

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**



Université A. MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie



Département de Génie des Procédés

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

En Génie des Procédés option Génie De L'environnement

Thème

**ETUDE ET CARACTÉRISATION DES PROCÉDES DE DESSALEMENT
DE L'EAU DE MER
CAS PRATIQUE (LA STATION DE CAP DJINET DE LA
WILAYA DE BOUMERDES**

Présenté par :

 **KERRACHE Saddek**

 **SAIDI Massinissa**

Membres du jury :

Président : Mr M. AZZOUG, Maitre de conférences A à l'université de BEJAIA.

Examineur : Mr. A/H. SAOU, Maitre de conférences A à l'université de BEJAIA.

Encadreur : Mme. ALIOUANE Nabila, Professeur à l'université de BEJAIA.

Co-encadreur : Mr. Talantikith S/ahmed .Responsable laboratoire CDJ.

2020-2021

Remerciement:

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a donné l'envie, le courage et la force pour mener à terme ce travail, qui a été réalisé au sein de la station de dessalement de l'eau de mer a cap djent wilaya de Boumerdas.

Au terme de ce travail, nous exprimons :

Toutes nos reconnaissances à notre encadreur Mme N. ALJOUNE, Maître de Conférences à l'université de Bejaia .

Nos respectueux remerciements aux membres du jury:

Mr M. AZZOUNG, M. SAOU , qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce modeste travail :

Nos remerciements à Mr SIDA. Talantikite, Responsable du laboratoire (CDI), Mr N. TACHAOU7, Mr H. Directeur technique de la station de dessalement CDI (cap djent Boumerdas.)

Nous tenons à remercier également l'ensemble du Corps enseignants du département de génie des procédés.

Enfin nous remercions toutes personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Merci à tous.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail avant tout à la mémoire de :

*ma très chère grand-mère , mon chère grand père, mon cher frère "Hicham
"qui nous ont quittés subitement en silence .*

*« Que Dieu le tout puissant lui accorde sa sainte miséricorde et l'accueille
dans son vaste Paradis ».*

*A mes très chers parents qui m'ont soutenu durant toutes mes années
d'études. Leur sacrifice est inégalable, incalculable qu'ils trouvent à travers
ce modeste travail tout mon amour et ma reconnaissance*

A mon chère oncle "Rachid" et sa femme " Sabrina ".

A mes chers sœurs et frère:

Imad, Ramzi , Rafik, Zakaria, Romaisa, Chams.

A toute ma famille cousins, cousines, voisins et amis.

*Sans oublier mon binôme **MASSMSSA** pour son soutien moral, sa
patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

A toute la promotion de génie des procédés de l'environnement 2020|2021.

SADDEK

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, pour leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes frères : YANIS et YASSINE

A ma sœur : HANA.

A mon ami qui a partagé avec moi l'honneur de la réalisation de ce travail : SADDEK KERRACHE

A toute la famille SAIDI.

A tous mes amis.

*Et a tous mes camarades de la promotion
GPE 2020-2021.*

Massinissa

Table de matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités	
I-1- Généralités sur l'eau.....	3
I-1-1- Définition.....	3
I-1-2- Les besoins en eau	3
I-1-3- Le cycle de l'eau et la répartition des eaux dans le monde.....	4
a- Le cycle de l'eau.....	4
b- La répartition des eaux dans le monde	5
I-1-5- Les sources d'eau naturelles	5
1- Les eaux de pluies	5
2- Les eaux de surface	5
3- Les eaux souterraines	6
4- Les eaux de mer.....	6
I-2- Caractéristiques des eaux de mer	7
I-2-1- Composition de l'eau de mer.....	7
I-2-1-1. Les éléments principaux	7
I-2-1-2- Autres élément minéraux.....	8
I-2-1-3- Matières organiques	8
I-2-2- Salinité	9
I-2-3- Potentiel d'hydrogène (pH)	9
I-2-4- Conductivité	9
I-2-5 Autres propriétés.....	9
I-2-5-1- La viscosité	9
I-2-5-2- La densité	10
I-3- Caractéristiques et normes des eaux potables	10
I-3-1- Caractéristiques physiques	10
a- Température.....	10
b- Eléments en suspension et colloïdes	10
c- Eléments en solution	11
I-3-2- Caractéristiques chimiques	11
a- Le potentiel d'hydrogène	11
b- Dureté	11
c- Agressivité	11
d- Eléments indésirables	11
I-3-3- Caractéristiques biologiques	11
I-3-4- Les normes de potabilité.....	11
I-3-4-1- Les normes algérienne	11
I-3-4-2- Normes OMS	13
Conclusion	14

