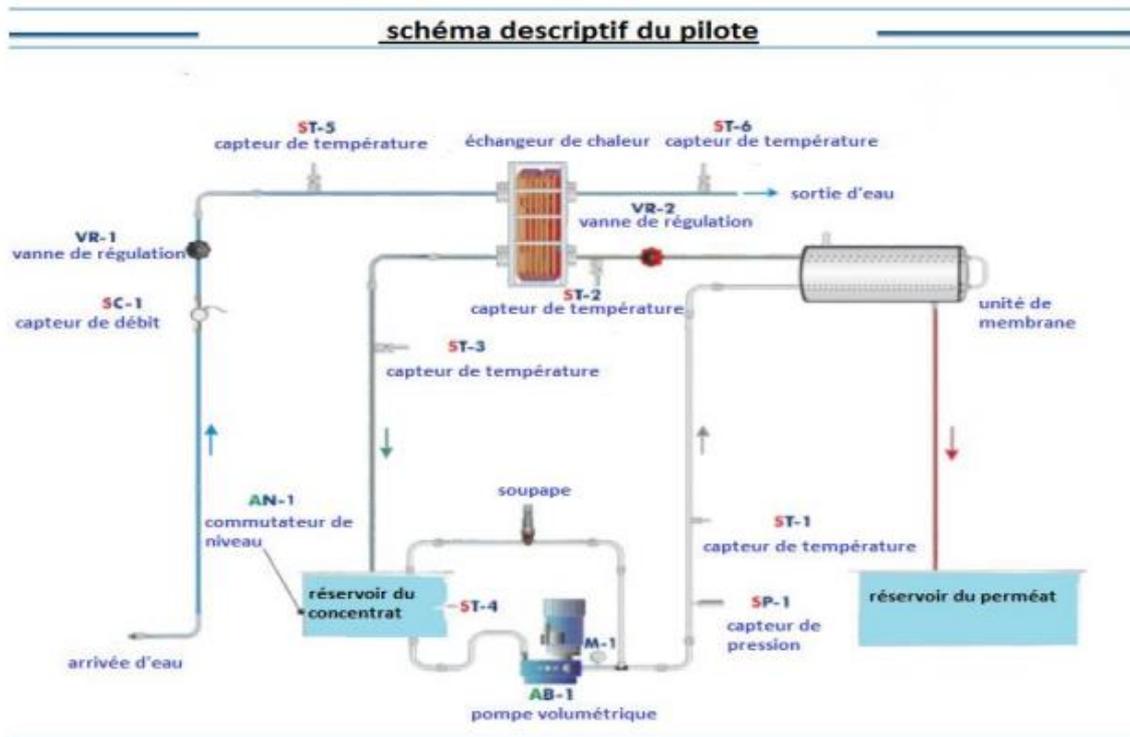
### *La partie expérimentale*

**Introduction :**

On a mené notre étude expérimentale au niveau du laboratoire du génie de l'eau et de l'environnement de l'université Belhadj Bouchaib, sur un pilote d'osmose inverse. Nous avons discuté dans cette expérience l'effet des paramètres physico-chimique sur le rendement du dessalement par osmose inverse, les résultats et les discussions de chaque expérience sont mentionnés dans ce chapitre.

**IV.1. Méthodes et Matériels :****IV.1.1. Description du fonctionnement du pilote « ROUC » :**

L'unité ROUC se compose d'une pompe à trois pistons à déplacement positif. Le moteur de la pompe de pression est alimenté par un variateur de fréquence qui permet d'obtenir des débits différents en fonction du procédé de séparation nécessaire. Parce que c'est une pompe volumétrique, le débit obtenu est proportionnel à la vitesse du moteur. Par conséquent, la pompe alimente l'effluent à deux membranes tubulaires reliées en série placées dans le module à membrane. Cette solution continue de se déplacer dans la partie intérieure du tube, le flux de per méat de la partie intérieure du tube en direction de l'enveloppe extérieure et le concentrât est obtenu à l'extrême finale des tubes. L'unité ROUC effectue un processus de filtration par écoulement transversal, ce qui évite l'apparition d'impuretés qui réduit la capacité du système. L'effluent déplacé par la pompe reçoit un peu de chaleur à partir de la pompe de manière à ce que sa température augmente. Le per méat est stocké dans un réservoir de produit final. Le concentrât remonte au réservoir initial afin d'être utilisé à nouveau comme un affluent, mais, en raison de l'augmentation de sa température, ce concentrât passe à travers un échangeur de chaleur à plaque dans un courant inverse. Le contrôle de la pression de l'unité à membrane est effectué par la vanne de régulation rouge.



**Figure IV.1:** Schéma descriptif du fonctionnement de l'installation pilote

#### IV.1. 2. Les Principaux Caractéristiques De L'unité ROUC :

- Réservoir en acier inoxydable d'alimentation (avec une capacité maximale de 15 L) ;
- Réservoir du perméat en acier inoxydable (avec une capacité maximale de 15L) ;
- Pompe d'alimentation volumétrique à trois pistons ;
  - Débit maximal : 38 L/min ;
  - Pression maximale : 150 bars ;
  - Pression de fonctionnement maximale : 55 bars ;
  - La pompe comporte une soupape de sûreté pour protéger l'unité ;
  - Un variateur de fréquence qui commande le moteur de la pompe.
- Soupape de commande ;
- Soupape de limitation de pression ;
- Module à membranes :
  - Deux membranes tubulaires reliées en série ;
  - Diamètre de la membrane : 12.5mm ;
  - Surface de la membrane :  $0.000122\text{m}^2$  ;

- Pression de fonctionnement maximale : 55bars.
- 6 membranes de chaque modèle des éléments suivant sont fournies :
  - RO01 : rétention caractère (99% de Na Cl), processus : osmose inverse,

Pression Max (45 bars) ;

- UF02 : rétention caractère (20 000 Da), processus, ultrafiltration, Pression Max (10 bars) ;

- UF03 : rétention caractère (200 000 Da), processus : ultrafiltration, Pression Max (15 bars).

- Deux vannes de régulation pour contrôler le débit d'eau et le débit de l'effluent;
- 6 capteurs de température, de type "J" ;
- Capteur de pression (0-100 bars) ;
- Capteur de débit (entrée d'eau), plage : 0.25 à 6.5 l/min.
- 1 Commutateur de niveau ;
- Les dimensions de l'unité :
  - Hauteur : 1000mm ;
  - Largeur : 800mm ;
  - Longueur : 800mm.
- l'unité requiert :
  - Une tension triphasée ;
  - Un approvisionnement en eau domestique pour l'échangeur ;
  - Un drainage ou une évacuation de l'eau.



