

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'Ingéniorat
Département : Génie des procédés
Domaine : Science et technologie
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie des procédés
d'environnement

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Dimensionnement d'une station de dessalement de l'eau de mer
par osmose inverse pour l'alimentation de la centrale thermique de
Draouch SKD**

Présenté par : REBBANI HADJER
HALOUANI NARIMANE

Encadrant : KHERRAT ROCHDI

PROFESSEUR

UBMA

Jury de Soutenance :

DERRADJI MED FAOUZI	PROFESSEUR	UBMA	Président
KHERRAT ROCHDI	ROFESSEUR	UBMA	Encadrant
SAMAR MOHAMED EL- HADI	PROFESSEUR	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

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.

Puis, Je tiens à remercier particulièrement et très sincèrement

Pr. Kharrat Rouchdi *pour avoir accepté*

d'encadrer ce travail et de m'avoir apporté ses connaissances et ses conseils précieux.

Je voudrais ensuite remercier tous les membres du jury qui vont juger ce travail et me faire profiter de leurs connaissances et remarques constructives

Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants, qui nous ont donné les bases de la science durant toute notre vie scolaire et universitaire.

Enfin, A tous ceux qui ont contribué à l'avancement et à la

Réalisation de ce Mémoire, j'exprime mes profonds remerciements.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

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

A MA CHERE MERE

Aucune dédicace ne 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 vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A MON TRES CHER PAPA

Le symbole de ma droiture, de sa générosité, et sa tendresse. .Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consenti pour mon éducation.

A MES CHERS ET ADORABLES SOUERS

HADDA la prunelle de mes yeux, et **AYA** ma petite sœur que j'adore.

A MES TANTE SALIMA et FATIHA

Pour ses conseils et ses encouragements durant toute ma vie universitaire.

A MON CHER BINÖME NARIMEN et à

toute sa famille A toutes mes amies.

*A tous ce qui porte le nom **REBBANI***

REBBANI HADJER

Dédicace

*J'adresse mes remerciements par un grand respect et gratitude
A MES TRES CHERS PARENTS qui sont la lumière de ma
vie **RACHID** et **LATIFA**, qui ont tant souffert et se sont
sacrifiés pour que je sois heureuse, pour leurs conseils, leurs
affection et leurs encouragements.*

Et je le dédie à :

*Mes TRES CHERES FRERES qui m'ont soutenue
affectivement tout le long de maFormation : **SARA** l'aimable
que j'aimeProfondément, et **ABED EL NOUR** la prunelle de
mes yeux.*

*A MA TANTE, **MALIKA** Pour ses conseils et ses encouragements
durant toute ma vie universitaire.*

*A MON CHER BINÖME HADJER pour tout ce qu'elle a fait pour
la réussite de ce travail*

A toute ma famille sans exception,

*Mes amies et mes camarades de promotion "Génie des procédés de
l'environnement, pour tout ce que nous avons partagé, échangé ensemble
durant ces années.*

A tous les gens qui ont contribué ma réussite de près ou de loin.

HALOUANI NARIMANE

Sommaire

REMERCIEMENTS
DEDICACES
LISTE DES FIGURES
LISTE DES TABLEAUX
RESUME/ ملخص /ABSTRACT

Introduction Général	2
Chapitre I: Description de la Centrale Electrique Eddraouch (El Taref).	
I.1 Introduction.....	5
I.2 Présentation de la Centrale à cycle combiné (CC).....	5
I.3 Fiche technique de la centrale électrique Koudiet Eddraouch	6
I.4 Description technique du projet	6
I.5 Conclusion	9
Chapitre II : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer	
II-1 Introduction.....	11
II-2 Définition du dessalement de l'eau de mer	11
II-3 Schéma général d'une installation de dessalement	11
II-3.1 Captation de l'eau de mer	12
II-3.2 Le Prétraitement	12
II-3.3 Installation de dessalement	13
II-3.4 Le poste traitement	13
II-4 Différent procédé de dessalement.....	13
II-4.1 Procédés de dessalement par changement de phase	15
II.4.2 Electrodialyse.....	19
II.4.3 La congélation.....	26
II.4.4 Les procédés chimiques.....	27
II.5 Autre procédés de dessalement	29
II.5.1 Distillation solaire.....	29
II.5.2 Quantité d'énergie nécessaire pour le dessalement.....	30
II.6 L'impact de dessalement sur l'environnement.....	31
II.6.1 Rejets atmosphérique.....	31
II.6.2 Rejets chimiques	31
II.6.3 Rejets saumures.....	31
II.6.4 Lieu de rejets saumure.....	32
II .7 Problèmes techniques rencontrés en dessalement	32

II.7.1 La corrosion	32
II.7.2 L'entartrage (Scaling)	33
II.7.3 Le colmatage (Fouling)	34
II.8 Les Avantage et les inconvénients de dessalement	34
II.9 Conclusion	38

Chapitre III : Dimensionnement de la station RO

III.1 Introduction	40
III.2 Présentation de logiciel WAVE	40
III.3 Les Avantages du logiciel WAVE	40
III.4 Conclusion	58
Conclusion Général	60

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des figures

Figure I.1 : Présentation de la Centrale à cycle combiné (CC)	5
Figure I.2 : La centrale électrique Koudiet Eddraouch (El Taref).....	6
Figure II.1 : Schéma général d'une installation de dessalement	12
Figure II.2 : Les procédés de dessalement	14
Figure II.3 : Domaine d'utilisation des différentes techniques de déminéralisation en fonction de la salinité de l'eau à traiter	14
Figure II.4 : Principe de distillation	15
Figure II.5 : Distillation à simple effet (MAUREL, 2006)	16
Figure II.6 : Distillation à effet multiple (RENAUDINE, 2003)	17
Figure II.7 : Distillation avec compresseur de vapeur (DANIS, 2003)	18
Figure II.8 : Distillation à détente étagées (DANIS, 2003)	19
Figure II.9 : Cellule élémentaire d'électrodialyse (HAMANI, 2013)	20
Figure II.10 : Principe de l'ectrodialyse	21
Figure II.11 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse (SAGNE, 2008)	22
Figure II.12 : Module Spiral (DANIS, 2003)	24
Figure II.13 : Structure des membranes d'osmose inverse (MAUREL, 2006)	24
Figure II.14 : Principe du distillateur serre	30
Figure II.15 : Distillateur solaire	30
Figure III.1 : L'ouverture d'un logiciel WAVE.....	41
Figure III.2 : Définition du flux d'alimentation ou de produit pour un système RO.....	41
Figure III.3 : Déposez le type d'eau	42
Figure III.4 : Déposez l'icône d'RO.....	42
Figure III.5 : Saisie de la composition spécifique de l'aliment RO	43
Figure III.6 : Ajustement la charge de balance	44
Figure III.7 : Fenêtre de conception d'RO	44
Figure III.8 : Fenêtre de taux de recouvrement	46
Figure III.9 : Ajout et suppression de passes dans le système RO	47
Figure III.10 : Type de membranes	47
Figure III.11 : La membrane SEAMAXXTM440i	48
Figure III.12 : Calcul et rapport	48

Figure III.13 : Diagramme de flux du système RO	49
Figure III.14 : Informations sur le flux RO	50
Figure III.15 : Tableau de débit RO.....	50
Figure III.16 : Concentrations de soluté RO- Passe1	51
Figure III.17 : Ajout de passes dans le système RO	52
Figure III.18 : fenêtre de taux de recouvrement	53
Figure III.19 : Fenêtre de conception d'RO	54
Figure III.20 : La membrane « XLE-440 »	56
Figure III.21 : Calcul et Rapport	56
Figure III.22: Diagramme de flux du système RO	57
Figure III.23 : Informations sur le flux RO	57
Figure III.24: Concentrations de soluté RO- Passe 2	58

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Les avantages et les inconvénients de la distillation et l’osmose inverse.....	25
Tableau II.2 : Comparaison entre les procédés membranaires (MORSLI, 2013)	26
Tableau II.3 : Les avantages et les inconvénients de dessalement par congélation.....	27
Tableau II.4 : Les avantages et les inconvénients de les procédés chimique.....	28
Tableau II.5 : Stations monoblocs (ADE, 2007).....	36
Tableau II.6 : Les grandes unités de dessalement (ADE, 2007).....	37

Liste de l'abréviation

CC : cycle combiné.

VC : compression de vapeur.

MSF : distillation Multi-Flash.

ED : électrodialyse.

EDMB : électrodialyse à membrane bipolaire.

EM : électrolyse à membranes.

OI : osmose inverse.

RO : osmose inverse.

WAVE: wave application value engine.

UF: ultrafiltration.

Résumé

Le problème de pénurie en eau potable et eau usée se pose encore de nos jours dans de nombreux pays. Du fait de l'importance de la ressource en eau présente dans les océans, la solution du dessalement de l'eau de mer est en constant progrès. Ce dessalement se fait actuellement majoritairement par osmose inverse.

Notre mémoire traite dans son ensemble deux parties :

- **Partie théorique** : cette partie qui présente SHARIKET KAHRABA ELDJAZAIR Eddraouche / El-Taref et généralités sur le dessalement de l'eau de mer

- **Partie expérimentale** : Dans cette partie qui représente les résultats nous avons utilisé Water Application Value Engine (WAVE) et interprétations de chaque partie.

Mots-clés : Dessalement des eaux de mer, osmose inverse, perméat.

Abstract

The problem of shortage of drinking water and waste water still arises today in many country. Due to the importance of the water resources present in the oceans, the seawater desalination solution is in constant progress. This desalination is done currently mainly by reverse osmosis.

Our thesis deals as a whole with two parts:

- **Theoretical part**: this part which presents SHARIKET KAHRABA ELDJAZAIR Eddraouche / El-Taref and general information on seawater desalination.

- **Experimental part**: In this part which represents the results we used Water Application Value Engine (WAVE) and interpretations of each part.

Keywords: Seawater desalination, reverse osmosis, permeate.

ملخص

لا تزال مشكلة نقص مياه الشرب ومياه الصرف تظهر اليوم في العديد من البلدان. نظرًا لأهمية الموارد المائية الموجودة في المحيطات، فإن حل تحلية مياه البحر في تقدم مستمر. تتم هذه التحلية حاليًا بشكل أساسي عن طريق التناضح العكسي.

والمذكرة التي بين أيدينا تعالج هذا المشكل في جزأين:

- **الجزء النظري:** هذا الجزء الذي يعرض شراكة كهربية الجزائر الدراوش / الطارف ومعلومات عامة عن تحلية مياه البحر.

- **الجزء التجريبي:** في هذا الجزء الذي يمثل النتائج، استخدمنا محرك قيمة تطبيقات المياه وتفسيرات كل جزء.

(WAVE)

الكلمات المفتاحية: تحلية مياه البحر، تناضح عكسي، نفاذية.

Introduction Générale

Introduction Général

L'eau est indispensable pour la vie mais sa disponibilité n'est pas assurée partout. La pénurie d'eau se pose et se posera dans de nombreux pays et le monde fait face à une crise de l'eau potable majeure annoncée pour les années 2000-2030. Ce problème s'aggrave à mesure que les villes grandissent, que la population augmente et que l'agriculture, l'industrie et les ménages ont besoin d'eau en quantités toujours plus grandes. Cela risque de mettre gravement en péril le ravitaillement en eau douce d'une grande partie de l'humanité et par voie de conséquence d'aggraver les conflits entre pays voisins ayant des ressources communes [1]. La terre est recouverte de 72% d'eau, dont seulement 3% d'eau douce. Cette eau est inégalement répartie sur la planète : 10 pays se partagent 60% des réserves d'eau douce alors que 29 pays subissent de nombreuses sécheresses. L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ 1 million de km³, elle se trouve en quantité limitée, et la répartition de cette eau est très inégale [2] et sa qualité est constamment menacée. Aujourd'hui, selon l'OMS, une personne sur trois dans le monde n'a pas assez d'eau pour répondre à ses besoins quotidiens. L'homme s'est ingénie à rendre l'inutilisable utilisable en ayant recours à l'eau de mer représentant une richesse quasiment inépuisable, mais uniquement si on peut la dessaler, car elle contient 1000 fois plus de sel que la limite fixée par l'OMS pour pouvoir être consommée, c'est-à-dire une teneur maximale de 500 mg/L. Face à cette situation, le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres constitue ainsi une des réponses possibles pour s'adapter à la pénurie croissante des ressources en eau. Parmi les pays qui souffrent du manque d'eau notre pays l'Algérie. Ce manque d'eau est lié à la situation géographique de notre pays, mais aussi le gaspillage (estimé à 40%) lié à la vétusté des canalisations et au manque de civisme des gens et l'effet de serre. 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 : ce sont l'osmose inverse, la distillation et l'électrodialyse. En dessalement, le principal procédé membranaire est l'osmose inverse (OI) qui représente à l'heure actuelle 53 % des capacités mondiales d'eau produites par dessalement et a ainsi dépassé les procédés de distillation depuis 2001 [3]. 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'objectif de notre travail s'inscrit dans cette optique, ou nous avons cherché à dimensionner une station de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (RO) en utilisant le logiciel WAVE. L'eau

obtenue sera utilisé par le refroidissement de la centrale électrique de El Draouche. Le travail présenté dans ce mémoire s'articule sur trois parties principales. La première partie est consacrée à la présentation de la centrale électrique. Dans la deuxième partie nous présentons de façon générale les procédés de dessalement existant. La troisième partie nous présentons la partie calcul qui porte sur l'exploitation et l'interprétation des résultats on utilisons le logiciel WAVE.

Chapitre I : Description de la Centrale Electrique Eddraouch (El Taref).

I.1 Introduction :

Au cours de notre visite à l'entreprise (SKE) d'Eddraouch, nous avons pu apprendre le principe de fonctionnement général de la centrale électrique et ses principaux éléments. Cette centrale fonctionne selon un cycle combiné et utilise le gaz naturel comme combustible. Plus largement, cette occasion a été l'opportunité pour nous d'appréhender le principe de fonctionnement des cycles combinés, de la méthode de production d'électricité, et de se renseigner sur plusieurs types de pompes. Elle nous a permis de comprendre dans quelle mesure les différentes disciplines techniques sont liées à l'électricité, la mécanique, la métrologie et la mécanique des fluides.

I.2 Présentation de la Centrale à cycle combiné (CC) :

La centrale électrique de Koudiet Eddraouch (El Taref) détenue par les groupes Sonelgaz et Sonatrach était mise en service dès fin février 2013, en produisant 1.200 MW. Cette centrale est du type cycle combiné fonctionnant au gaz naturel, La centrale peut fonctionner au gasoil en cas de rupture d'approvisionnement en gaz naturel. La centrale de Koudiet Eddraouch, réalisée par l'américain General Electric et l'espagnol Eberdrola contribue à répondre à la demande croissante en énergie électrique en Algérie [1].

La construction de cette usine a commencé en mai 2007 pour un coût total de 2,7 milliards de dollars, (179 milliards de DA).



Figure I.1 : Présentation de la Centrale à cycle combiné (CC)



Figure I.2 : la centrale électrique Koudiet Eddraouch (El Taref).

I.3 Fiche technique de la centrale électrique Koudiet Eddraouch :

- Puissance de la centrale : 1200 MW.
- Configuration : 3 tranches CC de 400 MW chacune.
- Combustible principal : Gaz Naturel.
- Combustible de secours : Gasoil.
- Constructeur : Général Electric /Iberdrola Ingénieria & Construction.
- Délai de réalisation : 48,5 mois.
- Mise en service contractuelle : 15 janvier 2012.
- Maitrise d'œuvre : CEEG.
- Exploitant : AO&M (Algerian Operating and Maintenance Company).
- L'Acheteur de l'électricité : sociétés algériennes de distribution SDA, SDC, SDE et SDO.
- Coût d'investissement : 35 milliards de DA.

I.4 Description technique du projet :

SHARIKET KAHRABA ELDJAZAIR (SKE) a construit une centrale électrique à cycle combiné simple arbre (single-shaft) dans la wilaya d'El Tarf. D'une puissance totale nominale nette d'environ 1,200 MW, la centrale comprend : [1]

- Trois turbines à gaz fonctionnant à cycle combiné.
- Trois systèmes HRSG ('Heat Recover Stream Generator', Générateur de vapeur à récupération de chaleur) sans post combustion.
- Trois turbines à vapeur en configuration simple arbre.

La centrale est alimentée principalement par du gaz naturel algérien en provenance de Hassei R'Mel...

Les caractéristiques générales d'une tranche sont :

- Puissance totale nominale nette (conclusion ISO) : 432 MW (gaz) ; et 391 MW (gasoil),
- Tension borne usine : 400 kV.
- Transformateur principal : un par tranche (tension 400 kV).
- Alimentation des auxiliaires par soutirage moyenne tension.
- Alternateur refroidi à l'hydrogène.
- Combustible principal : Gaz naturel
- Combustible de secours : Gas-oil.
- Chaque tranche doit pouvoir assurer :
- Une production stable à toute charge.
- Une marche à plein puissance pendant toute la durée séparant deux révisions majeures ou mineures.
- La marche à vide en cas de déclenchement.
- Des prises en charge en déséquilibre.
- Des mises brusques en court-circuit triphasé aux bornes.
- Des marches des alternateurs en décroché pendant au moins 20 secondes.