Chapitre II : Les principales techniques de dessalement

Introduction.....	15
II-1- Généralités.....	15
II-2- les procédés par distillation	16
II-2-1- Distillation à simple effet	17
II-2-2- Distillation à multiples effets (MED).....	17
II-2-3- Distillation par détentes successives (Multistage Flash, MSF).....	18
II-2-4-Distillation par compression de vapeur	19
II-2-5-Avantages et Inconvénients des procédés par distillation	20
II- 3- les procédés membranaires	20
II-3-1- l'électrodialyse	20
II-3-2- L'osmose inverse.....	21
II-3-2-1- Définition	21
II-3-2-2- principe.....	21
II-3-2-3- Pression osmotique.....	22
II-3-2-4- les membranes d'osmose inverse	23
a- les membranes.....	23
b- caractérisations des membranes	24
c- les module des membranes d'OI	24
II-3-2-5- Elément constructif d'une unité d'osmose inverse	25
II-3-2-6- Echangeurs de pression PX (systèmes à piston).....	26
II-4- Autre procédés de dessalement	28
II-4-1- la congélation.....	28
II-4-2- Échange d'ions	28
II-4-3- La distillation solaire	29
II-5- Problème technique rencontrée en dessalement	29
II -6- Le dessalement en Algérie	30
II -6-1 Les stations de dessalement en Algérie.....	30
II-7- Les impacts de dessalement d'eau de mer sur l'environnement.....	32
II-7-1- Emission atmosphérique	32
II-7-2- Les rejets chimiques	33
II-7-3- La saumure (le concentrât)	34
II-7-4- Impact de bruit.....	34
II-7-5- Impact sur le paysage	35

Chapitre III : Les différentes techniques utilisées dans la station

Introduction.....	37
III-1- Présentation de la station de dessalement Cap Djinet	37
III-1.2 Situation géographique	37
III-3 Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Cap-Djinet.....	38

III-1.3.1 Captage de l'eau de mer.....	40
III-1.3.2 Prétraitement.....	40
1-Prétraitement chimique.....	41
2-Prétraitement physique.....	43
a- Filtration à sable et anthracite	43
b- filtration à cartouche	44
III-1.3.3 Procédé osmose inverse	44
III-1.3.4 Récupération d'énergie.....	46
a- Présentation du système.....	46
b-Principe de fonctionnement du système.....	48
c- Pompes BOOSTER	50
III-1.3.5 Poste de nettoyage chimique.....	50
a- Lavage des membranes	50
b- Conditions limites de nettoyage	51
c- Procédure de nettoyage des membranes	51
III-1-3-6- Rejet de saumure et produits chimiques	51
III-1-3-7- Post-traitement.....	52
a- Injection de CO ₂	52
b- Reminéralisation	52
b-Pompage de l'eau produit	53
III-2- Matériels et méthodes.....	54
III-2-1- Prélèvement et échantillonnage	54
III-2-1-1- Sites de prélèvements.....	54
III-2-1-2- Mode de prélèvement	55
III-2-2- Analyses physico-chimiques.....	55
III-2-2-1- Les facteurs organoleptiques.....	55
a- Evaluation de la couleur	55
b- Evaluation de l'odeur et de la saveur.....	56
c- Mesure de la turbidité.....	57
III-2-2-2- Mesure de Potentiel d'hydrogène (pH)	57
III-2-2-3- Mesure de la conductivité.....	58
III-2-2-4- Mesure des TDS.....	58
III-2-2-5- Mesure des MES.....	59
II-2-2-6- Détermination de la dureté totale (TH).....	59
III-2-2-6- Mesure de L'alcalinité.....	61
III-2-2-7- Mesure des résidus secs à 180 °C.....	63
III-2-2-8- Mesure chlore libre (Cl ₂).....	64
III-2-2-9- Les paramètres chimiques	64