**Figure IV.2 :** l'installation pilote ROUC (laboratoire du génie de l'eau et de L'environnement).

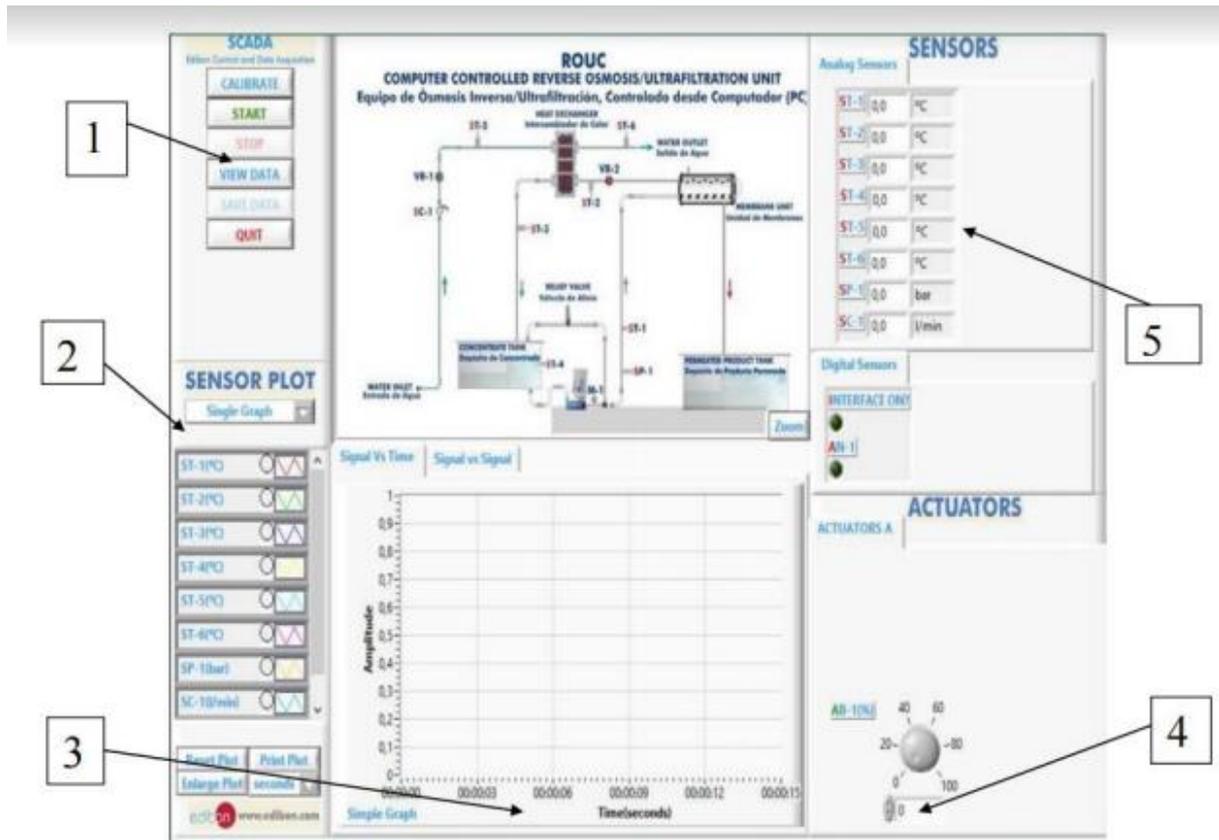
Avec :

- |                                       |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1 : module à membrane ;               | 5 : réservoir du concentrât ; |
| 2 : vanne de régulation de pression ; | 6 : commutateur de niveau ;   |
| 3 : réservoir du perméat ;            | 7 : pompe à trois pistons ;   |
| 4 : échangeur de chaleur ;            | 8 : variateur de fréquence.   |

- Le boîtier d'interface de contrôle fait partie du système SCADA.

Boîte d'interface de commande connectée à un ordinateur permet comme montré dans la figure de :

- Visualiser simultanément tous les paramètres impliqués dans le processus ;
- Calibrer tous les capteurs impliqués dans le processus ;
- Voir une représentation réelle des courbes en fonction du temps ;
- Stocker toutes les données du processus et les résultats dans un fichier.



**Figure IV.3:** boîtier d'interface de contrôle

Avec :

- 1 : Principales possibilités d'exploitation du logiciel ;
- 2 : La sélection des canaux et d'autres paramètres de tracé ;
- 3 : l'affichage graphique en réel temps ;
- 4 : contrôles Actionneurs. Actionneurs: AB = pompe. AN = Commutateur de niveau ;
- 5 : Capteurs d'affichage des valeurs en temps réel,

Et les paramètres de sortie supplémentaires, avec :

ST = Capteur de température ;

SP = Capteur de pression ;

SC = capteur de débit.

**IV.1.3. Préparation de la solution :**

- Les solutions utilisées sont préparé au laboratoire
- Pour chaque expérience en a diluée une certaine quantité de sel de table (Na Cl) avec l'eau distillée.
- Les concentrations des différentes solutions sont mentionnées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.1 : Valeurs des concentrations.**

$C_1$ (g/l)	$C_2$ (g/l)	$C_3$ (g/l)	$C_4$ (g/l)
5	10	15	20

- en a travaillé sur quatre paramètres (**Pression (bar)**, **Température (°C)**, **débit (ml/s)**, **Concentration (g/l)**) en fixant trois paramètres dans chaque expérience et faire varier le quatrième paramètre.

a)



b)



c)



**Figure IV.4 :a)** balance électrique. **b)** compteur de sel. **c)** plaque chauffante.

Laboratoire hydraulique (génie de l'eau et de L'environnement).

**IV.1.4. Mise en marche du pilote :**

Mise en marche du pilote

1. Remplir le bac avec la solution préparée
2. choisir le mode de traitement (pour notre cas c'est osmose inverse)
3. Réglage de la vitesse de rotation de la pompe
4. Réglage de la pression en manœuvrant la vanne de rejet

- Après un certain temps d'équilibre on prend les mesures nécessaires tel que les concentrations de perméat et de saumure ainsi que ces débits.

**IV.1.5. Conditions opératoires des essais**

Une série d'expériences tableau IV.2 a été menée dans le but de mettre en évidence l'influence des paramètres (la pression, le débit d'alimentation, la concentration et la température) sur les performances du système de dessalement par osmose inverse. Pour chaque expérience on a varié un paramètre et fixé les 3 autres. Pendant chaque expérience on a pris un échantillon et on a mesuré le volume les concentrations de perméat (traité) et de la saumure (rejet) et ses débits.

Tableau IV.2: Modes opératoires des essais.

Paramètres Varies	Valeurs				Paramètres Fixes
<b>Pression (bar)</b>	20	25	35	40	Q= 51ml/s T= 23°C C=10g/l
<b>Température °C</b>	22	25	35	40	Q= 51ml/s P= 30 bar C=10g/l
<b>Débit ml/s</b>	51 ,81	41,42	29,9	29 ,82	T= 23°C P= 30 bar C=10g/l
<b>Concentration g/l</b>	5	10	15	20	Q=51ml/s P= 30 bar C=10g/l

#### IV.1.6.Note de calcul :

- En notes que les débits sont calculées en fonctions des volumes sur le temps de remplissage par Temps d'échantillonnage.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (8)$$

Où:

**Q** : le débit (ml/s)

**V** : le volume d'échantillon (ml)

**T** : durée de l'échantillon (s)

- Le débit de la solution brute et calculer en fonction des débits de l'eau traitée plus le rejet

Avec :

$$Q \text{ brute} = Q \text{ traité} + Q \text{ rejet} \quad (9)$$

- Après chaque expérience le système est nettoyée en circulant l'eau distillé.