Dans les centrales électriques à cycle combiné, les gaz d'échappement chauds de la turbine à gaz sont menés vers un générateur de vapeur à récupération de chaleur. Ce dernier est utilisé pour générer de la vapeur, qui se dilate ensuite dans une centrale électrique à turbine à vapeur, en principe similaire à une centrale électrique de condensation. Les gaz d'échappement auront une température d'environ 90 °C lors du fonctionnement avec du gaz naturel et d'environ 140 °C en cycle de combustion du gasoil [1].

Le cycle combiné est conçu pour pouvoir assurer environ 7800 heures de marche par an, mais également subir un nombre élevé de cycle de démarrage/arrêt dans une année, à savoir [1]:

- 260 démarrages à chaud par an.
- 27 démarrages à tiède par an.
- 9 démarrages à froid par an.

La centrale comprend également des installations nécessaires au fonctionnement de la centrale, à savoir une station d'épuration, des installations de traitement des eaux usées, des installations de traitement du système de prise d'eau de refroidissement, ainsi que des infrastructures et des bâtiments[1].

Le système de collecte, d'approvisionnement et de traitement des eaux est principalement composé de six éléments : [1]

- Système de dessalement.
- Système de déminéralisation
- Système de drainage.
- Système de rétention des drains et des déversements.
- Traitement des eaux usées.
- Bassin d'homogénéisation.

La centrale est conçue de manière à passer du combustible principal au combustion secours (gasoil) et vice versa sans perturbation de la marche du groupe ou le régime de charge. Le gaz naturel de Hassi R'Mel est le combustible principal. Le combustible de secours utilisé est le fioul qui provient de la raffinerie de Skikda.

L'installation est refroidie avec de l'eau de mer grâce à un circuit de refroidissement ouvert dont le débit est d'environ 100 000 m³/ ? l'une des principales contraintes environnementales est la nécessité de rejeter l'eau de refroidissement avec une température inférieure à 30 °C selon le décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006. Afin de satisfaire à cette condition, l'eau est refroidie avant son rejet en mer par un système de cascade en étages. Ensuite, l'eau sera rejetée par deux pipelines immergés. [1]

I.5 Conclusion :

Dans un premier temps, ce travail nous a fait a fait comprendre le principe de fonctionnement d'une centrale électrique de type cycle combiné à gaz et l'idée qui a conduit à l'innovation des centrales à cycle combiné. L'idée était d'observer que les gaz brûlés à la sortie de la turbine à gaz étaient encore suffisamment chauds ($>600^{\circ}\text{C}$) pour pouvoir transmettre leur chaleur à un circuit indépendant. Un échangeur de chaleur permet ainsi de récupérer la chaleur de ces gaz dans un circuit faisant tourner une turbine à vapeur. La chaleur issue de la combustion du gaz est donc utilisée au maximum afin d'augmenter l'efficacité énergétique.

Chapitre II : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer

II-1 Introduction

Le dessalement appelé aussi dessalage consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale (DUNGLAS, 2014).

L'évaporation ou distillation constituait le fondement de la technologie des premières installations de dessalement à grande échelle qui apparurent dans les années 50 et 60, principalement au Moyen-Orient. Ces régions, pauvres en eau mais riches en combustible, convertissaient leurs ressources énergétiques en ce qui leur manquait le plus : de l'eau.

Cependant, les technologies qui emploient la chaleur requièrent de grandes quantités d'énergie.

II-2 Définition du dessalement de l'eau de mer :

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale. L'eau de mer contient en moyenne 35g/L de sel qui sont essentiellement des chlorures de sodium (76%) et de magnésium (11%), des sulfates de magnésium (5%), de calcium (3,5%) et de potassium (2,4%). Dans l'eau, Les sels sont sous forme d'anions : chlorures et sulfates parallèlement aux cations : sodium, magnésium, calcium et potassium. La salinité de l'eau de mer n'est pas constante. Dans les zones maritimes chaudes et partiellement fermées elle est plus élevée : en méditerranée elle varie de 36 à 39g/L, dans Le Golfe Persique elle peut monter au -delà de 60g/L. C'est l'inverse dans les mers froides recevant de forts apports fluviaux : 7g/L dans la Baltique.

II-3 Schéma général d'une installation de dessalement :

Le processus de dessalement d'eau de mer se fait en quatre étapes :

- La captation de l'eau de mer
- Le prétraitement
- Les différents procédés de dessalement
- Le post-traitement ou minéralisation

On appelle taux de conversion le rapport de la quantité d'eau douce produite par rapport à la quantité d'eau saline pompée (MAUREL, 2006).

Nous présentons ci-dessous le processus de dessalement d'eau de mer dans le cas où le procédé utilisé est l'Osмосe inverse.

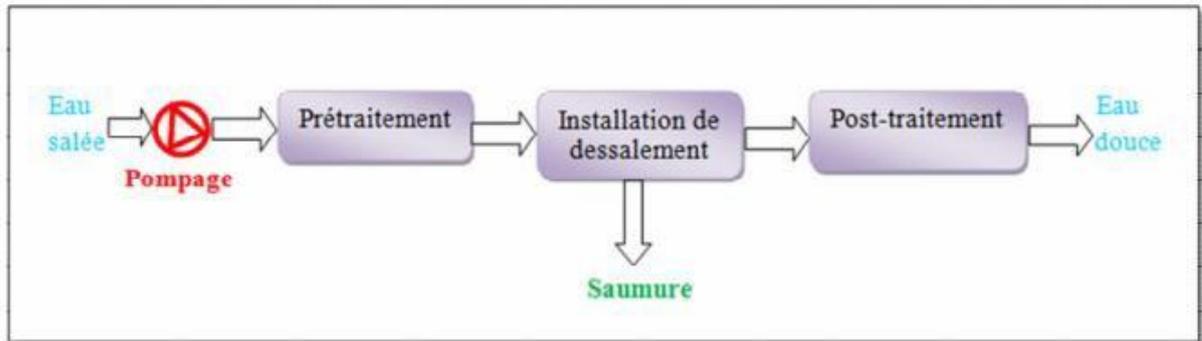


Figure II.1 : Schéma général d'une installation de dessalement [2].

II-3.1 Captation de l'eau de mer :

Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Deux types de technologie sont utilisés dans cette étape :

- **Les forages côtiers** : soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau très bonne qualité et relativement stable.
- **La prise d'eau de surface** : peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la cote, protégé des pollutions et des forts courants (MAUREL, 2006).

II-3.2 Le Prétraitement :

La salinité, les matières en suspension ainsi que les matières organiques des différents océans ou mers du globe sont très variables. 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 [3].

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

- **Chloration** : Bloque la prolifération des organismes vivants. Evite l'obstruction des conduites.
- **Filtration** : protège les pompes et assure le bon fonctionnement pulvérisateur
- **Antitartre** : La distillation favorisé précipitation du carbonate du calcium

qui se dépose sur la paroi échangeur et réduit le transfert de chaleur [3].

II-3.3 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 dépendre de 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 [4].

II-3.4 Le poste traitement :

Permet de potabiliser l'eau en deux étape (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéraliser).

- **Correction de la corrosivité :** le traitement consiste à ajouter du Ca(OH)_2 ou du CaCO_3 .
- **Désinfection final :** Bien que certain procédé (osmose inverse) retiennent tous les microorganismes, il est nécessaire d'assurer un désinfection à la sortie de l'usine.

II-4 Différent procédé de dessalement :

Un auteur a recensé 27 procédés différents de dessalement. Ces différents procédés peuvent être classés en trois grandes familles.

- 1) **Les procédés faisant intervenir un changement de phase :**
 - Evaporation.
 - Congélation.
- 2) **Les procédés perméation sélective a traversé une membrane :**
 - Transfert d'ions sous l'action d'un champ électrique (électrodialyse).
 - Transfert l'eau sous l'action d'un gradient de pression (osmose inverse).

3) Les procédés chimiques :

- Echange d'ions.
- Extraction par solvant [3].

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'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].

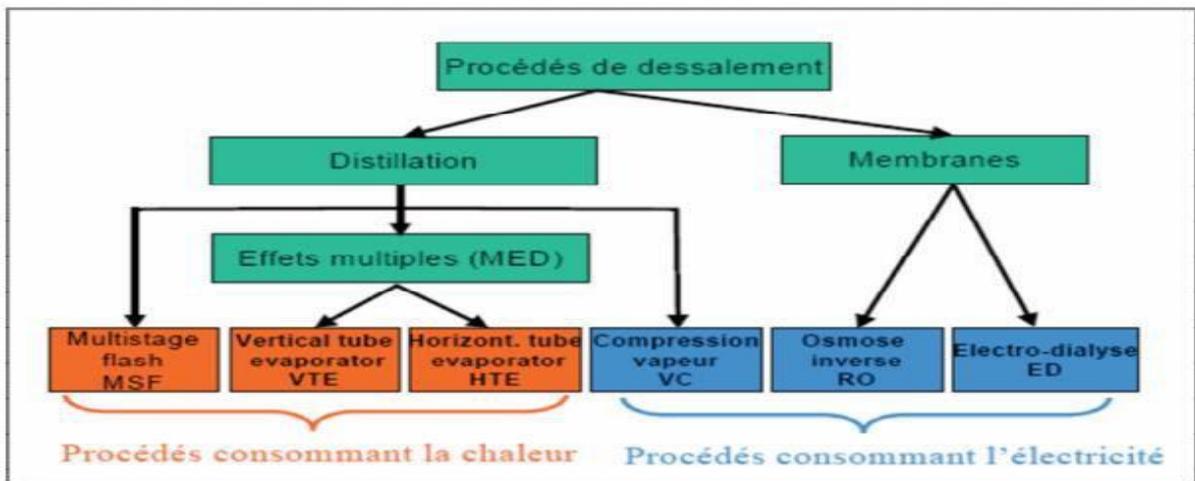


Figure II.2 : Les procédés de dessalement [6].

La figure suivante donne en fonction de la salinité de l'eau à traiter, les domaines d'utilisation de plusieurs techniques de dessalement :

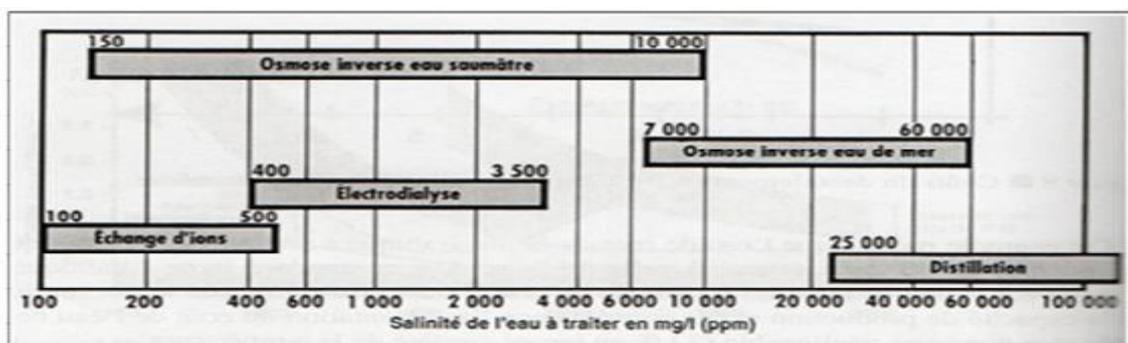


Figure II.3 : Domaine d'utilisation des différentes techniques de déminéralisation en fonction de la salinité de l'eau à traiter [7].

II-4.1 Procédés de dessalement par changement de phase :

Ce procédé est la première technique historiquement utilisée dans le dessalement de l'eau de mer du fait, probablement, de sa simplicité. Cette méthode consiste à faire évaporer l'eau salée grâce à la chaleur produite par une chaudière ou plus simplement par le soleil. Par ce processus, les sels ainsi que les autres composés dissous se déposent tandis que de la vapeur d'eau s'élève. Cette dernière est ensuite recondensée afin de recueillir l'eau douce [8].

a) Principe :

Sur ce montage, l'eau de mer contenue (en 2) est chauffée au moyen d'un bec bunsen (en 1). L'eau se transforme alors en vapeur et passe (en 3), où sa température est évaluée à l'aide d'un thermomètre (en 4). La vapeur passe ensuite (en 5) dans la colonne réfrigérante (alimentée en eau froide par le 6 et le 7). Elle est alors condensée et redevient donc liquide. Ainsi (en 8) on obtient de l'eau pure et parfaitement potable.

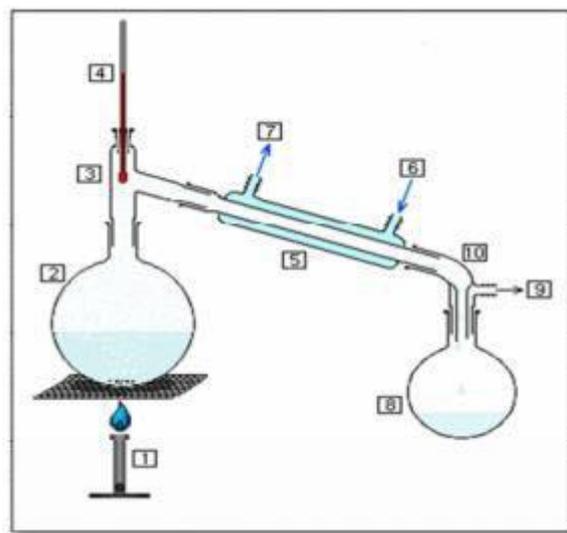


Figure II.4 : Principe de distillation.

b) Les différents types de distillation :

Les procédés types de distillation qui peuvent être utilisés sont les suivants :

- Distillation à simple effet.
- Distillation à multiple effet.
- Distillation par détente successive appelée aussi multi Flash.
- Distillation par compression de vapeur.

➤ Distillation à simple effet :

Ce procédé est mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable. Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (Figure II.3). La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables.

Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième, l'eau de mer concentrée ou saumure (DANIS, 2003).

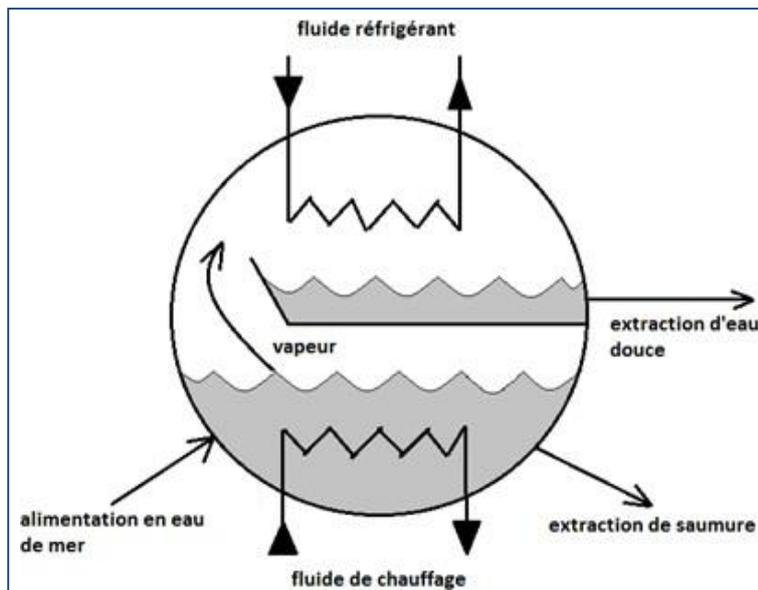


Figure II.5 : Distillation à simple effet (MAUREL, 2006).

➤ Distillation à multiple effet :

Une installation de distillation à effet multiple est constituée par la juxtaposition de n cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (Figure I.6). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule (entre 70 et 80°C), 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 (BOULNOUAR, 2014).

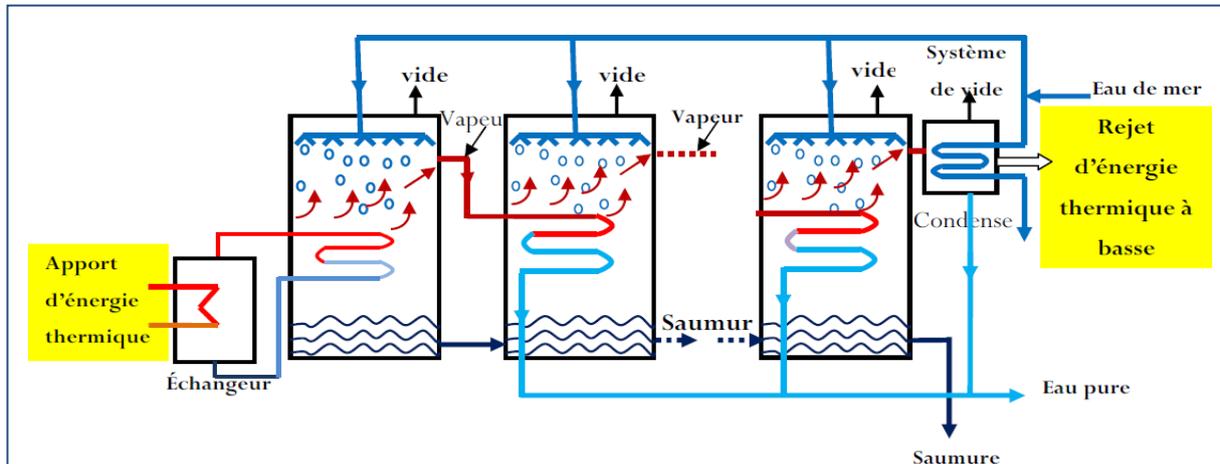


Figure II.6 : Distillation à effet multiple (RENAUDINE, 2003).