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV -1-Eau produite.....	66
IV-1-1- Les résultats organoleptiques.....	66
IV-1-2-Les résultats physico-chimiques	67
IV-1-2-1- pH (potentiel d'hydrogène).....	67
IV-1-2-2- Conductivité	68
IV-1-2-3- Température.....	69
IV-1-2-4- TDS.....	69
IV-1-2-5- MES.....	70
IV-1-2-6- Dureté totale.....	70
IV-1-2-7- TAC (titre alcalimétrique complet).....	72
IV-1-2-8- Chlore Libre.....	73
IV-1-3- Autres paramètres chimiques	74
IV -2 Eau de mer et saumure.....	76
Conclusion et recommandations	79
Références bibliographiques	81
Annexes	84

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Prélèvements des eaux mondiaux 1900-2010.....	4
Figure I.2 : Cycle générale de l'eau.	5
Figure II.1 : Schéma général d'une installation de dessalement.	15
Figure II.2 : Classification des procédés de dessalement.	16
Figure II.3 : Schéma de principe distillation a simple effet.....	17
Figure II.4 : Schéma de principe de distillation a multiples effets.....	18
Figure II.5 : Schéma de principe de distillation par détente successive (MSF)	19
Figure II.6 : Schéma de principe de distillation par compression de vapeur.	19
Figure II.7 : Cellule élémentaire d'électrodialyse.	21
Figure II.8 : Principe de l'osmose inverse.	22
Figure II.9 : Module d'osmose inverse à enroulement spirale.	24
figure II.10 : Module des membranes.	25
Figure II.11 : Structure des membranes d'osmose inverse.	25
Figure II.12 : Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.	25
Figure II.13 : Echangeurs de pression.....	27
Figure II.14 : Schéma d'un système à osmose inverse employant un échangeur 7 de pression.....	28
Figure II.15 : Schéma de principe de distillation solaire.	29
Figure III.1 : Station de dessalement CDJ (cap djinet).	38
Figure III.2 : Schéma de fonctionnement de la station de dessalement.	39
Figure III.3 : Station de pompage de l'eau de mer.	40

Figure III.4 : Etape de prétraitement chimique.	42
Figure III.5 : Filtres à sable anthracite.	43
Figure III.6 : Filtres à cartouches.	44
Figure III.7 : Pompe à haute pression.	45
Figure III.8 : Tubes de pression	46
Figure III.9 : Installation avec échangeur de pression.	46
Figure III.10 : Emplacement des échangeurs de pression.	47
Figure III.11 : Constitution d'un système PX.	48
Figure III.12 : Principe de fonctionnement du système PX.....	49
Figure III.13 : Pompes BOOSTER.....	50
Figure III.14 : Bâtiment de la saumure	52
Figure III.15 : Lits de calcite	52
Figure III.16 : Sites des prélèvements.....	54
.Figure III.17 : Réactif Collor - Appareille chlorométrie.....	56
Figure III.18 : Turbidimètre.....	57
Figure III.19 : PH-mètre.	58
Figure III.20 : Appareil multi-paramètres de paillasse - Multi-paramètres portatif.....	58
Figure III.21 : La hotte à filtre - Balance de précision.....	59
Figure III.22 : Détermination de titre hydrotimétrique.	60
Figure III.23 : Colorimètre.	64
Figure III.24 : Spectrophotomètre.	650
Figure III.25 : Boite LCK pour la mesure de Bore - Boite LCK pour la mesure des chlorures...	64