-On a défini le rendement par la loi suivante :

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_b} \times 100 \quad (10)$$

$\eta$  : Le rendement %

## IV.2.Résultats et interprétations :

### IV.2.1.Pression :

Dans cette expérience en a fixé le débit brut à 51 ml/s, la température à 23°C et la concentration à 10g/l. Les résultats sont mentionnés dans le tableau IV. 3.

**Tableau IV.3:** Valeurs des débits pour la pression

Pression (bar)	$Q_t$	$Q_r$	$Q_b$
20	V t=20ml t= 21s Q t=0,95ml/s	V r=200ml t= 4s Q r= 50ml/s	Q b=50,95ml/s
25	V t=20ml t=17s Q t=1,17ml/s	V r=200 ml t= 4S Q r=50ml/s	Q b= 51,17ml/S
35	V t=20ml t=16s Q t=1,25ml/s	V r=200 ml t= 4S Q r=50ml/s	Q b= 51,25ml/S
40	V t=20ml t=12s Q t=1,66ml/s	V r=200 ml t=4S Q r=50ml/s	Q b= 51,66 ml/S

$Q_b$  : débit brute.

$Q_t$  : débit traitée.

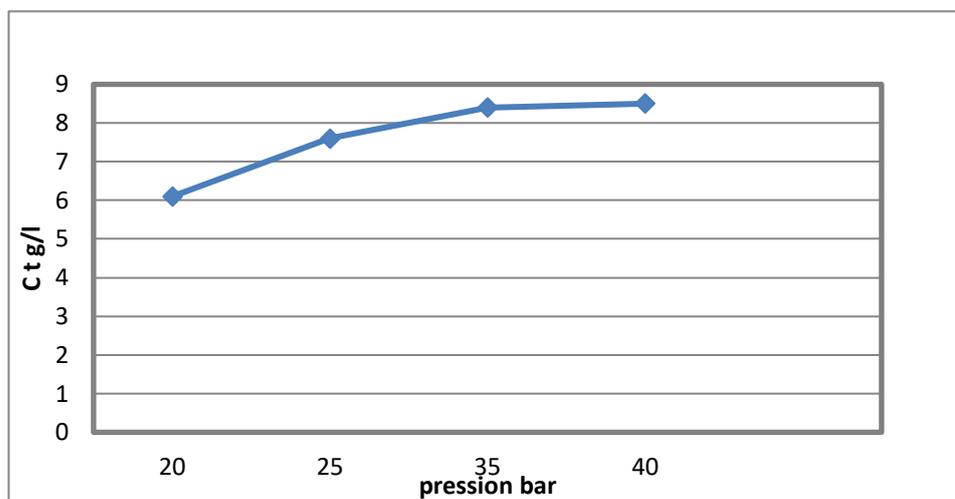
$Q_r$  : débit de rejet.

$V_t$  : volume de l'échantillon de l'eau traitée.

$V_r$  : volume de l'échantillon de l'eau de rejet.

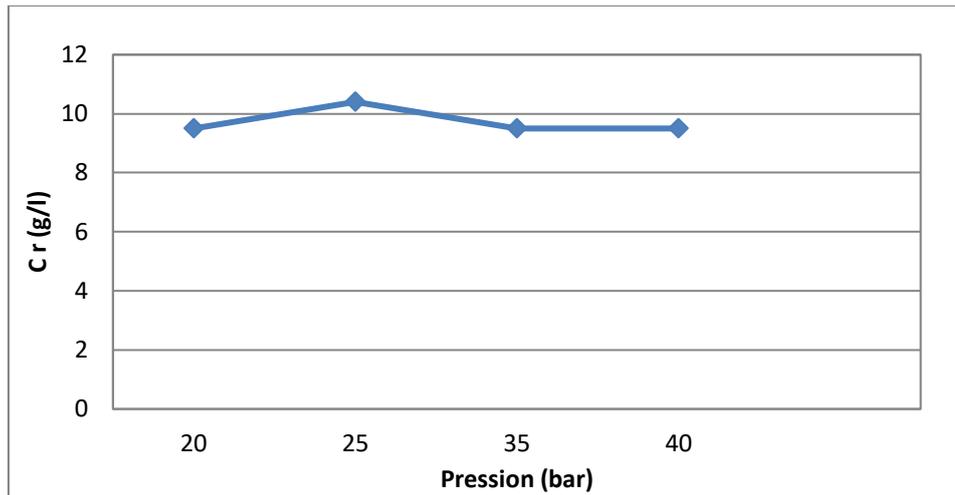
$t$  : durée de l'échantillon.

La courbe suivante montre l'évolution de concentration de l'eau traitée en fonction de la pression, On remarque sur la figure IV.5 l'existence d'une relation proportionnelle entre concentration et la pression. Plus la pression augmente, plus la concentration d'eau traitée augmente.



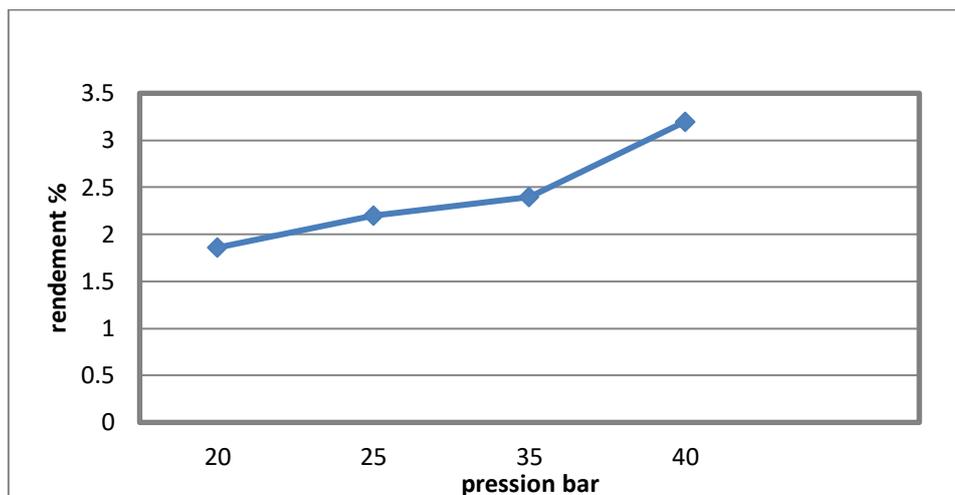
**Figure IV.5:** Evolution de concentration de l'eau traité (g/l) en fonction de la pression (bar).

La courbe IV.6 montre évolution de concentration de l'eau de rejet (g/l) en fonction de la pression, On remarque que la concentration l'ensemble des expériences effectués restent stable à des valeurs de l'ordre de 9,5g/l à part la concentration mesurée pour la pression de 25 bar qui a une valeur de 10,4 g/l.