➤ La distillation par compression de vapeur (VC)

Le procédé de distillation par compression de vapeur (VC) est utilisé pour des installations de dessalement de petite ou moyenne capacité. Le procédé par compression de vapeur diffère des autres procédés de distillation en ce qu'il n'utilise pas de source de chaleur extérieure mais la compression de la vapeur d'eau.

L'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermiquement isolée, la vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée.

En ce qui concerne le fonctionnement de ce système, l'eau de mer se vaporise, par exemple à la température de 90 °C et à la pression de 0,7 bar absolu. La vapeur ainsi produite est ensuite comprimée jusqu'à la pression de 1 bar absolu, puis envoyée dans le faisceau de chauffe du bouilleur ou elle se refroidit à pression constante, puis se condense en cédant à l'eau de mer la chaleur nécessaire à son ébullition (BECHKI, 2011).

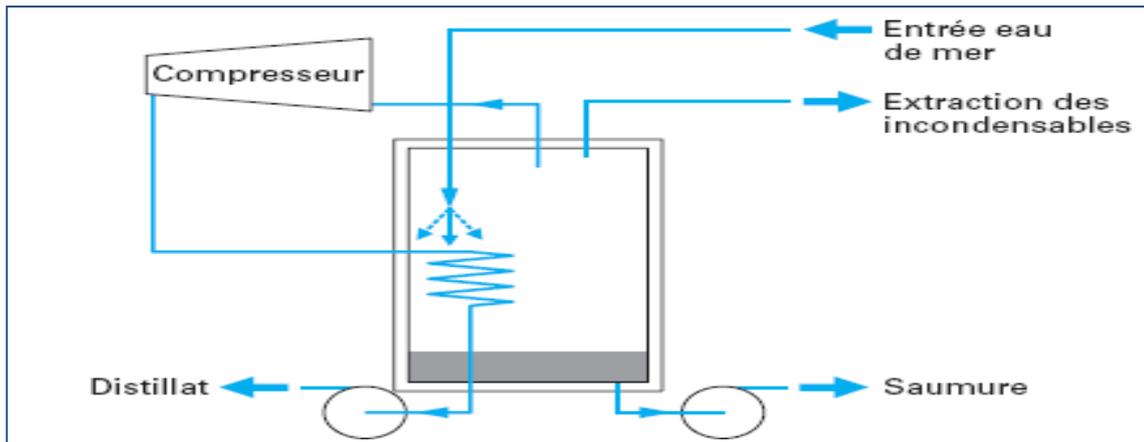


Figure II.7 : Distillation avec compresseur de vapeur (DANIS, 2003).

➤ La distillation Multi-Flash (MSF) :

Ce procédé dit « Flash » consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage. Lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C , elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation partielle instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (Figure II.7) pour se condenser sur les tubes du condenseur placé en haut de l'enceinte et l'eau liquide est recueillie en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène Flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle (HADJALI 2012).

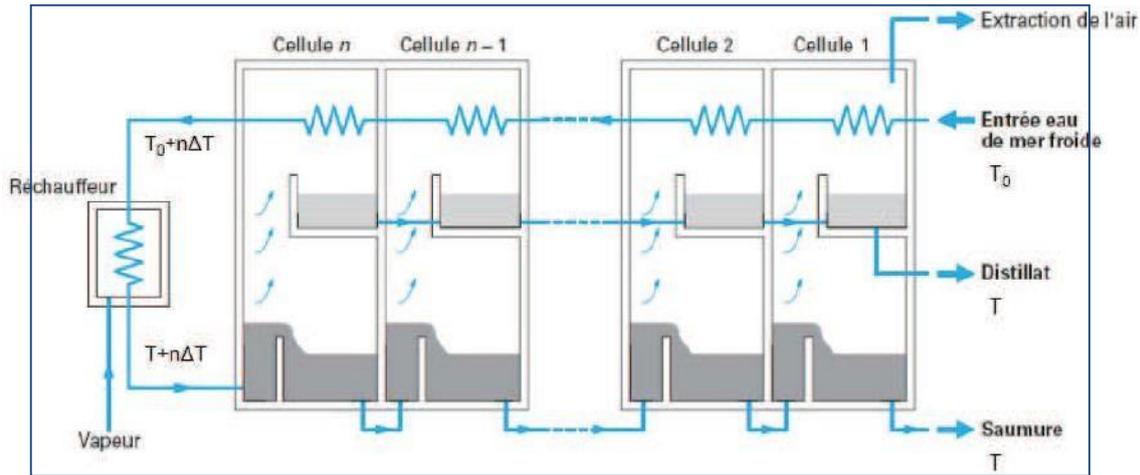


Figure II.8 : Distillation à détonnes étagées (DANIS, 2003).

II .4.1.2 Procédés membranaires :

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

Une membrane est une interface physique, de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimension finie ou contenant des couches superposées. Les membranes se présentent sous forme de film plans (feuilles), spirale, tubes ou fibres creuses, elles sont mise en œuvre dans des modules regroupant un ou plusieurs éléments de base (ARZATE, 2008).

II.4.2 Electrodialyse :

Dans un système d'ED illustré dans la (Figure I.9), les membranes sont disposées l'une à côté de l'autre, en formant des compartiments où un ou plusieurs liquides vont circuler.

Du point de vue électrique, un électro dialyseur est composé de plusieurs compartiments alimentés en série, alors que du point de vue hydraulique, l'alimentation est faite en parallèle. Lorsque le procédé est démarré, le transfert d'ions donne lieu à des changements de nature ou de concentration des électrolytes qui composent les milieux traités. L'effet du procédé dépend des membranes utilisées et de la configuration des compartiments d'ED :

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.

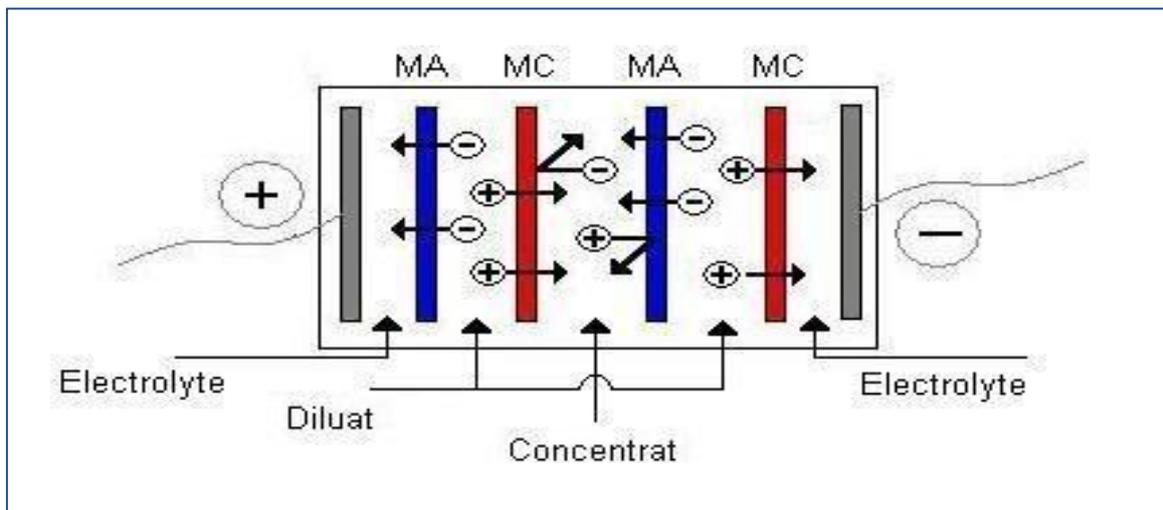


Figure II.9 : Cellule élémentaire d'électrodialyse (HAMANI, 2013)

a- Description du procédé :

Le terme dialyse désigne la diffusion d'un soluté à travers une membrane qui lui est perméable au solvant. L'électrodialyse désigne donc le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique. L'électrodialyse est donc un procédé électrochimique qui permet d'extraire les ions contenus dans une solution.

L'extraction des ions se fait par migration des ions à travers des membranes sélectives (anioniques ou cationiques) sous l'action d'un champ électrique [9].

b- Le dessalement par électrodialyse :

L'électrodialyse est utilisée pour le dessalement d'eau de mer. Sur le schéma ci-dessous, il est présenté le fonctionnement d'une unité en parallèle de dessalement. En fin de chaîne de traitement, on récupère à la fois de l'eau douce et du saumure. Il existe également des unités en série et d'autres modèles de système d'électrodialyse [10].

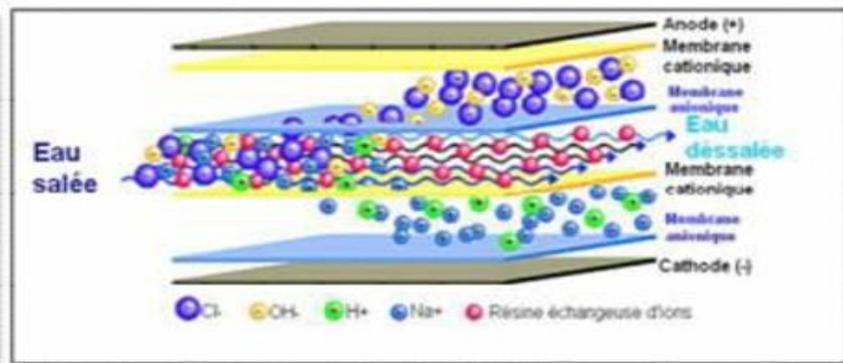


Figure II.10 : Principe de l'ectrodialyse [11].

c- Les avantages et les inconvénients :

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> • L'éctrolyse est une technique qui permet d'obtenir une eau de très bonne qualité avec une faible concentration de la saumure. • Dans le cas des eaux faible concentration saline, l'éctrodialyse est très compétitive par rapport à l'osmose inverse. • La quantité de courant électrique nécessaire est proportionnelle à la teneur en sel de l'eau, donc elle consomme peu d'énergie quand on dessale une solution à faible teneur en sel telles les eaux saumâtres par exemple avec de consommation d'énergie de 3-8KWh/m³. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'éctrodialyse ne marche pas pour les solutions ayant forte concentration en sel et si elle est utilisée pour dessaler des solutions à plus forte teneur en sel que des eaux saumâtres, la consommation grimpe à 15-25KWh/m³. • L'éctrodialyse n'est pas pratiquée les eaux à moins de 0.04% de sel. • Elle s'effectue de accompagnée de rejets de saumure faisant ainsi augmenter la salinité des eaux dans laquelle elle est rejetée. Ces rejets entraînant une dégradation du sol et des plantes ainsi qu'une contamination des nappes phréatiques et une perte de la biodiversité.

II.4.2.1 Osmose Inverse (OI) :

L'osmose inverse est un procédé de filtration tangentielle qui permet l'extraction d'un solvant, le plus souvent l'eau, par perméation sélective à travers une membrane dense sous l'action d'un gradient de pression. Elle s'oppose au phénomène naturel d'osmose qui tend à transférer le solvant d'une solution diluée vers une solution concentrée mises en contact par une membrane sélective sous l'action du gradient de concentration.

Lorsqu'une pression est appliquée sur le compartiment le plus concentré, le flux de solvant diminue jusqu'à s'annuler pour une pression égale à la pression osmotique de la solution.

Lorsque la pression appliquée est supérieure à cette pression osmotique, le flux s'inverse c'est le phénomène d'osmose inverse. La pression efficace correspond donc à la pression de part et d'autre de la membrane (pression transmembranaire, P_{tm}) diminuée de la différence de pression osmotique ($\Delta\Pi$) de part et d'autre de la membrane (SAGNE, 2008).

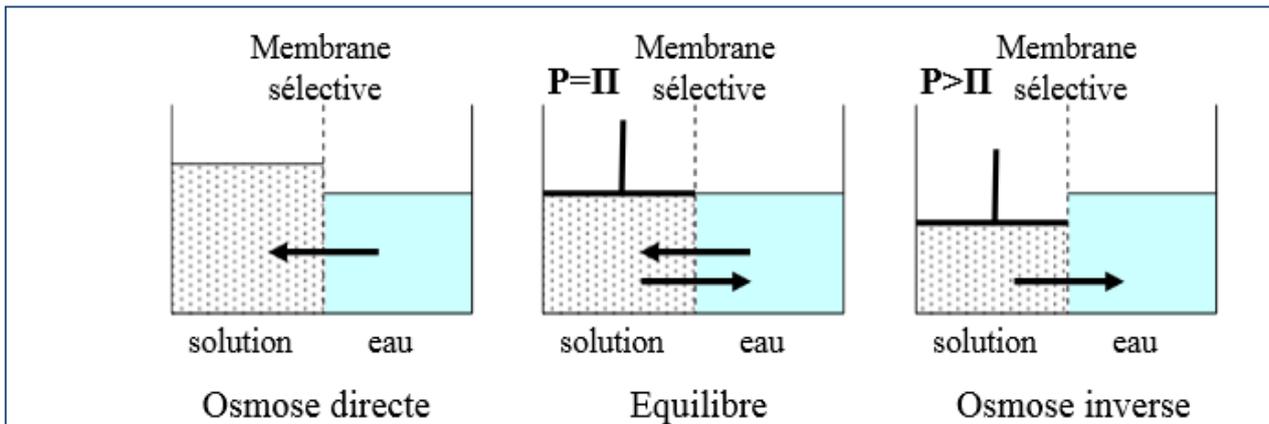


Figure II.11 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse (SAGNE,2008).

Pour les solutions diluées, considérées comme thermodynamiquement idéales, la pression osmotique est calculée à partir de l'équation de Van'tHoff (MAUREL, 2006) :

$$\Pi = i.C. R .T$$

Π : pression osmotique de la solution, bar

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

C : Concentration molaire (mol.l^{-1}).

R : Constante des gaz parfaits ($0.082 \text{ L.bar.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$).

T : Température absolue K.

Dans le cas d'une solution salin, la pression osmotique peut être en première approximation estimée à 0.7 bar par gramme/ litre de salinité :

$$\Pi = 0.7C$$

Avec :

Π : Pression osmotique de solution, bar.

C : Concentration g/l.

Les membranes d'OI sont des membranes denses et pour obtenir des flux de transfert élevés et vaincre la pression osmotique des solutions traitées, des pressions relativement élevées doivent être utilisées. Les applications principales de l'Osiose inverse sont l'élimination de sels organiques ou inorganiques ou des molécules dans l'eau.

Les membranes d'osiose inverse se présentent aujourd'hui presque exclusivement sous forme des modules spiralés qui sont des cylindres multicouches constitués d'une superposition de feuillets de membranes enroulés autour d'un tube percé qui collecte le perméat (Figure I.10).

Ce dernier s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube central tandis que le rétentat circule le long de l'axe dans les canaux formés par les feuillets de membranes.

Il existe également des modules en fibres creuses. Les membranes sont en général en polyamide, aromatique déposée sur un support poly sulfone sur polyester, présentant une meilleure tenue mécanique, chimique et thermique et générant des densités de flux plus élevées.

Elles sont donc en général composées de 3 couches (Figure I.11) :

- La base (~100 μm), formée d'un matériau inerte type textile tissé ou non (ex : polyester téréphtalique), assure la résistance physique du film. Elle est trop grossière pour permettre le dépôt en couche mince de la partie active ;
- Le support (~50 μm) est une membrane d'ultrafiltration aux pores plus fins, calibrés (ex : poly sulfone). Il assure la résistance mécanique de l'ensemble ;
- La couche active superficielle (~0,1 à 0,2 μm) permet la séparation des espèces.

Elle est déposée sur le support. Le polymère le plus employé est le polyamide aromatique. Il est traité différemment selon les fabricants et les modèles employés.

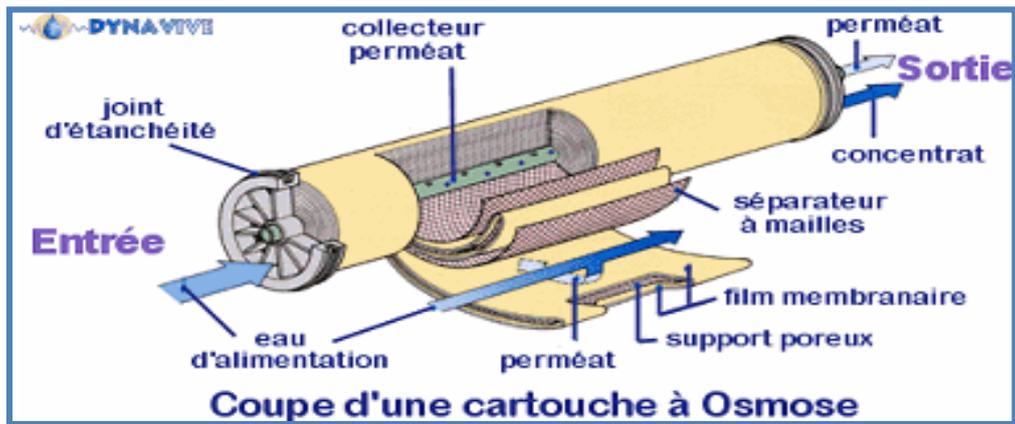


Figure II.12 : Module Spiral (DANIS, 2003).