Figure IV.1 : Comparaison de pH de l'eau produite avec la valeur admissible.....	68
Figure IV.2 : Comparaison de la conductivité électrique de l'eau produite avec la valeur admissible.....	68
Figure IV.3 : Comparaison de la température de l'eau produite avec la valeur admissible.	69
Figure IV.4 : Comparaison du Total des solides dissous de l'eau produite avec la valeur admissible...70	
Figure IV.5 : Comparaison du titre hydrométrique dans l'eau produite avec la valeur admissible. ...	71
Figure IV.6 : Comparaison du calcium dans l'eau produite avec la valeur admissible.....	71
Figure IV.7 : Comparaison du magnésium dans l'eau produite avec la valeur admissible.....	72
Figure IV.8 : Comparaison de TAC dans l'eau produite avec la valeur admissible.	73
Figure IV.9 : Comparaison du chlore libre dans l'eau produite avec la valeur admissible.....	74
Figure IV.10 : Comparaison entre les valeurs moyenne de quelques paramètres physico-chimiques de la saumure et l'eau de mer.....	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35.000 mg.kg ⁻¹	7
Tableau I.2 : Concentration des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure au µg/l se trouvant sous forme dissoute, colloïdale, ou en suspension.....	8
Tableau I.3 : L'évolution de la viscosité en fonction de la température et la salinité. ...	10
Tableau I.4 : Quelques valeurs indicatives dans les normes algériennes des eaux potables.....	12
Tableau I.5 : Quelques valeurs limites dans les normes algérienne des eaux potable (journal officielle 2014).	13
Tableau I.6 : Quelques valeurs limites dans les normes OMS des eaux potable.....	13
Tableau II.1 : Les stations monoblocs de dessalement d'eau de mer en Algérie.	31
Tableau II.2 : Les grandes stations de dessalement d'eau de mer en Algérie.	32
Tableau II.3 : les impacts de dessalement d'eau de mer sur l'environnement.....	36
Tableau III.1: Caractéristiques des pompes de captage d'eau de mer.	40
Tableau III.2 : Caractéristiques des pompes à haute pression.	45
Tableau III.3 : Caractéristiques des pompes d'eau produite	53
Tableau III.4 : Mode opératoire de l'évaluation de la couleur	56
Tableau III.5 : Détermination de CO ₃ ²⁻ et HCO ₃ ⁻ à partir du TA et TAC.....	63
Tableau IV.1 : Résultats journalier d'analyses organoleptiques.	66
Tableau IV.2 : Résultats journalier d'analyses physico-chimiques.	67
Tableau IV.3 : Résultats d'analyse pour les autres paramètres chimiques	75
Tableau IV.4 : Résultats d'analyses de la saumure et l'eau de mer.....	76

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE :	Algérienne des eaux.
ATC :	Automatic Temperature Compensation.
dB(A) :	Décibel A (Unité de bruit).
DPD :	Diéthyl-p-Phénylène-Diamine.
ED :	Electrodialyse.
EDTA :	Acide éthylène diamine tétra-acétique.
HP :	Pompe à haute pression.
MA :	Membrane Anionique.
MC :	Membrane Cationique.
MED :	Multi-Effet-Distillation (distillation à effet multiple).
MES :	Matières en suspension.
MSF :	Multi-Stage-Flash distillation (distillation à détente étagées).
NET :	Noir d'Eriochrome T.
NTU :	Nephelométric Turbidity Unit.
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé.
P :	Pression.
PH :	Potentiel d'hydrogène.
Ptm :	Pression transmembranaire.
ppm :	Partie par million.
ppt :	Partie par trillion.
PX :	Echangeur de pression.
RO ou OI :	Reverse Osmosis ou Osmose inverse.
S.G :	Specific Gravity = densité.
T :	Température (°C).
TA :	Titre alcalimétrique.
TAC :	Titre alcalimétrique complet.
TDS :	Total des solides dissous.
TH :	Titre hydrométrique.
UCV :	Unités de couleur vraie.