**Figure IV.6:** Evolution de concentration de l'eau de rejet (g/l) en fonction de la pression (bar)

La courbe suivante IV.7 montre l'évolution du rendement en fonction de la pression, On remarque qu'il y a une relation proportionnel entre le rendement et la pression : Plus la pression augmente, plus on remarque que le rendement augmente.



**Figure IV.7:** Evolution du rendement ( $\eta$ ) en fonction de la pression ( $P$ )

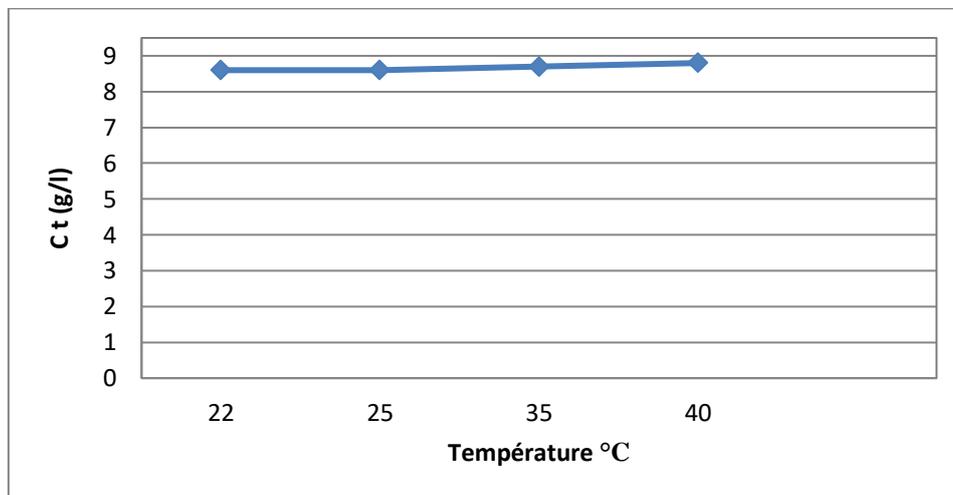
#### IV.2.2. Température :

Dans cette expérience on a fixé le débit 51ml/s, pression 30bar et la concentration 10g/l. Les résultats de cette étape d'étude sont dans le tableau IV.4

Tableau IV.4: Valeurs des débits pour la température.

Température °C	$Q_t$	$Q_r$	$Q_b$
22°C	V t=20 ml t=18s Q t= 1,11ml/s	V t= 200ml t= 4s Q t= 50ml/s	Q b=51,11 ml/s
25°C	V t= 20ml t=17 s Q t=1,17 ml/s	V t=200 ml t= 4s Q t= 50ml/s	Q b= 51,17 ml/s
35°C	V t=20 ml t= 13s Q t= 1,53ml/s	V t=200 ml t= 4s Q t= 50ml/s	Q b= 51,53 ml/s
40°C	V t= 20ml t= 12s Q t=1,66 ml/s	V t= 200ml t= 4s Q t=50 ml/s	Q b= 51,66 ml/s

La courbe **Figure IV.8** montre l'évolution de salinité de l'eau traitée en fonction de la température, On remarque dans cette figure l'existence d'une relation proportionnelle entre concentration et la température. L'augmentation de la température, plus la concentration traitée augmente.



**Figure IV.8:** Evolution de concentration de l'eau de traité (g/l) en fonction de la température (°C)

La **Figure IV.9** montre l'évolution de concentration de l'eau de rejet en fonction de la température, On remarque que la température augmente jusqu'à concentration 10g/l, puis diminue à 9,8g/l, puis augmente à nouveau dans la valeur de concentration 9,9g/l, la courbe presque stable.

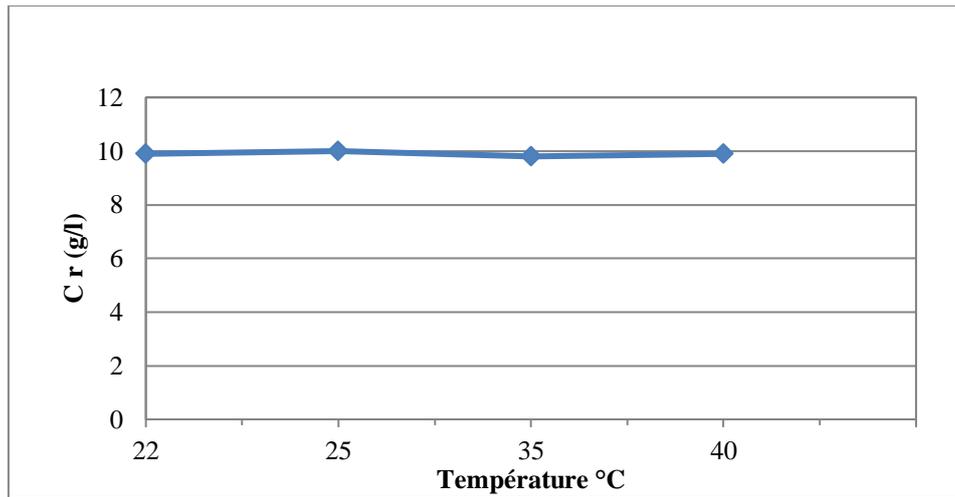


Figure IV.9: Evolution de concentration du rejet (g/l) en fonction de la température (°C)

La courbe suivante montre l'évolution du rendement en fonction de la température, On remarque que : Plus l'augmentation de la Température, plus le rendement augmenté.

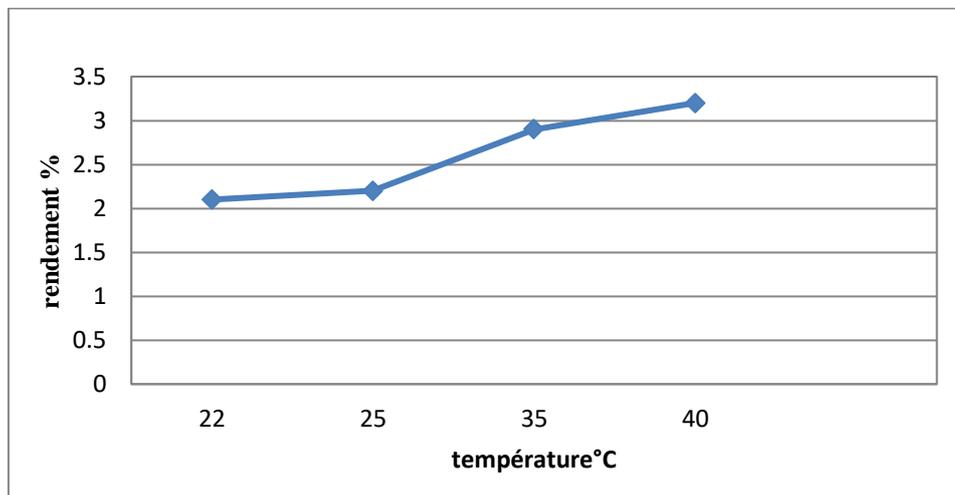


Figure IV.10 : Evolution du rendement ( $\eta$ ) en fonction de la température (T)

**IV.2.3.Débit :**

Dans cette expérience on a fixé la température 22°C, pression 30bar et la concentration 10g/l.