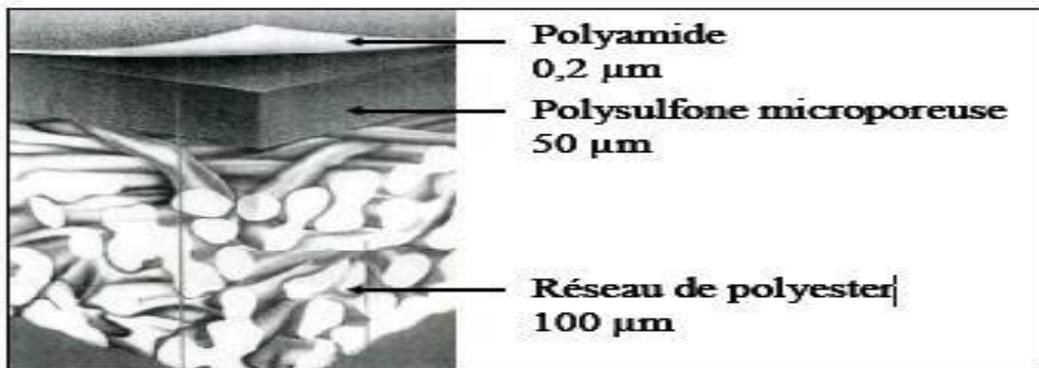


Figure II.13 : Structure des membranes d'osmose inverse (MAUREL, 2006).

II.4.2.2 Les Avantages et les Inconvénients des procédés de dessalement d'eau de mer :

Le tableau suivant représenté les avantages et les inconvénients :

Tableau II.1 : Les avantages et les inconvénients de la distillation et l'osmose inverse.

	Avantages	Inconvénients
Distillation	<ul style="list-style-type: none"> ○ Indépendance à la variation de la qualité d'eau brute ; ○ Utilisation pour des grandes capacités de production d'eau ; ○ Exploitation relativement aisée ; ○ Une eau produite présentant un TDS faible requis particulièrement pour les besoins industriels. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Un taux de conversion bas (inférieur à 35%) ○ Une consommation spécifique d'énergie relativement élevée (8 à 25 KWh/m³ selon le procédé) ; ○ Une non flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau ; ○ Un coût d'investissement élevé.
Osmose inverse	<ul style="list-style-type: none"> ○ Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ; ○ Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5 KWh/m³) ; ○ Un coût d'investissement relativement bas ; ○ Une durée de mise en œuvre réduite. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions ; ○ Nécessité d'un personnel qualifié ; ○ Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement ; ○ Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent.

Ainsi que nous avons résumé quelque élément de comparaison entre les procédés membranaires (ED et OI) dans le tableau que suite (Tableau I.2) :

Tableau II.2 : Comparaison entre les procédés membranaires (MORSLI, 2013).

Désignations	Procédés	
	OI	ED
Energie utilisée	Mécanique (via électricité)	Electrique
Température de fonctionnement (°C)	<45	<45
Consommation électrique (kWh/m³)	4 à 7	1
Salinité de l'eau brute (g/l)	1 à 45	0,1 à 3
Salinité de l'eau traitée (mg/l)	<500	<500
Capacité d'un train (m³/j)	1-10 000	1-12 000

II.4.3 La congélation :

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte de sel, et depuis des temps immémoriaux, les riverains des mers arctiques se sont ainsi procuré de l'eau douce [3].

a- Le dessalement par congélation :

Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ -2°C, il y a formation de cristaux de glace constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation. Si l'on fait baisser davantage la température, la production de glace augmente.

Signalons cependant qu'au environ de -9°C, le sulfate de sodium déca hydraté a tendance à précipiter. Pour produire de l'eau pure, il est donc préférable de ne pas refroidir l'eau au - dessous de cette température.

Le dessalement des eaux de mer par congélation est particulièrement intéressant dans les régions où la température de l'eau est souvent inférieure à 0°C, car dans ces conditions, on peut aménager des bassins à ciel ouvert. Lorsque la température est suffisamment basse, on remplit ces bassins sur une hauteur de 10 à 15 cm, lorsque la couche de glace atteint une épaisseur de 1 à 1,5 cm, on enlève la saumure et on recueille la glace, qu'il ne reste plus qu'à laver et à faire fondre (il faut utiliser 30 à 35% de l'eau douce ainsi produite pour laver la glace et la débarrasser de sa pellicule d'eau de mer) [12].

b- Les avantages et les inconvénients :

Tableau II.3 : Les avantages et les inconvénients de dessalement par congélation.

Avantage	Inconvénient
-Les appareillages sont moins exposés à la corrosion à de faibles températures comparativement à la température d'ébullition atteintes lors l'évaporation de l'eau.	-Cette technique est généralement plus onéreuse que l'évaporation de l'eau : la chaleur nécessaire pour congeler de l'eau est plus coûteuse que celle utilisée pour son évaporation.
-Il n'y a pas de problèmes d'entartrage car les sels restent dissous à faible température.	-Il existe une difficulté majeure concernant la séparation des cristaux de glace et de la saumure qui nécessite des opérations complexes : il reste une couche limite de saumure collée aux cristaux [13].
-L'eau douce obtenue ou est bien minéralisée est bien aérée ce qui constitue une excellente boisson [13].	

II.4.4 Les procédés chimiques :

II.4.4.1 Echangeurs d'ions :

L'échange d'ions est la technologie de choix pour éliminer des 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 bore, des matières organiques naturelles, des perchlorates, des chromates, de l'uranium et de divers autres métaux [14].

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 [15].

a- Application en dessalement :

La déminéralisation de l'eau par échange d'ions est obtenue en faisant circuler de l'eau dans des réservoirs contenant des résines cationiques et ou anioniques. La résine cationique est celle qui se charge d'échanger chaque cation (ions chargés positivement) par un cation d'hydrogène. La résine anionique, elle échange chaque anion (ions chargés négativement) par un anion d'oxygène.

Les atomes d'hydrogènes et d'oxygènes auxquels ils leurs manquent des électrons se reconstituent et s'unissent finalement pour former des molécules de matière en l'occurrence de l'eau [16].

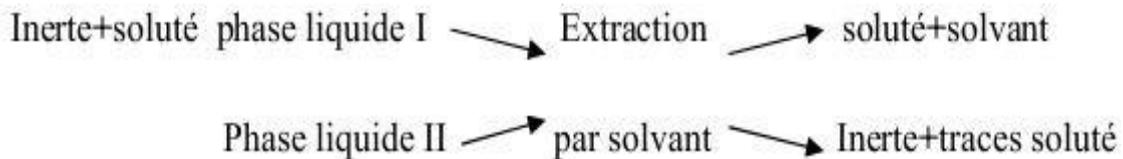
b- Les Avantages et les Inconvénients :

Tableau II.4 : Les avantages et les inconvénients de les procédés chimique.

Avantage	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Élimine les ions dissous. • Régénération des résines, par ionisation, par l'utilisation d'acides et de bases. • Solution rentable de purification de l'eau [17]. 	<ul style="list-style-type: none"> • N'élimine pas efficacement les bactéries, composés organiques, particules ou pyrogènes. • Capacité limitée, une fois tous les sites d'ions occupés, les ions ne sont plus retenus. • Les lits ionisés à régénération chimique peuvent produire des composés organiques et des particules. • Les résines à usage simple nécessitent une eau prétraitée de bonne qualité pour donner des résultats efficaces et économiques. [17].

II.4.4.2 Extraction par solvants :

L'extraction par solvant est l'opération fondamentale qui permet d'extraire un composé (soluté) d'un liquide, par un autre liquide (solvant). Cette méthode repose sur la miscibilité de certains solvants avec l'eau, sans être solvant pour les sels. On obtiendra de l'eau douce par extraction, on peut schématiser cette opération comme suit :



La phase liquide I est un mélange homogène. Le solvant ne doit pas être miscible avec l'un des deux composés initiaux, l'inerte et le solvant ne sont pas miscibles. Le mode de dispersion des deux phases peut être gravitaire, par agitation ou par pulsation [7].

II.5 Autre procédés de dessalement :

II.5.1 Distillation solaire :

Le distillateur solaire est probablement le système le plus simple de distillation de l'eau de mer. Il s'agit d'un bassin avec couverture en verre transparent contenant de l'eau salée souvent en forme de V à l'envers. Le bassin est tapissé d'un matériau foncé pour maximiser l'absorption des rayons solaires. Cette installation crée un effet de serre dans lequel le verre permet aux rayons solaires de passer mais où les radiations infrarouges émises par le distillateur sont presque entièrement bloquées par le verre piégeant ainsi la chaleur dans le distillateur. La température obtenue provoque l'évaporation de l'eau salée, la vapeur monte et se condense au sommet de la couverture de verre et glisse sur les rebords inférieurs de la couverture dans le conduit de récupération. Le débit moyen d'un bon distillateur solaire est de 3-4 l/m²/j [4].

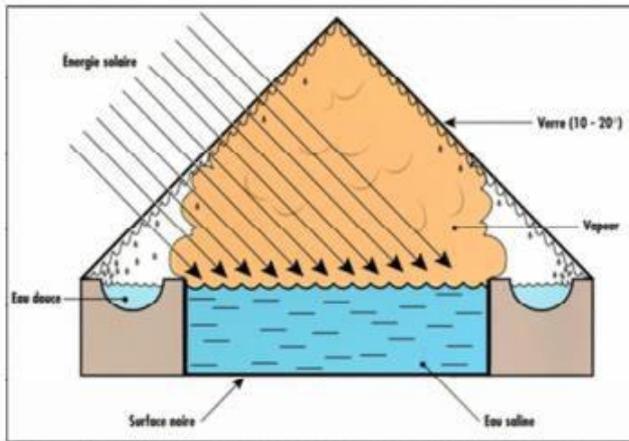


Figure II.14 : Principe du distillateur serre [18].



Figure II.15 : Distillateur solaire [4].

a- Les Avantages et les inconvénients :

➤ **Les Avantages :**

- Utilisé l'énergie solaire.
- Simple et facile d'utilisation.

➤ **Les inconvénients :**

- Nécessite de grands espaces.
- Peu pratique pour de grandes capacités [4].

II.5.2 Quantité d'énergie nécessaire pour le dessalement :

Théoriquement, la quantité d'énergie minimale nécessaire pour produire un mètre cube d'eau douce est de 0.65 KW par heure, quel que soit le procédé de dessalement utilisé.

L'estimation de cette quantité est basée sur les lois de la thermodynamique et repose en outre sur les hypothèses suivantes :

- Les températures initiales et finales sont identiques ;
- La salinité de l'eau de mer, de laquelle, on extrait l'eau douce demeure constante.

Lorsque l'on extrait de l'eau douce d'un volume fini d'eau de mer, la salinité de cette dernière varie. On constate alors que la quantité d'énergie requise varie avec le taux de production :

$$\text{Taux de production} = \text{Volume de d'eau douce} / \text{Volume d'eau de mer utilisé}$$

En pratique, toutefois, les quantités d'énergie utilisées sont beaucoup plus élevées que celles calculées théoriquement. Il faut en effet de l'énergie pour faire fonctionner les

équipements mécaniques (moteur, pompes de circulation,... etc.), pour compenser les pertes de chaleur et pour réaliser le traitement lui-même.

II.6 L'impact de dessalement sur l'environnement :

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et Des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants [19].

Cet impact est multiple et se manifeste par :

II.6.1 Rejets atmosphérique :

Les usines de dessalement étant essentiellement alimentées par des énergies fossiles, elles génèrent donc directement ou indirectement des polluants atmosphériques ; gaz carbonique, oxydes de soufre et d'azote, particules solides [20].

II.6.2 Rejets chimiques :

Les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que pour le post-traitement de l'eau produite. La plupart des produits sont utilisés avant tout comme agents biocides, antitartre, antisalissure et antimousse, et ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée [19].

II.6.3 Rejets saumures :

Les installations de dessalement rejettent en fait la même charge de sels de l'eau à traiter qu'elles ont reçu, mais dans un volume d'eau moindre, donc plus concentré allant jusqu'à deux fois la concentration initiale dans le cas de l'osmose inverse.

Outre cet excès de concentration qui peut atteindre 70 g/L, ces saumures sont rejetées à des températures plus élevées de 10 à 15°C quand il s'agit d'un procédé de distillation. Ces saumures sont rejetées en mer ou injectées dans le sol.

Les usines de dessalement ont donc un impact négatif sur l'environnement, particulièrement lorsque les saumures sont déversées dans des écosystèmes sensibles. Cet effluent peut être extrêmement dangereux pour la vie végétale et animale si certaines précautions ne sont pas prises. L'élimination de ces saumures dans les zones côtières et intérieures n'aura pas la même incidence.

A l'intérieur des terres, il est possible d'utiliser des étangs à sels, mais le risque de pollution des eaux souterraines demeure si l'étang n'est pas étanche. Le rejet côtier direct, plus simple en apparence, est susceptible d'impacter fortement l'écosystème marin par la modification de sa salinité et de sa température.

Pour limiter l'effet de cet impact, la solution adoptée aujourd'hui est la mise en place de systèmes de diffuseurs permettant de maîtriser la dilution de la saumure avec l'eau de mer et limiter dans l'espace la zone impactée [20].

II.6.4 Lieu de rejets saumure :

Le rejet de la saumure (dont la concentration en sel est bien supérieure à celle de l'eau brute) devrait de préférence se faire en mer, mais au cas où cela ne serait pas possible, elle peut être rejetée dans des puits ou des bassins d'évaporation à l'intérieur des terres. En cas de rejet dans la mer, l'emplacement des décharges devra se situer à distance suffisante de la prise d'eau de mer et orienté de façon que la forte salinité de la saumure ne soit pas absorbée par la prise d'eau. Cela nécessitera de prendre en compte également « l'excès de salinité » (la salinité excessive de l'eau de mer est diluée à 12- 15 mètres du point de rejet avec une vitesse de rejet de 6,0 m/s et une concentration de saumure à 5.8% et d'eau de mer à 3.5%) et la direction des courants marins au lieu de rejet [4].

II .7 Problèmes techniques rencontrés en dessalement :

Les problèmes rencontrés dans les différents procédés de dessalement sont principalement liés à l'utilisation de solutions salines concentrées ou à la production d'eaux agressives (excès de gaz carbonique par rapport à l'équilibre). Ce sont la corrosion, l'entartrage et le colmatage.

II.7.1 La corrosion :

La corrosion des matériaux par l'eau de mer est un phénomène important qui conditionne la durée de vie des installations, donc leur coût. Elle dépend d'un certain nombre de facteurs, comme :

- la teneur élevée en chlorures, la teneur en oxygène dissous, la présence de H₂S.

- la présence de particules solides, de bactéries, d'organismes marins (algues).
- la conductivité.

Cette dernière, très élevée en eau de mer, peut conduire à des effets galvaniques si les matériaux ne sont pas judicieusement choisis. L'utilisation dans le circuit haute pression d'osmose inverse d'aciers austénitiques ou ferritiques voire de titane (coût élevé) est recommandée malgré des surcoûts importants. Il en est de même pour les évaporateurs dans lesquels circulent de l'eau de mer à haute température.

La production d'eaux trop agressives par distillation ou par osmose inverse implique une remise à l'équilibre de ces eaux avant injection dans les réseaux d'eau potable et parfois une reminéralisations lorsque la teneur en sels dissous est insuffisante. Dans le premier cas, une simple neutralisation peut être suffisante par exemple à la chaux ou la soude, mais dans le second, l'ajout de chaux doit être combiné à celui de gaz carbonique [21].

II.7.2 L'entartrage (Scaling) :

L'entartrage est un problème de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. Les dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et du sulfate de calcium. Pour qu'il y ait dépôts de tartre sur une surface d'échange, deux conditions principales doivent être réunies :

Une condition thermodynamique : il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est-à-dire qu'il y ait sursaturation.

Une condition cinétique : il faut que la vitesse de déposition soit suffisamment rapide [7].

L'entartrage est lié à la formation de solides amorphes ou cristallisés qui est fonction de la température (diminution de la solubilité quand la température augmente) et de la composition de l'eau [21].

II.7.2.1 Différents moyens de lutte contre l'entartrage :

La formation de tartre doit être évitée pour maintenir un fonctionnement correct des installations. Une première solution consiste à jouer sur le procédé même : apport d'énergie calorifique supplémentaire dans le cas des procédés de distillation, application d'une pression supérieure dans celui des procédés membranaires. Une deuxième solution consiste à prétraiter l'eau par :

- l'ajout d'acide qui induit une décarbonatation du milieu par dégazage du gaz

carbonique formé à partir des hydrogénocarbonates ;

- l'ajout de chaux et de germes de cristallisation qui favorisent la précipitation du Carbonate de calcium.

- l'emploi d'inhibiteurs d'entartrage : poly phosphate, organophosphate, polymères poly carboxyliques.

Quelle que soit la solution adoptée, elle augmente le coût du dessalement [21].

II.7.3 Le colmatage (Fouling) :

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

- **Les dépôts minéraux** : Qui correspondent au phénomène d'entartrage ou scaling constitués principalement par CaCO_3 , CaSO_4 , H_2O
- **Les dépôts organiques** : Tels que les matières en suspension, les acides humiques et fulviques, les micro-organismes ainsi que les produits excrétés par les micro-organismes (polysaccharides).
- **Les dépôts colloïdaux** : Tels que la silice et les hydroxydes de fer, de manganèse d'aluminium... [22].

II.7.3.1 Biofouling :

Le biofouling peut être défini comme un colmatage dû à des micro-organismes (bactéries principalement), mais aussi des micro-algues, champignons :

- soit directement par le développement d'une biomasse.
- soit indirectement par les métabolites produits par les micro-organismes (polysaccharides) [7].

II.7.3.2 Différents moyens de lutte contre le colmatage :

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 [11].