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est la source de vie sur notre planète, c'est un élément indispensable pour la flore et faune et pour la survie de l'humanité et son développement. 71 % de la surface de la terre est recouverte en eau, il ya que 3% d'eau douce dans des différentes réservoirs (lacs, rivières, souterraines), et le reste 97% c'est des eaux salées (mers et océans) [1].

Pendant de longues périodes, l'eau douce a été considérée comme une source naturelle gratuite et inépuisable. Au fur et à mesure que la population mondiale augmente, la demande en eau pour sa consommation, l'assainissement, l'agriculture et la production d'énergie augmente également. Dans le même temps, l'activité humaine et les changements climatiques perturbent les cycles naturels de l'eau, imposant ainsi une forte pression aux écosystèmes d'eau douce.

La pollution, le développement des infrastructures et l'extraction des ressources posent aussi des défis supplémentaires [2].

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure dans tous les pays du monde. L'Algérie est l'un des pays de la méditerranée touchés par le stress hydrique, elle est classée dans la catégorie des pays pauvres en cette matière, soit en dessous du seuil théorique du rareté fixé à 1000 m³/habitant / an [3].

Pour faire face contre cette pauvreté en eaux potables dans le monde et en Algérie plus particulièrement des nouvelles techniques de production d'eaux potable sont mise en place, parmi les techniques utilisées en Algérie on trouve le dessalement de l'eau de mer .

Nous proposons à travers ce mémoire d'étudier et de caractériser des procédés de dessalement d'eau de mer, ces procédés sont basées sur plusieurs techniques et technologie, comme des procédés thermiques et membranaires.

L'objectif de ce travail consiste à une étude pratique pour caractériser et d'étudier le procédé de dessalement de l'eau de mer dans la station de dessalement Cap-Djinet (Wilaya de Boumerdes).

Le mémoire comporte:

-Une introduction générale.

-Quatre chapitres :

- **Chapitre I:** Généralités.

Comporte des généralités sur les eaux en générale et des caractérisations des eaux de mer en particulier.

- **Chapitre II:** les principales techniques de dessalement.

Comporte des définitions et des présentations de différentes techniques et technologies de dessalement.

- **Chapitre III:** cas pratique, station de dessalement cap djinet.

Dans ce chapitre nous présenterons la station de dessalement cap djinet et matériels et méthodes utilisés dans le cadre d'étude.

- **Chapitre IV:** Résultats et discussions.

Dans ce chapitre les résultats obtenus lors des suivis expérimentaux seront discutés.

-Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

CHAPTER I
GENERALITES

CHAPITRE I: Généralités sur l'eau

L'eau est la plus importante source vitale à commencer par l'unité fondamentale de l'être vivant, la terre est souvent appelé la planète bleu parce que l'eau recouvert la majorité de sa surface (environ 71% de la surface totale de la terre), sans cette élément la terre serait qu'un un astre mort.

I-1- Généralités sur l'eau :

I-1-1- Définition

L'eau, dite H_2O dans sa nomenclature chimique, est une solution aqueuse diluée. A L'état liquide, son existence est essentielle au maintien de la vie de tous les organismes vivants connus.

L'eau est un liquide incolore, inodore, et sans saveur dans son état pur, et est liquide a température ambiante. Elle est formée de deux volumes d'hydrogènes et un volume d'oxygène [4].

Dans la nature sous l'action du différentes facteurs tel que :la température, la pression atmosphérique, l'eau existe sous trois formes : liquide, solide ou gazeux.

Etat Liquide : caractérisé par une forme non définie, ces molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres mais elles restent proches car elles sont liées par des forces intermoléculaires.

Etat gazeux : caractérisé par une absence de forme et de limite physique, il n'ya pas de liaisons entre les molécules, et sont indépendantes les unes des autres.

Etat solide : a basse température, l'eau et appelée glace et possède des structures cristallins régulières [5].