Les résultats de cette étape d'étude sont dans le tableau IV.5:

Tableau IV.5: Valeurs des débits.

Débit (ml/s)	$Q_t$	$Q_r$	$Q_b$
51,81	V t= 20ml t=11 s Q t= 1,81 ml/s	V t= 200ml t=4s Q t= 50 ml/s	Q b= 51,81ml/s
41,42	V t=20 ml t= 14s Q t=1,42 ml/s	V t= 200 ml t= 5s Q t= 40 ml/s	Q b= 41,42ml/s
29,9	V t= 20 ml t=15 s Q t= 1,33 ml/s	V t= 200 ml t= 7s Q t= 28,57 ml/s	Q b=29,9 ml/s
29,82	V t= 20 ml t= 16s Q t= 1,25 ml/s	V t= 200 ml t=7 s Q t= 28,57 ml/s	Q b= 29,82ml/s

A figure IV.11 suivante montre l'évolution de concentration de l'eau traitée en fonction de le débit, On remarque que la courbe diminue jusqu'à un taux de rendement minimum de 41,42 ml/s à concentration 8,1g/l ; puis remonte progressivement.

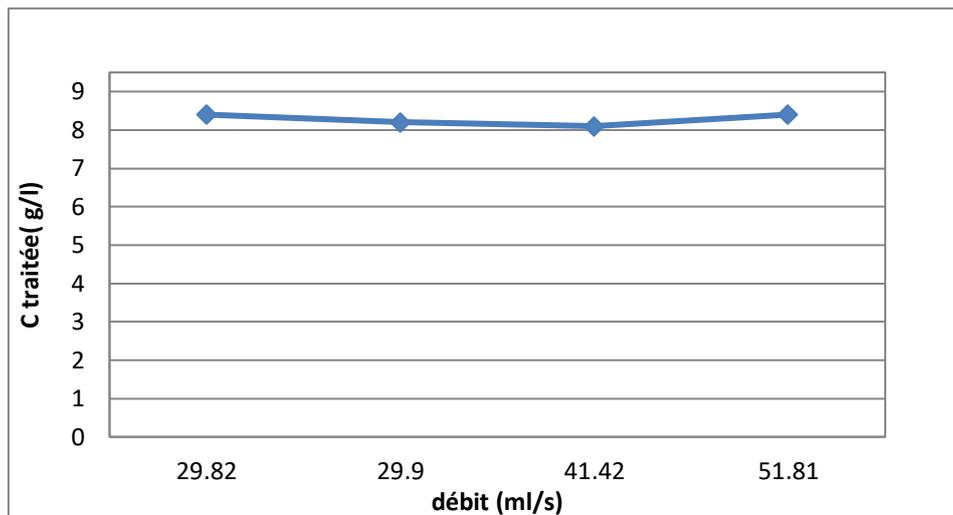
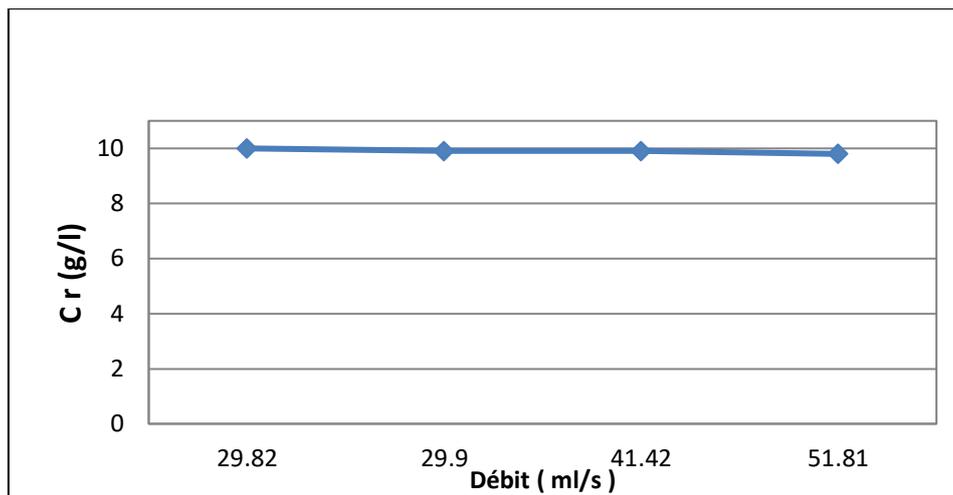


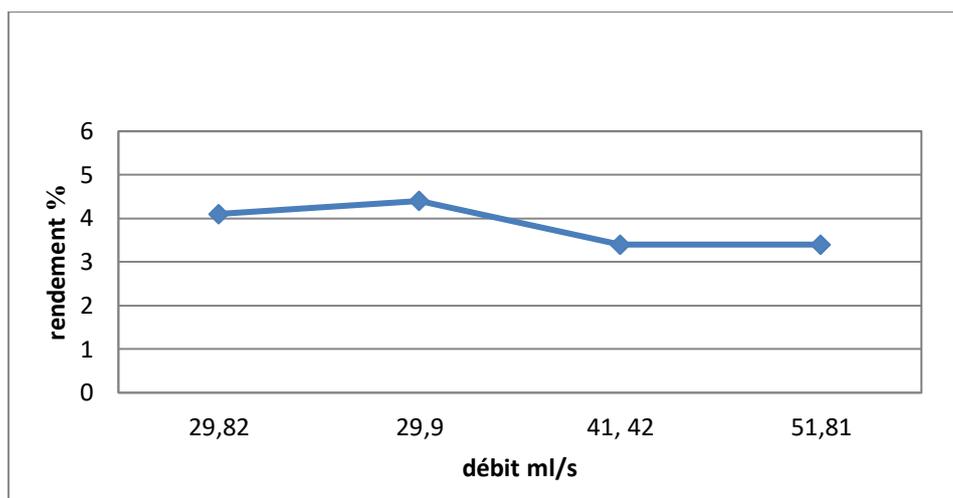
Figure IV.11: Evolution de concentration de l'eau traité (g/l) en fonction du débit (ml/s)

La figure IV.12 suivante montre l'évolution de salinité de l'eau de rejet en fonction du débit, On remarque que la courbe augmente est diminué, l'augmentation du débit plus la concentration de l'eau de rejet est diminué il y a une relation inverse.



**Figure IV.12:** Evolution de concentration de l'eau de rejet (g/l) en fonction du débit (ml/s)

La courbe suivante montre l'évolution du rendement en fonction de débit, Nous disons qu'il existe une relation inverse : à mesure que le rendement diminue et le débit augmente.



**Figure IV.13:** Evolution du rendement ( $\eta$ ) en fonction de débit ( $Q$ )

#### IV.2.4. Concentration :

Dans cette expérience on a fixé la température 22°C, pression 30bar et le débit 51ml/s.