II.8 Les Avantages et les inconvénients de dessalement :

➤ Les Avantages :

Le dessalement de l'eau de mer présente de nombreux avantages :

- D'une part, il peut s'avérer très utile dans les situations d'urgence, lorsque les

réserves d'eau ont subi des infiltrations d'eau salée, à la suite, par exemple, de marées salines, comme cela s'est produit récemment avec les tsunamis en Asie.

- D'autre part, l'irrigation à base d'eau dessalée est bénéfique pour l'environnement car elle permet une salinisation réduite du sol [22].

➤ **Les inconvénients :**

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

- Besoins énergétiques importants.
- Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes.
- Traces de métaux lourds échappés des installations ;
- Aucune législation spécifique concernant la potabilité de l'eau issue de ce traitement [23].
- Un volume d'eau produit insuffisant comparé au volume d'eau de mer prélevé.
- La dégradation de l'environnement marin due à l'extraction et au rejet d'eau avec une quantité de sels très élevée (rejet des concentrats) [24].

II .8.1 Le Dessalement en Algérie :

L'Algérie a vécu plus d'une décennie la 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. Le dessalement de l'eau de mer en Algérie revêt un caractère stratégique, il remplacera les ressources naturelles dans la majorité des villes du nord algérien.

Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres a connu ces dernières années une avancée remarquable grâce au développement de différents procédés.

Aujourd'hui, plusieurs facteurs militent en faveur de la mise en œuvre de cette technologie dans notre pays :

- Un littoral long de 1200 Kilomètres ;
- Disponibilité de l'eau de mer, ressource inépuisable ;
- Une population et une industrie grandes consommatrices d'eau se trouvant à proximité de la mer ;

- Disponibilité de la ressource énergétique ou combinaison de sa production.
Actuellement le volume dessalé mobilisé est : 111,45 millions de mètre cube par an dont:
- 105,85 Hm³/an sont produits par les grandes stations de dessalement de l'eau de mer;
- 5,60 Hm³/an sont produits par les stations monoblocs de dessalement de l'eau de mer.

Les tableaux (I.5) et (I.6) représentent respectivement les stations monoblocs et les grandes unités de dessalement en Algérie.

Tableau II.5 : Stations monoblocs (ADE, 2007).

Wilaya	Site	Commune	Capacité m ³ /j	Population à servir
Alger	Champ de tir	Zéralda	5 000	33 330
Alger	Palm Beach	Staoueli	2 500	16 660
Alger	La Fontaine	Ain Benian	5 000	33 330
Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	5 000	33 330
Tipasa	Bou Ismail	Bou Ismail	5 000	33 330
Skikda	L.Ben Mhidi	L.Ben Mhidi	7 000	47 000
Tizi –Ouzou	Tigzirt	Tigzirt	2 500	16 660
Oran	Bou Sfer	Bou Sfer	5 000	33 330
Oran	Les Dunes	Ain Turk	2X2 500	33 330
Ain-Temouchent	Bou Zdjer	Bou Zdjer	5 000	33 330
Ain-Temouchent	Chatt el Ward	Bou Zdjer	5 000	33 330
Boumerdes	Corso	Corso	5 000	33 330

Tableau II.6 : Les grandes unités de dessalement (ADE, 2007).

N°	Localisation	Capacité m3/j	Population à servir	Echéancier prévisionnel
01	Kahrma (Arzew)	90 000	540 000	En Exploitation
02	Hamma (Alger)	200 000	L'Algérois	En Exploitation
03	Skikda	100 000	666 660	En Exploitation
04	BeniSaf A.Temouchent	200 000	1 333 320	En Exploitation
05	Mostaganem	200 000	1 333 320	En Exploitation
06	Douaouda (Alger Ouest)	120 000	666 660	En Exploitation
07	Cap Djenet (Alger Est)	100 000	666 660	En Exploitation
08	Souk Tleta (Tlemcen)	200 000	1 333 320	En Exploitation
09	Honaine (Tlemcen)	200 000	1 333 320	En Exploitation
10	Mactaa (Oran)	500 000	1 333 320	1er T 2014
11	El Tarf	50 000	-	-
12	Ténès	200 000	999 990	-
13	Oued Sebt (Tipaza)	100 000	-	-

Total Stations : 13
Capacité m3/j : 2 260 000
Population : 11 873 220

II.9 Conclusion :

Toutes les techniques de dessalement sont très intéressantes au vu de leurs performances et de leur rentabilité, notamment grâce aux innovations techniques des 10 dernières années qui ont déclenché une baisse de coûts de dessalement significative et une augmentation globale de la puissance des usines à dessalement. Rendre potable ces millions de km³ d'eau de mer a toujours été une perspective plaisante pour l'Homme et grâce à toutes ces nouvelles techniques, les procédés sont désormais rendus possible tout en étant rentables.

Malgré cela, on redoute maintenant que ces usines à dessalement nuisent trop gravement à l'Environnement.

A nous maintenant d'utiliser le dessalement avec prudence et discernement, mais seulement là où le dessalement est établi comme pouvant répondre à un besoin réel en eau tout en restant rentable et en atténuant les risques pour l'Environnement [25].

Chapitre III :

Dimensionnement de la station RO

III.1 Introduction :

Le traitement des eaux de refroidissement fait partie des activités sensibles pour chaque industriel car son impact économique positif ou négatif est largement supérieur à la dépense associée. Le traitement des eaux de refroidissement au carrefour de la chimie, de la biologie, de la physique a été profondément modifié au cours des dix dernières années par :

- La réglementation sur le traitement de la légionelle et son protocole de mise en œuvre.
- L'obligation faite aux industriels d'optimiser leur consommation d'eau.
- Le développement des techniques membranaires.
- La découverte de nouveaux inhibiteurs d'entartrages et de corrosion.
- Le développement du monitoring de suivi du fonctionnement des circuits de refroidissement, des traitements et de leurs résultats.

Pour cela nous avons utilisé le logiciel WAVE pour dimensionnement de la station RO de 20 m³/h, devant alimenter la centrale électrique à partir de l'eau de mer, en produisant une qualité d'eau répondant aux normes exigées par le constructeur.

III.2 Présentation de logiciel WAVE :

The Water Application Value Engine (WAVE) est un nouveau logiciel de modélisation qui intègre trois des principales technologies de traitement des eaux (ultrafiltration, osmose inverse et résine échangeuse d'ions) dans une plate-forme complète. Le logiciel WAVE est utilisé pour concevoir et simuler le fonctionnement des systèmes de traitement de l'eau en utilisant les technologies de composants UF, RO et IER.

III.3 Les Avantages du logiciel WAVE :

WAVE est un logiciel de modélisation expert intégré pour la conception d'usines de traitement de l'eau, y compris la conception d'usines de traitement des eaux usées, offrant :

- Un moteur de calcul puissant avec la capacité d'exécuter des conceptions complexes avec des niveaux de précision élevés.
- Amélioration des calculs et de l'interface de l'équilibre hydrique.
- Conception flexible utilisant trois technologies, avec des combinaisons de fonctionnement à unités multiples, ainsi que la possibilité de spécifier le débit d'alimentation du système ou du produit net.
- La capacité d'introduire des paramètres spécifiques au projet pour accroître la précision des calculs des dépenses d'exploitation.

Pour utiliser logiciel WAVE, nous proposons de suivre les étapes suivantes.

➤ Etape 01 : Démarrage de l'application WAVE.

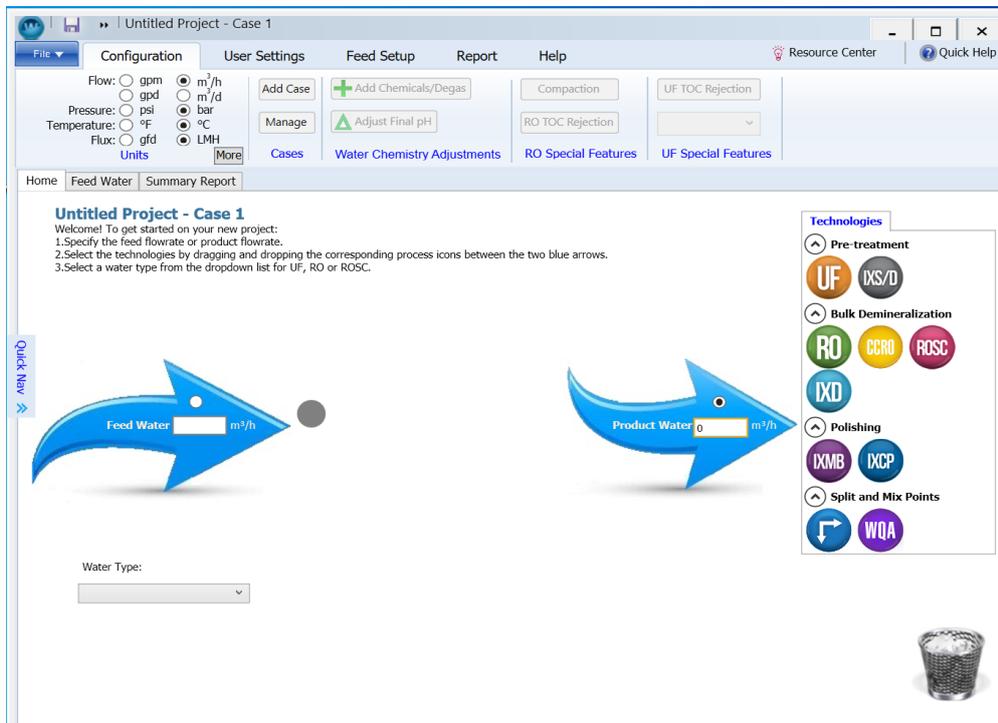


Figure III.1: L'ouverture d'un logiciel WAVE.

➤ Etape 02 : Introduire le débit : (Feed / Product)

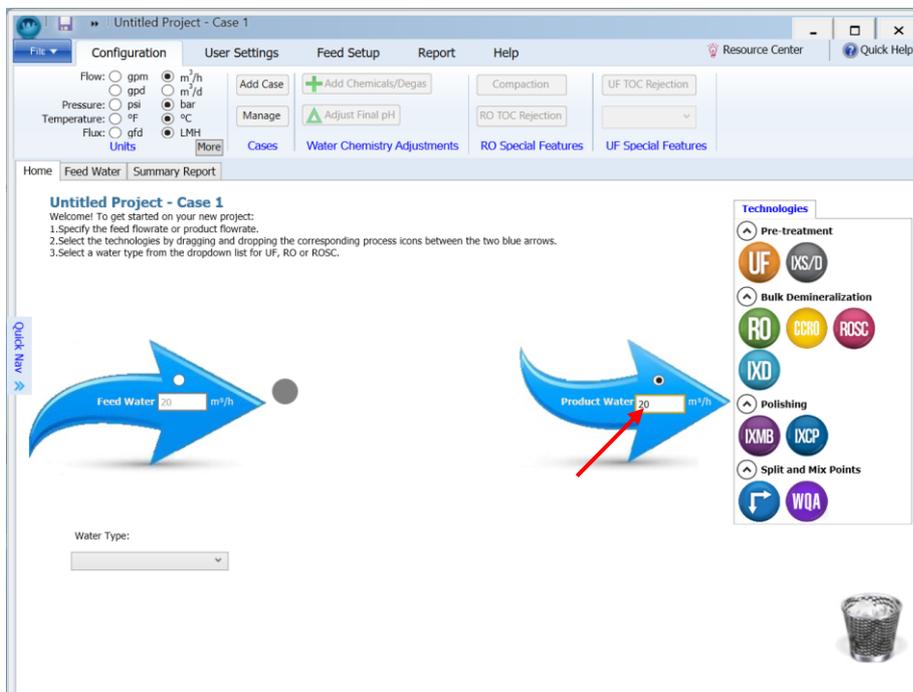


Figure III.2: Définition du flux d'alimentation ou de produit pour un système RO.

➤ Etape 03 : Choix du type d'eau.

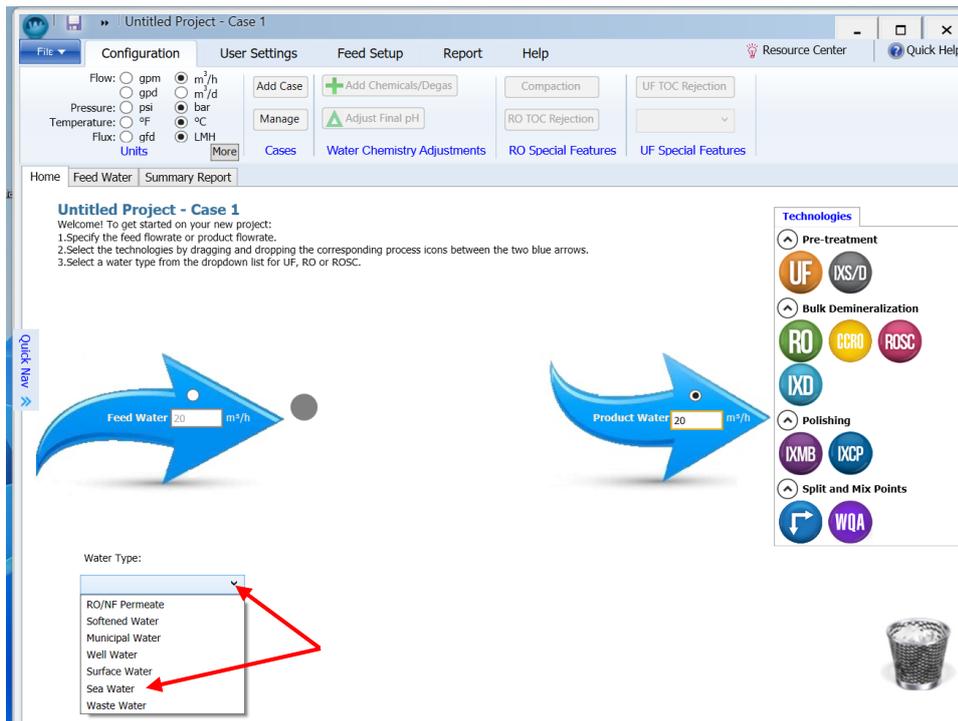


Figure III.3: Déposez le type d'eau.

➤ Etape 04 : Sélection de la technologie : RO, UF, IXS/D, ROSC...

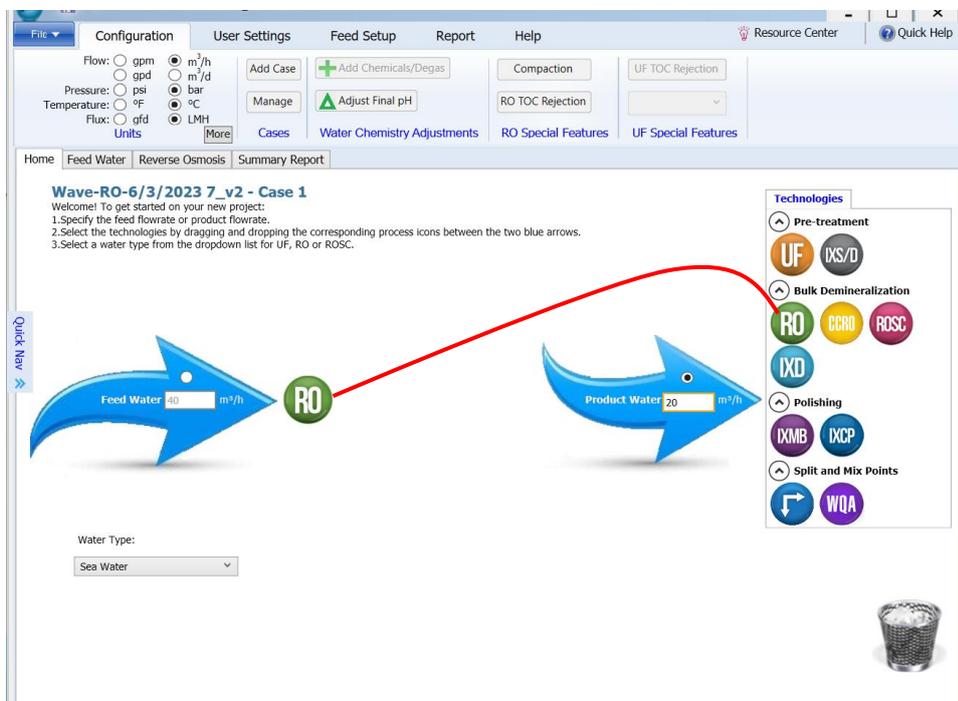


Figure III.4: Déposez l'icône d'RO.

➤ Etape 05 : Introduction des caractéristiques de l'eau (Feed water).

Feed Water - Stream 1

Water Type: Sea Water
Water Sub-type: Conventional pretreatment,SDI<5

Solid Content: Turbidity: 1.00 NTU, Total Suspended Solids (TSS): 10.00 mg/L, SDIs: 0.00

Temperature: 14.0 °C (Minimum), 25.0 °C (Design), 30.0 °C (Maximum)
pH @25.0°C: 7.8, pH @25.0°C: 1.39

Symbol	mg/L	ppm CaCO ₃	meq/L
NH ₄ ⁺	0.520	1.443	0.029
K	400.000	511.977	10.231
Na	11,200.000	24,379.869	487.173
Mg	1,350.000	5,559.256	111.088
Ca	440.000	1,098.817	21.957
Sr	7.015	8.013	0.160
Ba	0.015	0.011	0.000
Total Cations:	13,397.550	630.638	

Symbol	mg/L	ppm CaCO ₃	meq/L
CO ₂	0.500	0.834	0.017
HCO ₃ ⁻	140.000	114.822	2.294
NO ₃ ⁻	0.017	0.014	0.000
Cl	22,000.000	31,054.312	620.545
F	1.200	3.161	0.063
SO ₄ ⁻	2,820.000	2,938.115	58.711
Br	0.000	0.000	0.000
PO ₄ ⁻	0.110	0.174	0.003
Total Anions:	24,961.827	681.634	

Symbol	mg/L
SiO ₂	0.000
B	4.600
CO ₂	6.939
Total Neutrals:	11.539

Total Dissolved Solids : 38,363.978 mg/L
Charge Balance : -51.000946 meq/L
Estimated Conductivity : 56,859.18 µS/cm

Figure III.5 : Saisie de la composition spécifique de l'aliment RO.