I-1-2- Les besoins en eau

L'eau est une ressource vitale, elle est indispensable pour le développement socioéconomique, aucune société dans le monde ne peut aujourd'hui prétendre à une croissance, voire même à une survie sans qu'elle ne dispose de quantités suffisantes de cette richesse [6].

Au cours des cent ans passée, l'utilisation de l'eau douce dans le monde a été multipliée par six (figure I.1) et continue d'augmenter régulièrement de près de 1% par an depuis les années 1980 [7].

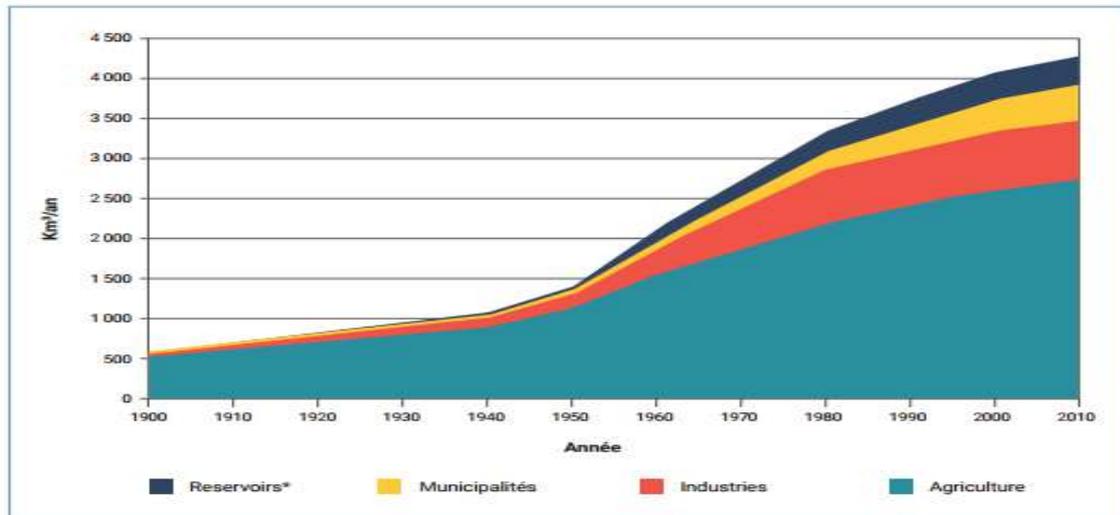


Figure I.1 : prélèvements des eaux mondiaux 1900-2010 [7].

Au niveau mondial, 70% de l'eau prélevée est affectée à des usages agricoles, essentiellement pour l'irrigation mais aussi pour l'élevage et pour l'aquaculture. Dans certains pays en voie de développement, ce taux peut atteindre 95%. L'industrie y compris la production d'énergie et d'électricité utilise 19% des prélèvements d'eau mondiaux tandis que les municipalités absorbent les 12% restants [7].

I-1-3- le cycle de l'eau et la répartition des eaux dans le monde :

a) - Le cycle de l'eau :

La fameuse phrase de Lavoisier : < Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme > peut s'appliquer au cycle de l'eau.

La masse d'eau totale de l'hydrosphère ne varie pas au cours des années, l'eau change d'état ou cours de son cycle mais sa quantité globale reste inchangée depuis 3 milliards d'années (Figure I.2), la date de son apparition sur terre. C'est l'énergie solaire qui est le moteur du cycle de l'eau en entraînant ses changements d'états [8].