Les données de cette étape d'étude sont dans le tableau IV.6 :

Tableau IV.6: Valeurs des débits pour la concentration

Concentration (g/l)	Q t	Q r	Q b
5	V=20ml t=11s Q t=1,81ml/s	V=200ml t=4s Q r= 50ml/s	Q b= 51,81 ml/s
10	V=20ml t=17s Q t=1,17ml/s	V=200ml t=4s Q r= 50ml/s	Q b= 51,17 ml/s
15	V=20ml t=21s Q t=0,95ml/s	V=200ml t=4s Q r= 50ml/s	Q b= 50,95 ml/s
20	V=20ml t=26s Q t=0,76ml/s	V=200ml t=4s Q r= 50ml/s	Q b= 50,76 ml/s

La figure IV.14 suivante montre l'évolution de concentration de l'eau traitée en fonction de la salinité.

On remarque que la courbe augmente directement d'une manière proportionnelle, c'est-à-dire que plus la salinité est élevée, plus la concentration de l'eau traitée élevée.

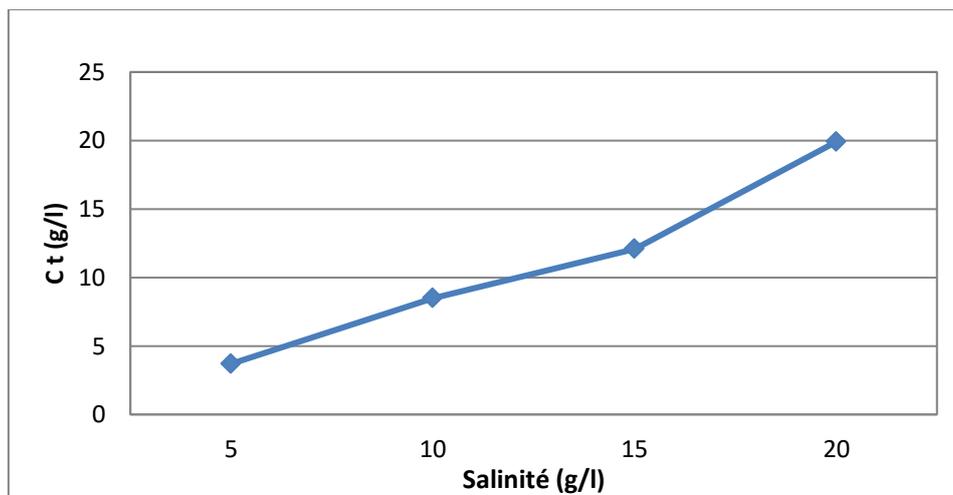
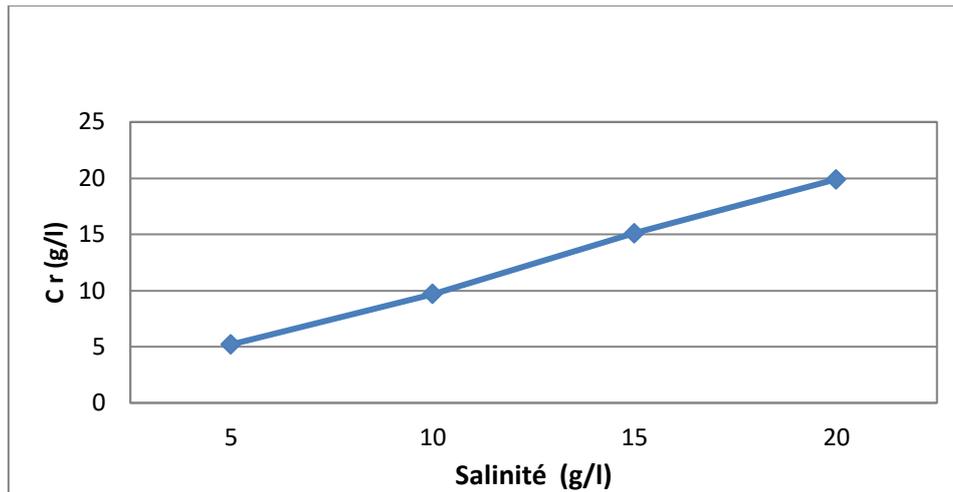


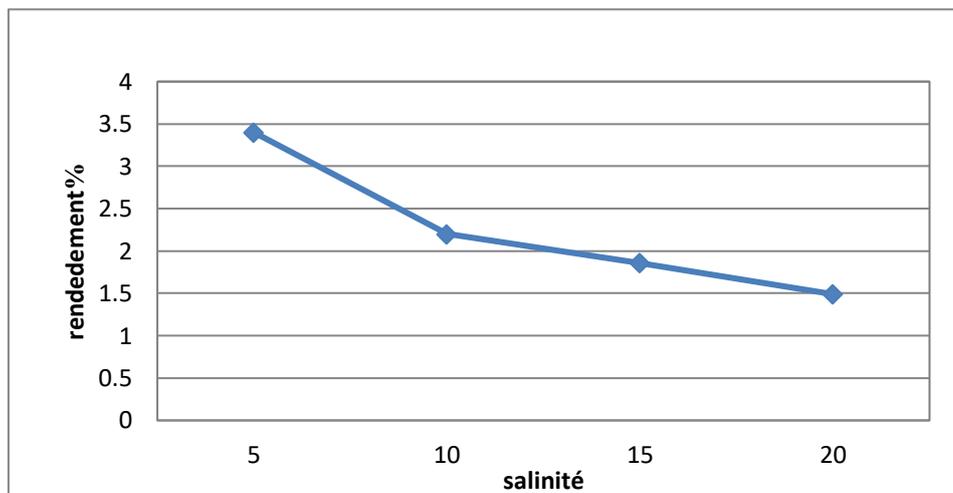
Figure IV.14: Evolution de la salinité de perméat en fonction de concentration (g/l)

La figure IV.15 suivante montre l'évolution de la concentration de l'eau de rejet en fonction de la salinité, On remarque la courbe augmente, et on dit donc qu'il y a une relation directe. L'augmentation la salinité, plus la concentration de saumure augmentée.



**Figure IV.15:** Evolution de la salinité de l'eau de rejet en fonction de concentration (g/l)

La courbe suivante montre l'évolution du rendement en fonction concentration, On observe une diminution graduelle de la courbe, ce qui signifie une relation inverse entre eux. Donc plus la concentration est augmentée, plus le rendement est faible.



**Figure IV.16 :** Effets de la concentration (g/l) sur le rendement %.

### IV. 3. Discussions – limites – et recommandations :

Le principe de base de l'osmose inverse est de faire passer l'eau à traiter à travers une membrane semi-perméable en appliquant une pression supérieure à la pression osmotique, pour retenir les solutés du côté du concentré et obtenir un perméat (eau traitée) de l'autre côté.

Dans nos expériences, nous avons reporté les résultats tels obtenus, et nous allons par la suite expliquer et essayer de donner les raisons que nous pensons être l'origine de certains résultats illogique obtenus. Avant tout, il faut mentionner qu'il existe qu'un seul travail sur le même pilote [36] et c'est pour cette raison nous ne pouvons pas comparer nos résultats avec d'autres, et c'est ce qui fait que notre travail est unique dans son genre.