➤ Etape 06 : Ajustement des analyses : (Adjust All ions, Adjust cations, Adjust Anions).

Feed Water - Stream 1

Water Type: Sea Water
Water Sub-type: Conventional pretreatment,SDI<5

Solid Content: Turbidity: 1.00 NTU, Total Suspended Solids (TSS): 10.00 mg/L, SDIs: 0.00

Temperature: 14.0 °C (Minimum), 25.0 °C (Design), 30.0 °C (Maximum)
pH @25.0°C: 7.80, pH @25.0°C: 1.39

Symbol	mg/L	ppm CaCO ₃	meq/L
NH ₄ ⁺	0.520	1.443	0.029
K	400.000	511.977	10.231
Na	11,200.000	24,379.869	487.173
Mg	1,350.000	5,559.256	111.088
Ca	440.000	1,098.817	21.957
Sr	7.015	8.013	0.160
Ba	0.015	0.011	0.000
Total Cations:	13,397.550	630.638	

Symbol	mg/L	ppm CaCO ₃	meq/L
CO ₂	0.500	0.834	0.017
HCO ₃ ⁻	140.000	114.822	2.294
NO ₃ ⁻	0.017	0.014	0.000
Cl	22,000.000	31,054.312	620.545
F	1.200	3.161	0.063
SO ₄ ⁻	2,820.000	2,938.115	58.711
Br	0.000	0.000	0.000
PO ₄ ⁻	0.110	0.174	0.003
Total Anions:	24,961.827	681.634	

Symbol	mg/L
SiO ₂	0.000
B	4.600
CO ₂	1.100
Total Neutrals:	5.700

Total Dissolved Solids : 38,363.979 mg/L
Charge Balance : -51.030101 meq/L
Estimated Conductivity : 56,859.68 µS/cm

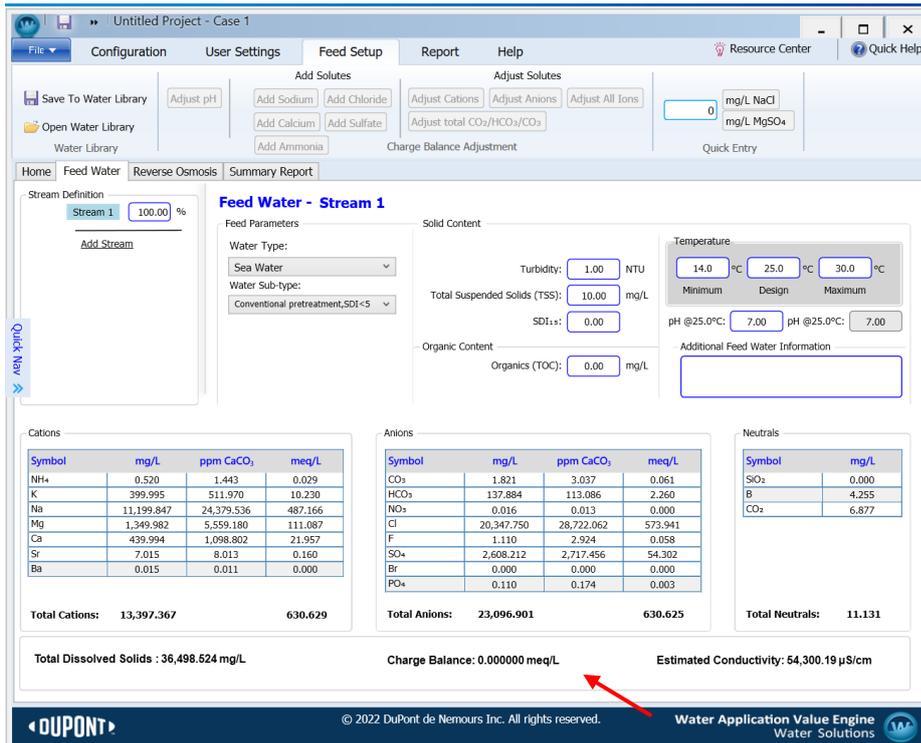


Figure III.6 : Ajustement la charge de balance.

➤ Etape 07 : Cliqué sur la fenêtre **Reverse Osmosis** – puis sur fenêtre **Recovery**.

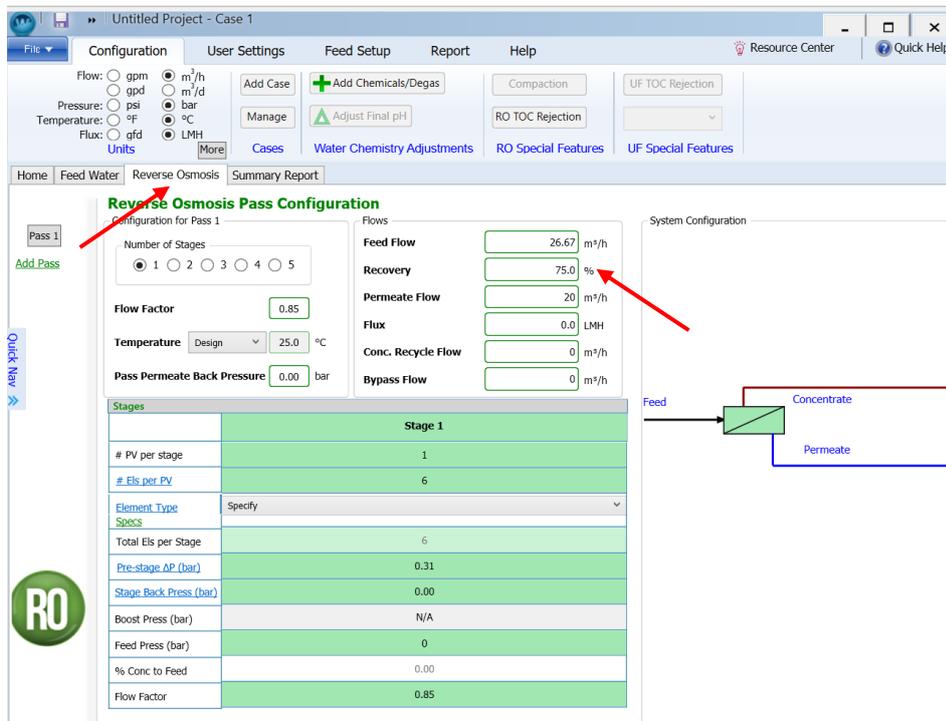
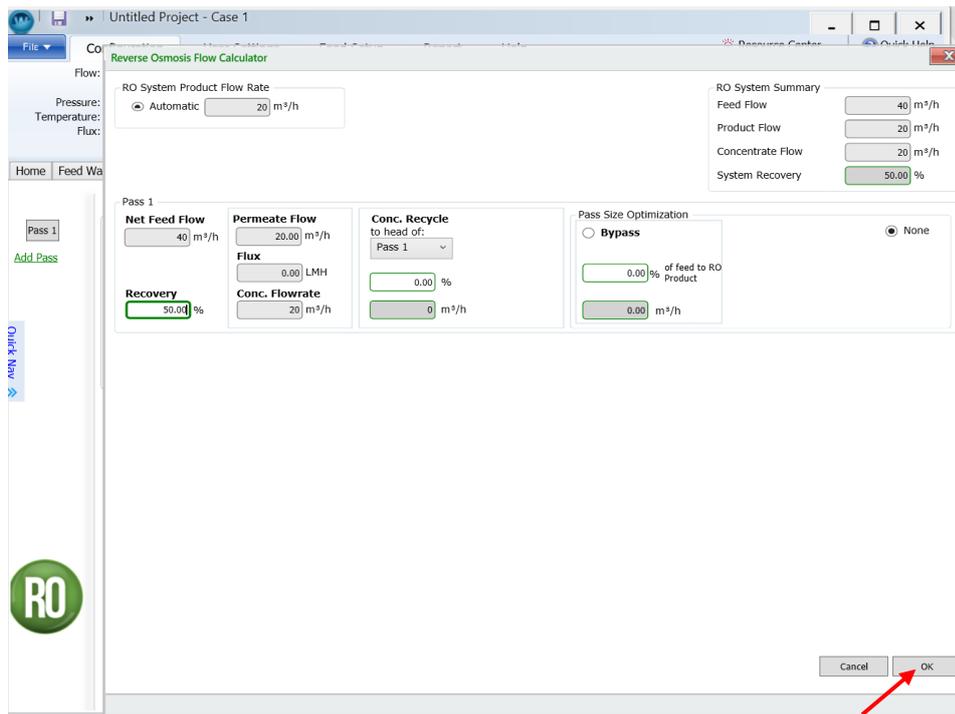
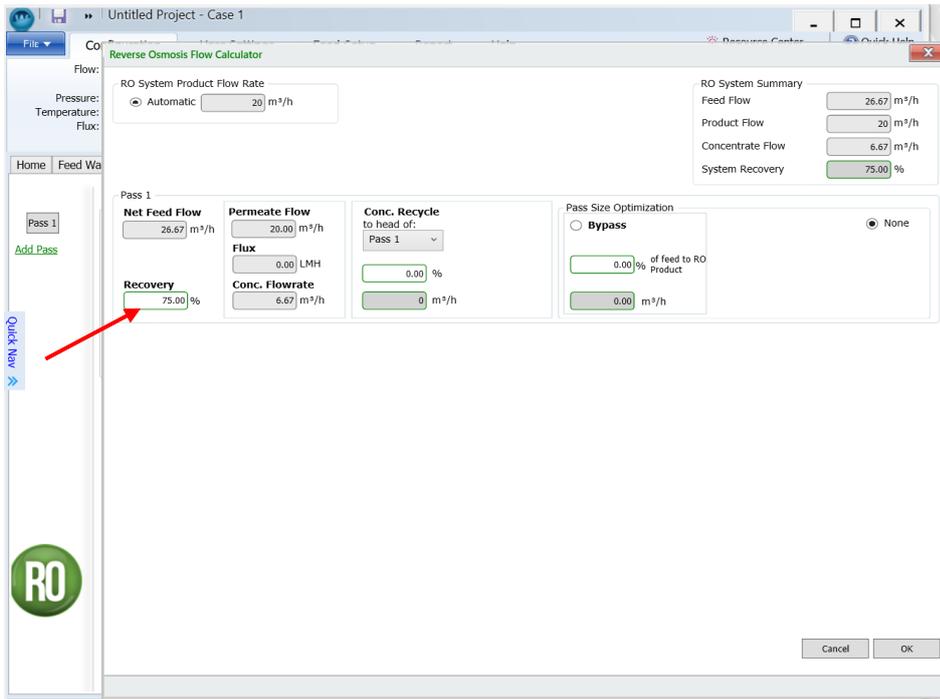


Figure III.7 : Fenêtre de conception d'RO.

➤ Etape 07.1 : Introduction de taux de Recouvrement.



➤ Etape 08 : Introduction du nombre de tubes et de membranes.

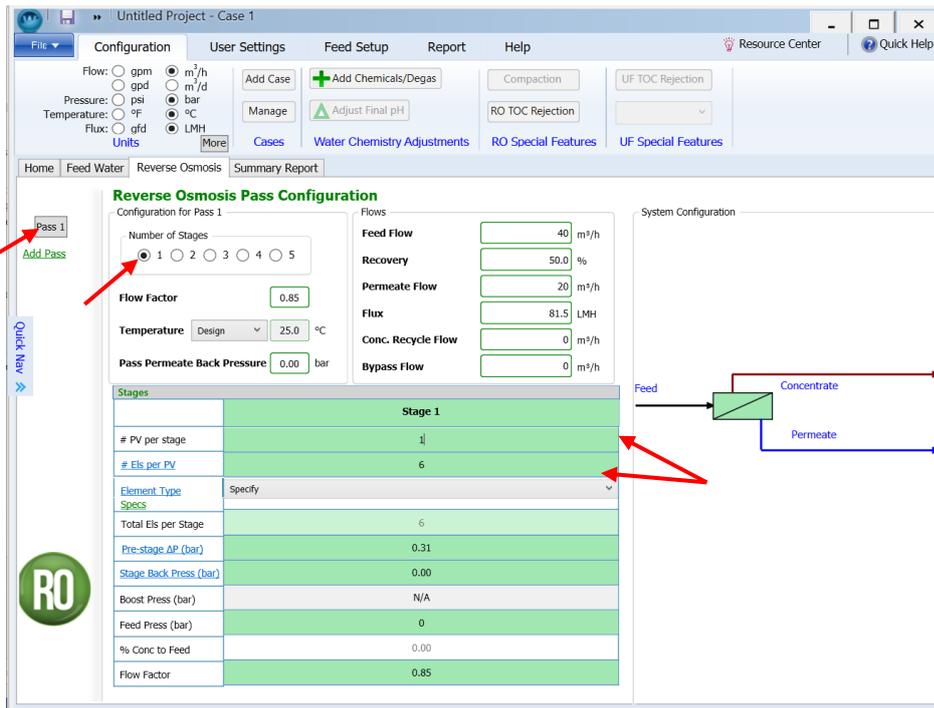


Figure III.8 : Fenêtre de taux de recouvrement.

NB : Comme il s'agit de l'eau de mer nous avons choisi un seul « pass » et un nombre d'étage « Number of stage » égal 1.

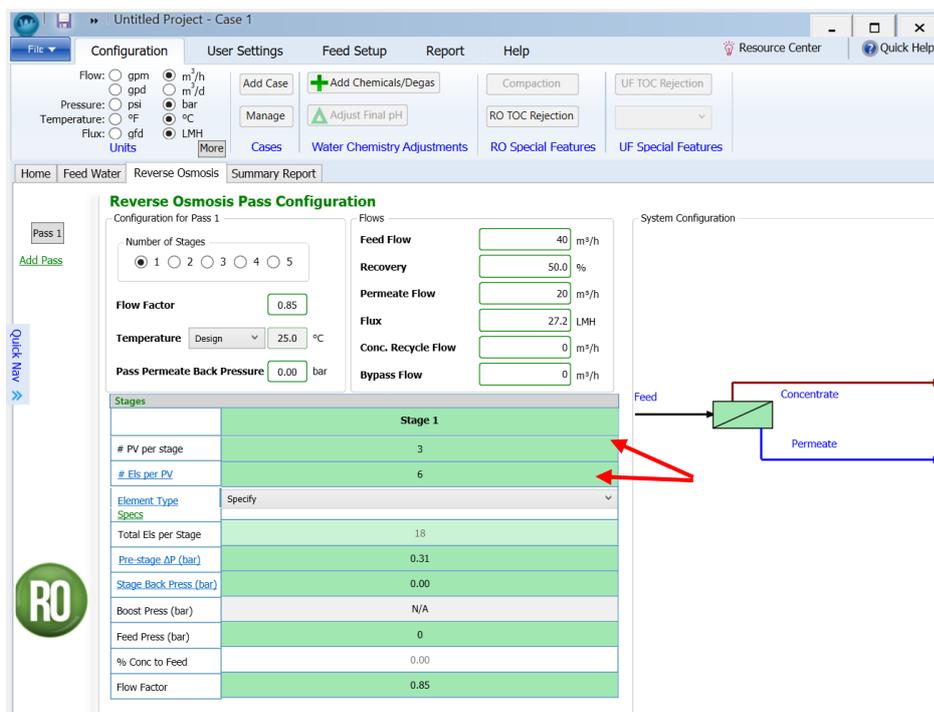
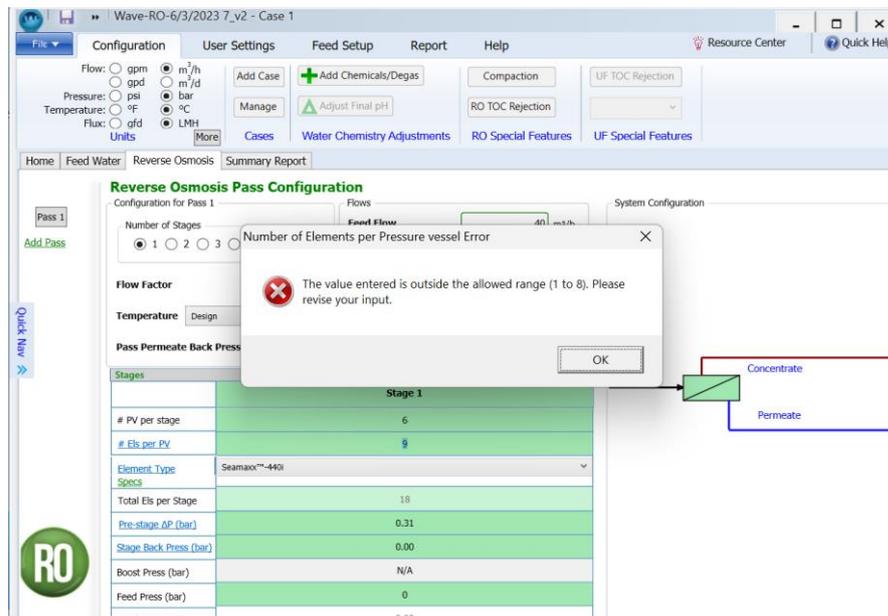


Figure III.9 : Ajout et suppression de passes dans le système RO.