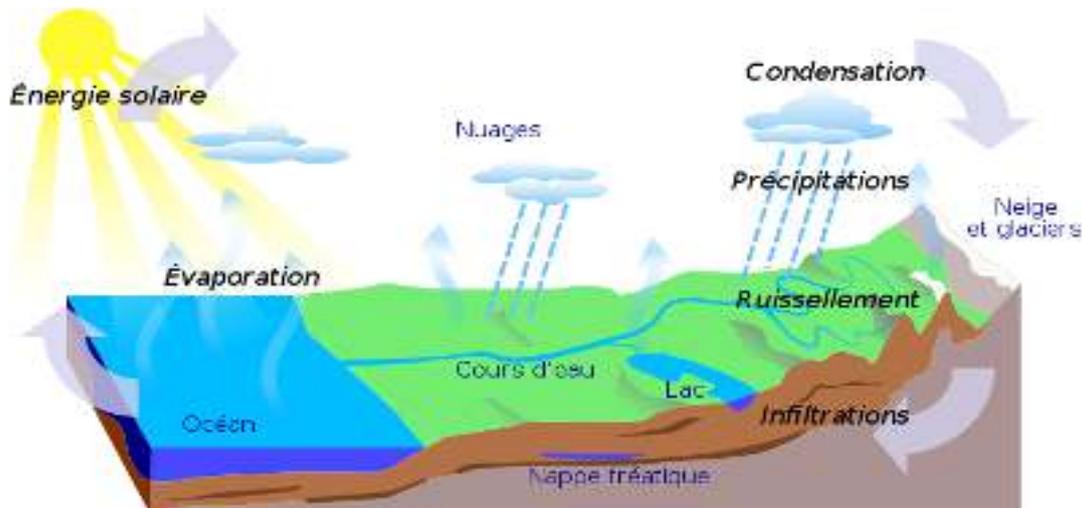


Figure I.2 : cycle générale de l'eau. Site 1.

b) - La répartition des eaux dans le monde :

La quantité d'eau sur terre est gigantesque : environ 1.4 milliards Km^3 , Cependant 97,5% de cette quantité se trouve sous forme salée et 2,5% sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de Km^3 [9].

I-1-5- Les sources d'eau naturelles :

Il existe quatre principales sources d'eau brute :

1- Les eaux de pluies :

Les eaux de pluie sont saturées en oxygène et d'azote et ne contiennent pas des sels dissous tels que le magnésium et le calcium, elles sont donc très douces [10].

2- Les eaux de surface :

Se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface d'échange eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles contiennent en général une grande quantité de solides en suspension, bactéries, algues et matières organiques.

Les réservoirs d'eau de surface sont en général :

a)- Les rivières : qui sont généralement divisées en 2 parties :

Partie amont : qui se situe en général dans une région montagneuse, où la densité de population est faible, elles sont caractérisées par :

- ✓ Une turbidité élevée.

- ✓ Une contamination bactérienne faible.
- ✓ Une température froide.
- ✓ Indice de couleur faible.

Partie aval : qui se situe dans une région où la population est dense, l'agriculture est développée et des industries nombreuses, elles sont caractérisées par:

- ✓ Une contamination bactérienne élevée.
- ✓ Une contamination organique et inorganique élevée.
- ✓ Indice de couleur élevé.

Le débit et la qualité d'eau de rivières peuvent varier en peu de temps [10].

b)- Les lacs :

On peut considérer un lac comme un bassin naturel de décantation qui se forme lorsque les eaux qui coulent le long des pentes, cours d'eau et les eaux de ruissellement, rencontrant un obstacle qui les empêche de poursuivre leur course. La turbidité des eaux des lacs est faible contrairement à la contamination bactérienne qui est habituellement peu importante. Dans certains cas les lacs sont alimentés par les eaux souterraines.

3- Les eaux souterraines :

Elles représentent 98% des réserves d'eau douce non gelée de la planète et presque la moitié des eaux potables dans le monde [11].

Elles proviennent de la fraction des eaux de pluie infiltrée dans le sol et elles sont contenues dans les pores des sédiments ou des roches.

Les eaux souterraines sont caractérisées par :

- ✓ Une faible turbidité causée par sa filtration naturelle dans le sol.
- ✓ Une contamination bactérienne faible.
- ✓ Une température constante.
- ✓ Indice de couleur faible.
- ✓ Une dureté élevée [10].

Les eaux souterraines jouent un rôle important dans le fonctionnement des rivières et des lacs.