Prenons la pression, dans les travaux précédents [36], les résultats montrent que la concentration du perméat diminue après passage sur les membranes OI et que la concentration dans le rejet (saumure) augmente et double de quantité, dans nos résultats nous avons remarqué une augmentation dans et le perméat, et le rejet. Ce que nous expliquons par le fait que l'augmentation de la pression peut avoir des effets de polarisation, puisque la Vitesse de filtration de l'eau augmente, une accumulation de solutés à la surface de la membrane peut apparaître ce qui diminue l'efficacité de la membrane à rejeter et filtrer les solutés. Une autre raison est la saturation et le colmatage de la membrane, puisque a des pressions très élevées, la membrane peut atteindre un point de saturation ou sa capacité à rejeter les solutés est réduite. Néanmoins, ces derniers n'ont pas eu un impact sur le rendement du pilote, puisque on a constaté une augmentation du rendement proportionnelle à la pression expliquée par l'augmentation de la force motrice appliquée.

L'augmentation de la température a engendré une augmentation de la concentration du sel dans le perméat (eau traitée) expliquée par le fait que les températures élevées peuvent faire augmenter la perméabilité de la membrane, en littérature on trouve que les membranes polymériques sont flexibles à la température. La viscosité diminue lorsque la température augmente ce qui facilite la traversé de l'eau à travers la membrane et entraîne souvent un passage de sel. Le rendement d'un système OI augmente lorsque la température augmente à une certaine valeur.

L'expérience de la concentration qui augmente montre que la salinité a un effet sur le rendement d'un système OI et nécessite une pression supérieure et élevée, peut entraîner aussi l'augmentation de la salinité dans le perméat expliquée par le fait que la capacité de la membrane à séparer les solutés est réduite. En raison de l'augmentation de la pression osmotique due à la salinité élevée, on a besoin d'appliquer une pression supérieure, et vu que pendant notre expérience on a maintenu la pression stable, le rendement et réduit.

Le débit d'alimentation plus élevé permet d'augmenter le rendement d'un système OI, mais a un certain point, l'augmentation du débit peut réduire le temps de contact de l'eau avec la

membrane ce qui réduit l'efficacité de la séparation des solutés montrées dans les résultats obtenus.

Dans notre travail, nous avons rencontrés des obstacles qui ont gêné le déroulement de nos expériences, à savoir la qualité des membranes utilisées, la quantité d'eau distillée disponible ce qui a limité le nombre d'expérience envisageables. La quantité d'eau nécessaire pour le fonctionnement du pilote est importante.

Pour les futures études, nous recommandons l'utilisation de nouvelles membranes pour éliminer tout risque de colmatage pouvant altérer l'exactitude des résultats. La disponibilité d'eau distillée en quantités suffisantes pour faire plus d'échantillons à des intervalles de temps différents ce qui améliorent la qualité des résultats. Un travail de laboratoire nécessite du temps et du savoir-faire.

### **Conclusion :**

Dans notre étude nous avons pu arriver à notre but qui est de déterminer L'effet du paramètres (pression, température, débit et la concentration) sur le rendement .On a aussi évalué les effets des différents paramètres sur la qualité et la quantité de perméat et saumure.

Nos résultats montrent que l'augmentation de la pression peut entraîner des effets de polarisation et de colmatage de la membrane, réduisant ainsi son efficacité, à des pressions 35bar et 40bar. De même, une température plus élevée augmente la perméabilité de la membrane, facilitant le passage des sels qui montre dans les valeurs 35°C et 40°C.

La concentration en sel et le débit d'alimentation ont également montré des impacts significatifs sur le rendement du système. Une influence positive le débit d'alimentation mais à un certain point 29,9 ml/s à rendement de 4,4% contrairement à la concentration ont provoqué une diminution du rendement de 1,86% et 1,49% pour 15 g/l et 20g/l. qui nous a permis d'aboutir d'évaluer l'influence des quatre paramètres sur les performances du procédé de dessalement par osmose inverse.

## *Conclusion Générale*

## CONCLUSION GENERALE

---

### Conclusion générale :

Le dessalement est un enjeu spécialement important pour l'avenir des régions confronté aux pénuries d'eau. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. Cette approche présente des perspectives prometteuses pour remédier à l'insuffisance d'eau douce, notamment dans les régions arides. Dans les stations de dessalement, telles que celle de Béni Saf, les étapes de prétraitement assurent un entretien optimal des équipements et la production d'une eau douce de qualité supérieure, en accord avec les normes de l'OMS.

Le dessalement par osmose inverse (OI) s'est révélé être une technique efficace pour répondre aux besoins en eau potable des pays souffrant de pénuries sévères. Ce procédé, utilisé pour le dessalement des eaux de mer, saumâtres, ainsi que des eaux usées urbaines et industrielles, permet d'éliminer les sels et les substances organiques, ainsi qu'une partie des virus et des bactéries.

Notre étude, bien que limitée dans le temps, a permis d'atteindre nos objectifs en évaluant l'influence de divers paramètres (pression, température, débit et concentration en sel) sur les performances du procédé d'OI. Nos résultats montrent que l'augmentation de la pression peut entraîner des effets de polarisation et de colmatage de la membrane, réduisant ainsi son efficacité, à des pressions 35bar et 40bar. De même, une température plus élevée augmente la perméabilité de la membrane, facilitant le passage des sels qui montre dans les valeurs 35°C et 40°C.

La concentration en sel et le débit d'alimentation ont également montré des impacts significatifs sur le rendement du système. Une influence positive le débit d'alimentation mais à un certain point 29,9 ml/s à rendement de 4,4% contrairement à la concentration ont provoqué une diminution du rendement de 1,86% et 1,49% pour 15 g/l et 20g/l.