NB : Un tube peut contenir de 1 à 8 membranes.

Remarque : Si on introduit un chiffre hors de cette gamme on aura le message suivant :



Pour notre cas, nous avons choisi 3 tube de pression, avec 6 membranes dans chaque tube de ce fait nous aurons au totale 18 membranes ce qui nous permettra la production des 20m³/h.

➤ Etape 09 : Spécification du type de membrane.

On cliquons sur Specify. Pour notre cas nous avons choisi Seamxx™-440i.

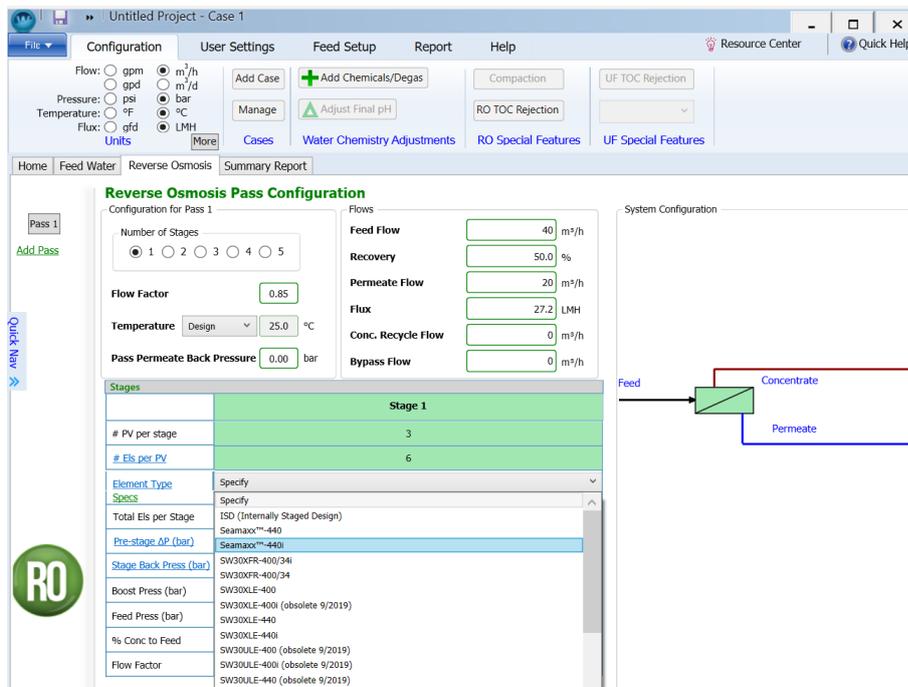


Figure III.10 : Type de membranes.



Dow Filmtec SEAMAXX440i

Figure III.11 : La membranes SEAMAXX™440i

Caractiristique de la membranes « Seamaxx™440i » :

Élément FilmTec™	Surface d'élément (m ²)	Debit de Permeat (m ³ /d)	Bore stabilisé Rejet	Sel stabilisé Rejet (%)
Seamaxx™-440i	41	34.2	81.8	99.47

➤ Etape 11 : Elaboration du rapport de calcul : « Summary Report ».

The screenshot shows the 'Reverse Osmosis Pass Configuration' window. The 'Summary Report' tab is selected, indicated by a red arrow. The configuration for Pass 1 is as follows:

- Number of Stages: 1 (selected)
- Flow Factor: 0.85
- Temperature: 25.0 °C
- Pass Permeate Back Pressure: 0.00 bar

The 'Flows' section shows:

- Feed Flow: 40 m³/h
- Recovery: 50.0 %
- Permeate Flow: 20 m³/h
- Flux: 27.2 LMH
- Conc. Recycle Flow: 0 m³/h
- Bypass Flow: 0 m³/h

The 'Stages' table for Stage 1 is:

Parameter	Value
# PV per stage	3
# Els per PV	6
Element Type	Seamaxx™-440i
Specs	
Total Els per Stage	18
Pre-stage ΔP (bar)	0.31
Stage Back Press (bar)	0.00
Boost Press (bar)	N/A
Feed Press (bar)	0
% Conc to Feed	0.00
Flow Factor	0.85

The 'System Configuration' diagram shows a feed stream entering a membrane stage, with concentrate and permeate streams exiting.

Figure III.12 : Calcul et rapport.

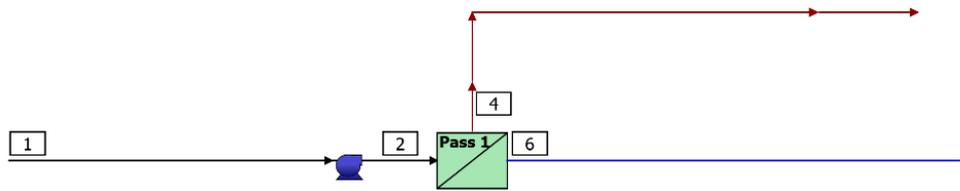


Figure III.13 : Diagramme de flux du système RO.

Les résultats obtenus par la simulation en Osmose inverse sont affiché dans les tableaux suivants :

Pass		Pass 1
Stream Name		Stream 1
Water Type		Sea Water (Conventional pretreatment,SDI<5)
Number of Elements		18
Total Active Area	(m ²)	736
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	39.9
Feed TDS ^a	(mg/L)	39,559
Feed Pressure	(bar)	66.2
Flow Factor Per Stage		0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	20.0
Pass Average flux	(LMH)	27.2
Permeate TDS ^a	(mg/L)	292.9
Pass Recovery		50.1 %
Average NDP	(bar)	21.7
Specific Energy	(kWh/m ³)	4.61
Temperature	(°C)	25.0
pH		7.8
Chemical Dose		-
RO System Recovery		50.0 %
Net RO System Recovery		50.0%

Figure III.14 : Informations sur le flux RO.

Stage	Elements	#PV	#Els per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow	Recirc Flow	Feed Press	Boost Press	Conc Flow	Conc Press	Press Drop	Perm Flow	Avg Flux	Perm Press	Perm TDS
				(m ³ /h)	(m ³ /h)	(bar)	(bar)	(m ³ /h)	(bar)	(bar)	(m ³ /h)	(LMH)	(bar)	(mg/L)
1	Seamaxx™-440i	3	6	39.9	0.00	65.9	0.0	20.0	64.2	1.7	20.0	27.2	0.0	292.9

Figure III.15 : Tableau de débit RO.

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrate	Permeate	
		Stage1	Stage1	Total
NH ₄ ⁺	0.56	1.10	0.03	0.03
K ⁺	432.5	861.9	4.23	4.23
Na ⁺	12,110	24,146	105.2	105.2
Mg ⁺²	1,460	2,920	3.11	3.11
Ca ⁺²	475.7	951.7	0.99	0.99
Sr ⁺²	7.58	15.17	0.02	0.02
Ba ⁺²	0.02	0.03	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	11.32	25.00	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	129.1	252.3	1.59	1.59
NO ₃ ⁻	0.02	0.03	0.00	0.00
F ⁻	1.20	2.39	0.01	0.01
Cl ⁻	22,000	43,884	174.2	174.2
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	2,820	5,645	2.32	2.32
PO ₄ ⁻³	0.11	0.22	0.00	0.00
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	4.60	8.04	1.17	1.17
CO ₂	1.01	2.40	1.28	1.28
TDS ^a	39,452	78,712	292.9	292.9
Cond. μS/cm	58,158	106,156	604	604
pH	7.8	7.9	6.2	6.2

Figure III.16 : Concentrations de soluté RO- Passe1.

Pour améliorer la qualité de l'eau produite et obtenir une salinité inférieure on fait un second 'pass' :

Pour cela nous suivrons les mêmes étapes :

Etape 01 : Cliqué sur **Add Pass** pour réduire la salinité de l'eau sortant de la pass 01.

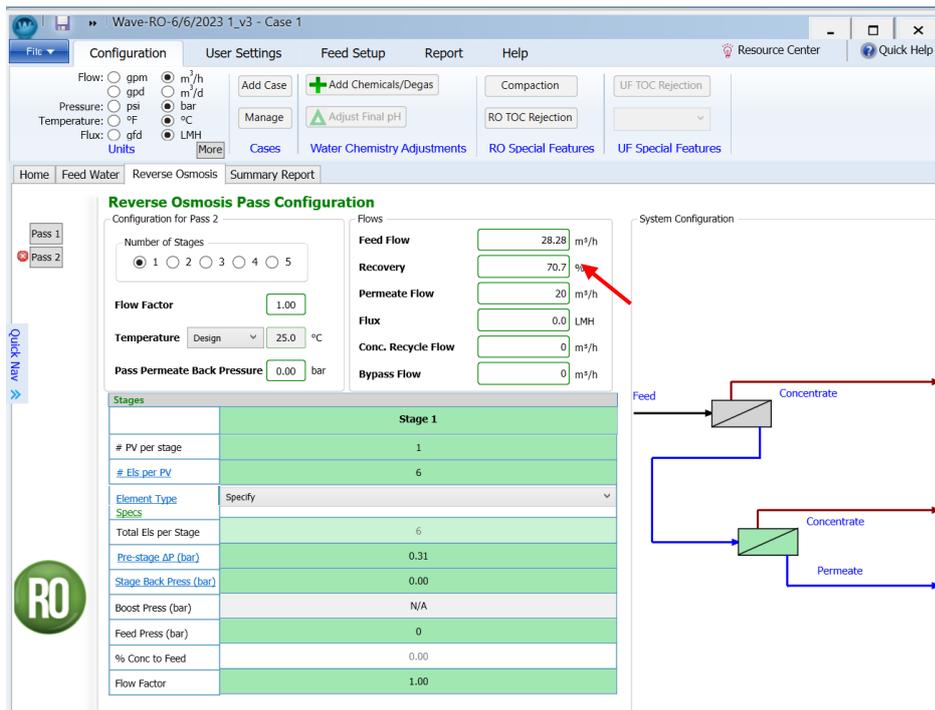
The screenshot displays the 'Reverse Osmosis Pass Configuration' for Pass 1. The interface includes a sidebar with 'Pass 1' and 'Add Pass' buttons. The main configuration area is divided into 'Configuration for Pass 1' and 'Flows'. The 'Configuration for Pass 1' section includes 'Number of Stages' (radio buttons 1-5), 'Flow Factor' (0.85), 'Temperature' (25.0 °C), and 'Pass Permeate Back Pressure' (0.00). The 'Flows' section includes 'Feed Flow' (40 m³/h), 'Recovery' (50.0%), 'Permeate Flow' (20 m³/h), 'Flux' (27.2 LMH), 'Conc. Recycle Flow' (0 m³/h), and 'Bypass Flow' (0 m³/h). The 'Stages' table shows 'Stage 1' with 3 PV per stage and 6 EIs per PV. The 'System Configuration' diagram on the right shows a single RO stage with 'Feed', 'Concentrate', and 'Permeate' streams.

On choisit un seul 'stage' dans le 'pass' 02.

The screenshot displays the 'Reverse Osmosis Pass Configuration' for Pass 2. The interface includes a sidebar with 'Pass 1' and 'Pass 2' buttons. The main configuration area is divided into 'Configuration for Pass 2' and 'Flows'. The 'Configuration for Pass 2' section includes 'Number of Stages' (radio buttons 1-5), 'Flow Factor' (1.00), 'Temperature' (25.0 °C), and 'Pass Permeate Back Pressure' (0.00 bar). The 'Flows' section includes 'Feed Flow' (28.28 m³/h), 'Recovery' (70.7%), 'Permeate Flow' (20 m³/h), 'Flux' (0.0 LMH), 'Conc. Recycle Flow' (0 m³/h), and 'Bypass Flow' (0 m³/h). The 'Stages' table shows 'Stage 1' with 1 PV per stage and 6 EIs per PV. The 'System Configuration' diagram on the right shows two RO stages in series, with 'Feed', 'Concentrate', and 'Permeate' streams for each stage.

Figure III.17 : Ajout de passes dans le système RO

Etape 02 : Cliqué sur fenêtre **Recovery**.



Etape 2.1 : Introduction de **taux de Recouvrement** de la pass 02.

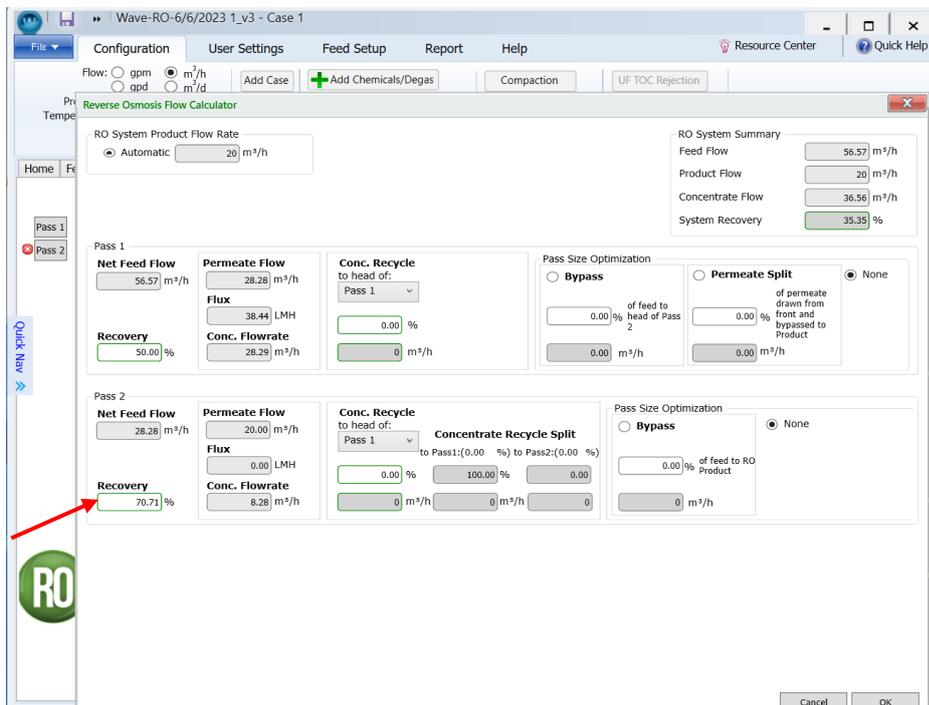
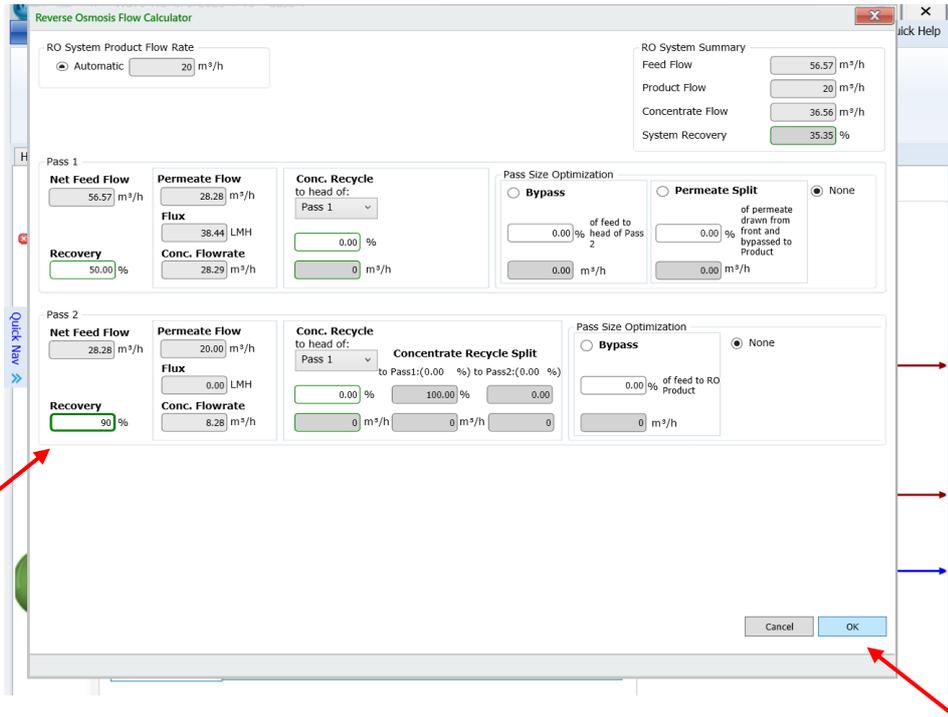


Figure III.18 : fenêtre de taux de recouvrement.

Etape 2.2 : Nous améliorons et augmentons le taux de recouvrements de ce Passage.



Etape 03 : Introduction du nombre de tubes et de membranes.