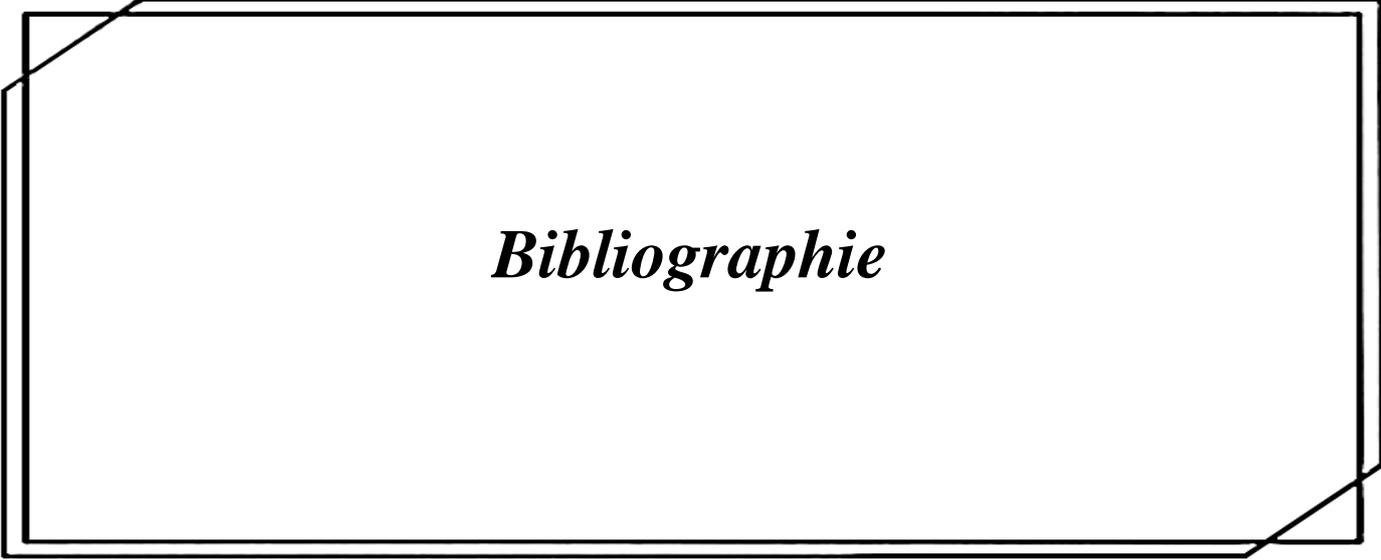
Les défis techniques rencontrés, tels que la qualité des membranes et la disponibilité limitée d'eau distillée, ont influencé le déroulement de nos expériences. Pour les futures études, nous recommandons l'utilisation de nouvelles membranes pour éliminer les risques de colmatage et une meilleure disponibilité d'eau distillée pour améliorer la qualité des résultats.

En conclusion, le dessalement par osmose inverse est une technologie vitale pour répondre aux défis de l'eau douce dans les régions arides. Les recommandations proposées dans ce

## **CONCLUSION GENERALE**

---

mémoire visent à optimiser l'efficacité de ce procédé, contribuant ainsi à une gestion plus durable des ressources en eau et à une meilleure utilisation de l'osmose inverse dans le traitement de l'eau.



*Bibliographie*

## BIBLIOGRAPHIE

---

[1] : **C. Le Guern, P. Lacassagne, Y. Noel, F. Persin et L. De Buysscher.** «Dessalement et recharge artificielle : synthèse techno-économique ». Rapport BRGM/RP-52262-FR.2003. p. 10.

[2] : **Alain Maurel**, (2006), «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», 2 ère éditions, 286 P.

[3]: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Dessalement>

[4]: *Algerian of Water*, 2012: « Desalination of seawater », Algiers.

[5] :**C.Bliefert et al**, *Chimie de l'environnement (air, eau, sols et déchets)*. Edition: Boeck & larciel, 2001

[6] : **Danis P., 2003** : « Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur », J 2700. Numéro spécial de Science et Vie sur l'eau, N°211, Juin 2000

[7] : **HOEPNER. DANIS.P**, (2003), «Dessalement de l'eau de mer». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 700

[8] : **Attalah, A**, « procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine », Tlemcen, 2014, 99p.

[9] : **Viviane Renaudain**, « le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », page consultée le 18 mars 2016

[10] : *Techniques de dessalement*, « les procédés membranaires », page consultée le 16 mars 2016

[11]: **M.Wilf** *Intensive course: RO, NF and membrane filtration technology for potable water applications*. EDS, University of L'Aquila, 2005.

[12]: **A.M. Helal; 2004**. *Optimal design of hybrid RO, MSF desalination plants*, *Desalination*160, 13-27

[13] **I.C. Karagiannis, P.G. Soldatos, 2008**. *Water desalination cost literature: review and assessment*, *Desalination*223, 448–456.

[14] : **MORSLI MEBARKA SOUMIA** ; «Impact des Arrêts Techniques de L'usine de Dessalement de L'eau de Mer sur L'entreprise et L'environnement» ; mémoire de magister ; université d'Oran 2013

## BIBLIOGRAPHIE

---

[15]: **Rawn, A.M., Bowerman, F.R. and Brooks, N.H.**, (1961), «Diffusers for disposal of sewage in sea water», *Trans. ASCE.*, 126, 344-388

[16] : **D. BOIXADERA**, « *Le dessalement d'eau de mer. BRL Ingénierie* »2001.

[17] :**Tome1. Dégremet** « *Mémento technique de l'eau* », Lavoisier-Lexique technique de l'eau, Paris, 2005.

[18] : **N.SABER**, « *l'eau, c'est la vie* ». *Energie et mines*, Avril 2004

[19] : **A. Maurel** (*Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. édition Tec &Doc, paris octobreb2001*).

[20]: **J. Corpel \_ A. Maurel**

*Use of electro dialysis for the supply of fresh water of a small island in the Mediterranean.congrès de la Ligue arabe , Le Caire , 6-9 November 1971*

[21] : **A. Maurel\_ P. Vignet**

*Comparaison technico -économique des procédés de dessalement. Chimie et Industrie\_ Génie chimique, Novembre 1972.*

[22] : **A. Maurel**

*Osmose inverse in: les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire .G.Daouf, F René, P. René, P Aimar, paris, Lavoisier-Tec&Doc : 68-85, 1998.*

[23] : **S. Kehal**, *Rétrospective et perspective du dessalement en Algérie, Désaliénation (136)* ,35-42,2001

[24] : **I. Ahmouda et H.Biaa**, *Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de « les dunes » Oran, mémoire de master, Université Larbi Tebssi, 2015-2016*

[25] : **C.Cardot**, *Génie de l'environnement, Les traitements de l'eau. Edition: Ellipses. 247p, 1999.*

[26] : **A. Maurel**

*Osmose inverse et ultrafiltration. Techniques de l'Ingénieur \_ Série Génie chimique J.2790 à 2794, Décembre 1974.*

[27] : **A. Maurel** *Dessalement et énergie solaire. Séminaire sur les applications de l'énergie solaire. Tunis, @ 20-28 avril 1976.*

[28]: **Metaiche, M**, « *optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse : Conception, paramètres de fonctionnement et simulation numérique* », Alger, 2006, 229p.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [29]: **Wanger Jorgen**, *Membrane filtration Handbook: practical Tips and Hints*, Edition Osmonics, 2001.
- [30]: **Baker Richard W.**, *Membrane Technology and Application*, John Wiley & Sons Edition, 2004.
- [31]: *Les membranes fibres creuses*, page consultée le 25 mars 2016.
- [32]: **L .Sigg et al**, *Chimie des milieux aquatique, chimie des eaux naturelles et des Interfaces dans l'environnement*. Edition : Dunod. 567p, 2000.
- [33]: (BWC « Beni Saf Water Comapny », *Station de dessalement d'Eau de mer de Beni Saf*).
- [34]: (<http://desarrollo.benisafwater.com/index.html>)
- [35]: ([www.veoliawatertechnologies.ca/.../degrillage-fin-stationnaire/](http://www.veoliawatertechnologies.ca/.../degrillage-fin-stationnaire/))
- [36]: **Mostefaoui. L**, « *Dessalement d'eau de mer par osmose inverse, fonctionnement et Effets des paramètres sur le rendement* ».