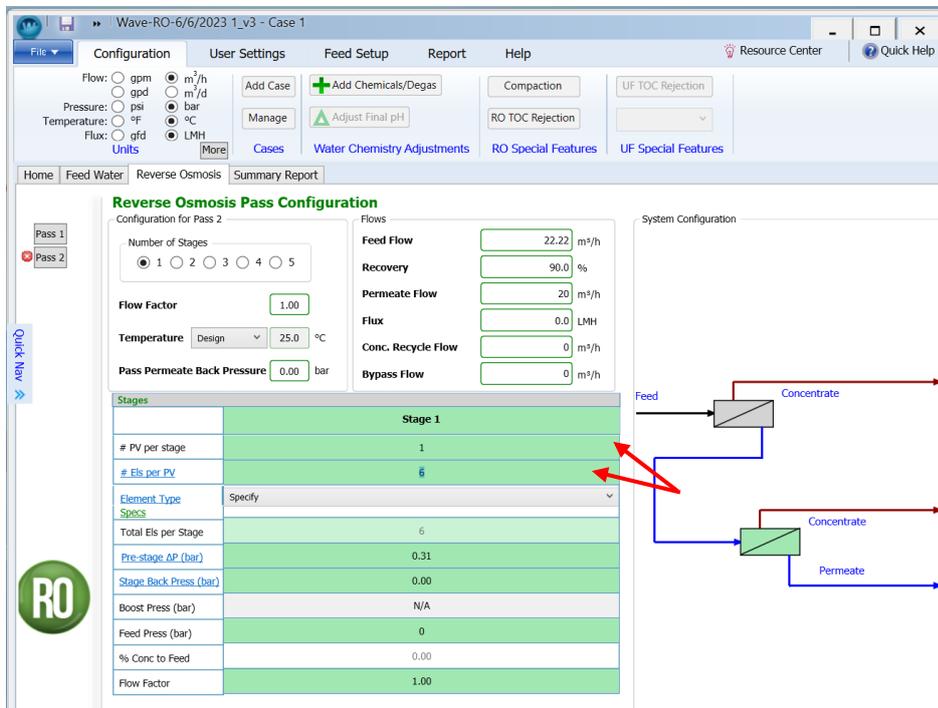
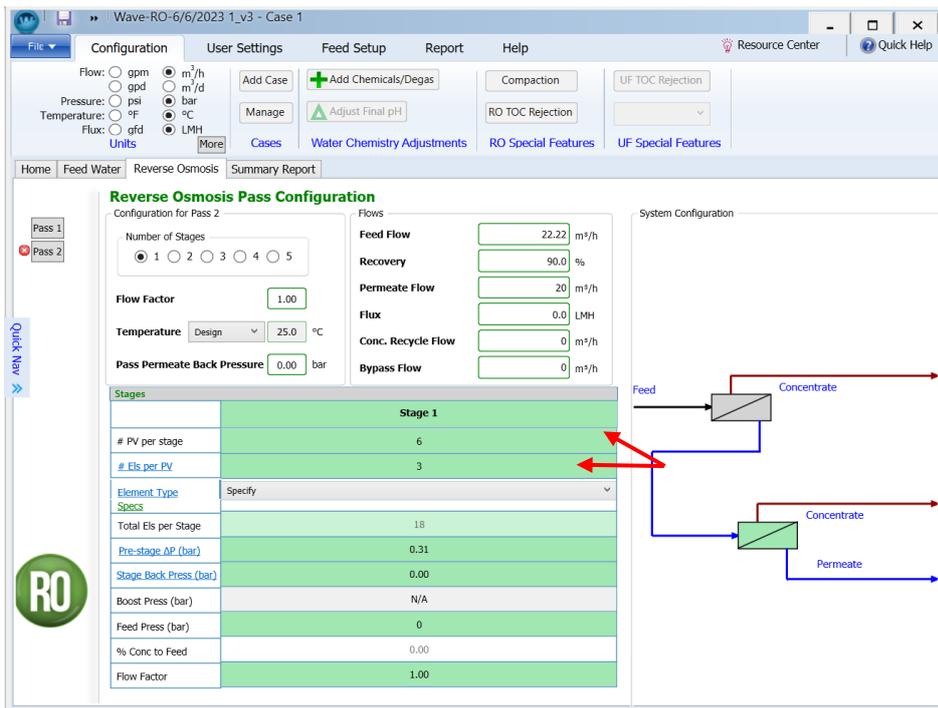


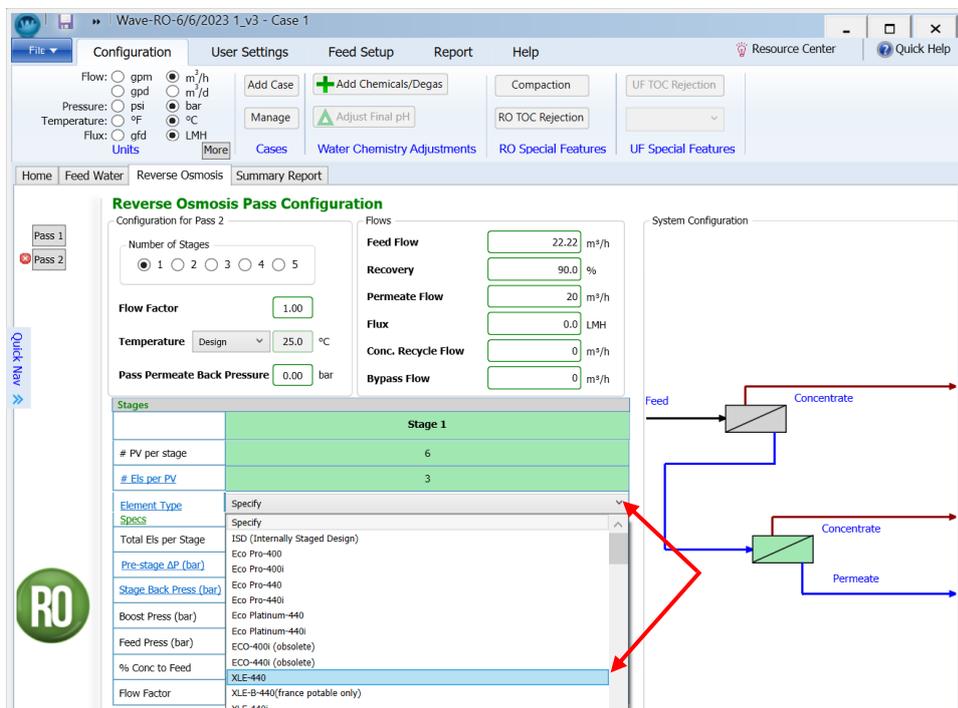
Figure III.19 : Fenêtre de conception d'RO

Etape 3.1 : Nous avons choisi 3 tubes de pression, avec 6 membranes dans chaque tube.



Etape 04 : Spécification du type de membrane.

On cliquons sur Specify. Pour notre cas nous avons choisi XLE-440.



Remarque : Nous avons choisi ce type de membranes, du fait que la salinité de l'eau à la sortie du premier étage est faible (inférieure à 1000 ppm), 'Tape Water'



Figure III.20 : La Membranes « XLE-440 ».

Caractiristique de la membranes « XLE-440 »:

Élément FilmTec™	Surface d'élément (m2)	Débit de Permeat (m3/d)	Bore stabilisé Rejet	Sel stabilisé Rejet (%)
XLE-440	41	53	99.0	97.0

Etape 05 : Elaboration du rapport de calcul : « Summary Report ».

Figure III.21 : Calcul et Rapport.

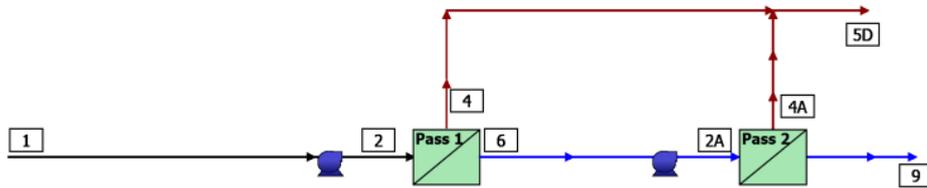


Figure III.22: Diagramme de flux du système RO.

#	Description	Flow (m³/h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)	#	Description	Flow (m³/h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	44.4	39,452	0.0	2A	Net Feed to Pass 2	22.2	264.4	4.5
2	Net Feed to Pass 1	44.3	39,562	68.1	4A	Total Concentrate from Pass 2	2.22	2,393	4.1
4	Total Concentrate from Pass 1	22.2	78,765	65.8	5D	Net Concentrate from RO System	24.5	71,669	-
6	Total Permeate from Pass 1	22.2	264.4	0.0					
9	Net Product from RO System	20.0	28.44	0.0					

Figure III.23 : Informations sur le flux RO.

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat e	Permeate	
		Stage1	Stage1	Total to Pass 2
NH ₄ ⁺	0.56	1.10	0.03	0.03
K ⁺	432.5	862.6	3.81	3.81
Na ⁺	12,110	24,163	94.89	94.89
Mg ⁺²	1,460	2,921	2.81	2.81
Ca ⁺²	475.7	952.1	0.90	0.90
Sr ⁺²	7.58	15.18	0.01	0.01
Ba ⁺²	0.02	0.03	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	11.32	24.99	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	129.1	252.6	1.46	1.46
NO ₃ ⁻	0.02	0.03	0.00	0.00
F ⁻	1.20	2.39	0.01	0.01
Cl ⁻	22,000	43,914	157.2	157.2
Br ⁻¹	0.00	0.00	0.00	0.00
SO ₄ ⁻²	2,820	5,647	2.11	2.11
PO ₄ ⁻³	0.11	0.22	0.00	0.00
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00
Boron	4.60	8.11	1.10	1.10
CO ₂	1.01	2.41	1.28	1.28
TDS ^a	39,452	78,765	264.4	264.4
Cond. μS/cm	58,158	106,219	546	546
pH	7.8	7.9	6.2	6.2

Figure III.24: Concentrations de soluté RO- Passe 2.

III.4 Conclusion :

Aux fins de production d'électricité la centrale électrique SKD Edraouch procède au dessalement de l'eau de mer, en utilisant la technologie d'osmose inverse RO. La conception de la station RO a été élaborée par l'intermédiaire d'un logiciel de conception et de simulation qui est le WAVE water.

Pour assurer une production et une qualité d'eau requise par le concepteur de la centrale, nous avons proposé l'utilisation de membranes de type SeamaxxTM440i, avec en premier lieu une configuration simple en un seul passage "single Pass" ce qui nous a permis d'obtenir un perméat de salinité de l'ordre de 264.4 mg/L.

En second lieu nous avons proposé une configuration multi-étages et plus précisément en deux étages. Pour ce second étage nous avons utilisé plutôt des membranes de type TW 'Tape Water' (XLE-440) vu que l'eau à l'entrée de ce second étage, n'est pas chargée en sels minéraux, ce qui nous a permis d'obtenir un perméat de salinité de l'ordre de 20mg/L.

Conclusion Générale

Conclusion Général :

L'eau est l'un des éléments les plus abondants sur la terre, mais c'est aussi un fait que les ressources en eau potable sont considérablement réduites en raison de la consommation humaine dans le monde. Il existe différentes solutions pour faire face aux pénuries d'eau. Le dessalement est l'un d'entre eux, Il joue un rôle vital dans la production d'eau douce dans de nombreuses régions du monde, en particulier dans les pays arabes.

L'objectif de ce mémoire était de faire une étude sur le dessalement des eaux de mer par l'osmose inverse.

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est une technique qui a prouvé son intérêt pour subvenir au besoin en eau potable pour les pays souffrant d'une grande pénurie d'eau douce.

Le procédé de dessalement par osmose inverse est une technique de filtration membranaire. Il est utilisé pour le dessalement des eaux de mer, des eaux saumâtres, ainsi que des eaux usées urbaines et industrielles. Ce procédé permet l'élimination des sels et des substances organiques présentes dans les eaux ainsi qu'une partie des virus et des bactéries.

À partir des résultats trouvés dans notre travail et après plusieurs manipulations, nous avons conclu que :

- Un débit de perméat est de 40176 m³/j.
- Une salinité totale est de 255 mg/L, en sortie du perméat final dans les normes de l'OMS.
- Un seul sel qui va précipiter (CaSO₄), on dit prévoir l'injection d'un antiscalant comme prétraitement afin de préserver les membranes.
- Un rendement de traitement est égal à environ 50%.
- Une concentration en bore est inférieure à 0,5mg/L en sortie du perméat ce qui n'est pas dans les normes de l'OMS mais dans les normes Européenne qui est de 1mg/L.
- Un ratio de salinité est d'environ de 2.

Références bibliographiques

- [1] <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2022/02/memoir-ben-yahya-ala.pdf>.
- [2] S.Kehal, Rétrospective et perspective du dessalement en Algérie, Désaliénation (136),35-42,2001.
- [3] C.Cardot, Génie de l'environnement, Les traitements de l'eau. Edition : Ellipses. 247p, 1999.
- [4] 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.
- [5] C.Bliefert et al, Chimie de l'environnement (air, eau, sols et déchets). Edition: Boeck & larciel, 2001.
- [6] L .Sigg et al, Chimie des milieux aquatique, chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. Edition : Dunod. 567p, 2000.
- [7] Bonnin.J, Hydraulique urbaine. Edition: Eyrolles. 228p, 1986.
- [8] Berroudja.K, Contribution à l'étude de l'évolution des qualités physico-chimiques et microbiologique de l'eau de robinet du centre-ville de Chlef. Mémoire d'ingénieur, 2003.
- [9] P.Danis, Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur J 2700, 2003.
- [10] A. Lassouani et H. Benlebna. Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, station de Bousfer-Oran. Mémoire de master en chimie. Université des sciences et la technologie Mohamed Boudiaf (Oran) 2001.
- [11] A.Maurel, Dessalement de l'eau de mer Technique de l'ingénieur J1, J2700 (Tome 1) 11-22, 2007.
- [12] M. Hirose , H.Ito, Y.Kamiyama, Effect of skin layer surface structures on the flux behaviour of RO membranes. Journal of Membrane Science(121) 209 215,1996.8.
- [13] S.-Y. Kwak, S. G. Jung, S. H. Kim, Structure-motion-performance relationship of flux enhanced reverse osmosis (RO) membranes composed of aromatic polyalide thin films. Environmental Science and Technology (3), 4334- 4340,2001.
- [14] A.M. Helal; 2004. Optimal design of hybrid RO, MSF desalination plants, Desalination160, 13-27.
- [15] I.C. Karagiannis , P.G. Soldatos , 2008. Water desalination cost literature: review and assessment, Desalination223, 448–456.
- [16] S. Lattemann , T.Höpner, 2008. Environmental impactand impact assessment of seawater desalination. Desalination,220 (1-3), 15 p.
- [17] A. Maurel, 2006. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce.Paris, Lavoisier Tec&Doc.

- [18] F. Macedonio , Drioli E., 2008. Pressure-driven membrane operations and membrane distillation technology integration for water purification, *Desalination* 223, (396–409).
- [19] A. Maurel, Osmose inverse in: Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire. G.Daufin , F. René , P.Aimar, Paris, Lavoisier - Tec & Doc: 68-85, 1998.
- [20] S.Frioui , R. Oumeddour, 2008. Investment and production costs of desalination plants by semi-empirical method, *Desalination*223, 457–463.
- [21] Degrémont Suez, 2005. Mémento technique de l'eau. Rueil Malmaison, Degrémont, 2 tomes, 171p.
- [22] Alfa Arzate, Ph.D (2008) : « Procédés de séparation membrane et leur application dans l'industrie alimentaire ». 142, Rang Lainesse Saint-Norbert d'Arthabaska Québec.
- [23] Axel ETTORI (2011) : « Vieillesse chimique de membranes d'osmose inverse ». Thèse en vue de l'obtention du DOCTORAT université de Toulouse III - Paul Sabatier FRANCE.
- [24] Mr SAOUDI Abdenour (2010) : « l'influence de la filtration sur sable sur la qualité des eaux potable ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- [25] Pastor Jean, Pauli Anne-Marie (1995). Dialyse. Chromatographie et techniques séparatives. Paris : Techniques de l'Ingénieur - p 1525
- ARZATE, A.**, Procédé de séparation membranaire et leurs applications dans l'industrie alimentaire, Revue de littérature, Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc, référence 642-RVL-0508, Saint-Norbert d'Arthabaska, 2008.
- BECHKI, D.**, Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes, Thèse de doctorat en génie mécanique, Université Hadj Lakhdar Batna, 2011.
- BOULNOUAR, N.**, Etude d'alimentation de rendement du procédé de dessalement à thermo compression au niveau du complexe d'ammoniaque sorfert, Mémoire de fin d'études, Master, Université Mohamed Boudiaf Oran, 74 pages, 2014.
- DANIS, P.**, Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'ingénieur, Traité génie des procédés référence ; J 2700-18, 2003.81
- DUNGLAS, J.**, Le dessalement de l'eau de mer, une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau, Groupe eau, Note de travail N°4, Académie d'agriculture de France, 2014.
- HADJALI, Y.**, Impact des stations de dessalement de l'Eau de mer sur le littoral cas de la station plage El Hilel Ain Timouchent, Mémoire de fin d'études, Master, Université bou Bekr belkaid Tlemcen, 91 pages, 2012.
- HAMANI, A.**, Etude des performances du pilote d'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres, Mémoire de fin d'études, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Abraoui Abdelah, 100 pages, 2013.

MAUREL, A., Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2eme édition, TEC & doc. 286p, 2006.

MORSLI, M. S., Impacts des arrêts Techniques de l'usine de dessalement de l'eau de mer sur l'entreprise et l'environnement, Mémoire de Magister en Management, Université d'Oran, 203 pages, 2013.

SAGNE, C., Etude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse, Thèse de doctorat, Spécialité génie des procédés, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), 2008.