4- Les eaux de mer :

Le terme d'eau de mer regroupe l'eau salée des mers et des océans de la terre. Elles occupent un volume estimé à 1340 millions de km³ ce qui représente 97% de la surface totale des

grande réservoirs d'eau à la surface de la terre. L'existence des sels dans l'eau de mer modifié les caractéristiques de l'eau, ce qui est présenté dans les paragraphes suivants.

I-2- Caractéristiques des eaux de mer

I-2-1- Composition de l'eau de mer

I -2-1-1. Les éléments principaux

Si la masse totale des sels dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable. Cette constance des proportions est souvent appelée loi de marquet ou de ditmar. Les éléments principaux, c'est-à-dire ceux qui contribuent d'une façon notable à la masse de sels dissous dans les océans, représentent 11 éléments différents. Leurs concentrations sont données par le tableau I.1 [12].

Tableau I.1 : concentration des éléments majeurs présents dans une eau de mer de salinité 35.000 mg.kg⁻¹ [13]

Constituant	Concentration (mg.kg ⁻¹)
Na ⁺	10770
Mg ²⁺	1290
Ca ²⁺	412.1
K ⁺	399
Sr ²⁺	7.9
B _{total}	4.5
Cl ⁻	19354
SO ₄ ²⁻	2712
HCO ₃ ³⁻	118
CO ₃ ²⁻	146
Br ⁻	67.3
F ⁻	1.3

I-2-1-2- Autres éléments minéraux:

L'eau de mer contient de nombreux autres éléments à des concentrations beaucoup plus faibles (tableau I.2). Ces éléments, malgré leur faible concentration, ont une importance certaine dans des processus biologiques et organiques. Ils peuvent se trouver sous différentes formes (dissous, colloïdaux ou en suspension)

Tableau I.2 : concentration des différents éléments mineurs dont la concentration est supérieure au $\mu\text{g/l}$ se trouvant sous forme dissoute, colloïdale, ou en suspension.

Eléments	Concentration en $\mu\text{g/l}$	Eléments	Concentration en $\mu\text{g/l}$
Li	170	Cu	3
Al	10	Zn	10
Si	3000	As	3
P	70	Rb	120
Ti	1	Mo	10
V	2	I	60
Mn	2	Ba	30
Fe	10	U	30
Ni	2		

Un litre d'eau de mer contient entre 30 à 40 g de sels alors que les métaux en suspension représentent quelques dizaines de mg par litre (mis à part aux embouchures de certains fleuves particulièrement chargés en matériaux terrigènes). Ces particules peuvent être finement divisées augmentant ainsi grandement les surfaces réactionnelles, ce qui peut avoir une importance notable sur les propriétés physico-chimiques de l'eau de mer [12].

I-2-1-3- Matières organiques

Les basses concentrations de matières organiques dans l'eau de mer rendent leur analyse chimique très compliquée. Les composés sont difficiles à isoler car dilués dans un milieu contenant beaucoup d'autres éléments à de plus fortes concentrations. Par convention, on sépare par filtration sur des filtres de $0,5 \mu\text{m}$ les matières dissoutes des matières organiques particulaires. Parmi les matières organiques dissoutes, on trouve des chlorophylles et

caroténoïdes, de la vitamine B12, des monosaccharides, des aminoacides. Les matières organiques particulières sont principalement constituées d'animaux et végétaux du zooplancton (ou leurs résidus). Elles peuvent représenter de 10 à 60% de la matière en suspension [12].

I-2-2 -Salinité

Dans sa première définition, donnée en 1902, la salinité, symbole S, désignait la masse totale des sels dissous par kilogramme d'eau de mer. Elle était exprimée en g/kg (1 kg d'eau de mer de salinité 35g/kg devrait contenir 35 g de sel pour 965 g d'eau pure). L'évaporation à sec d'une eau de mer. Suivie de la pesée d'un résidu hygroscopique est une opération laborieuse. Cette méthode directe n'a donc jamais fait partie des techniques courantes de détermination de la salinité [14].

I-2-3- Potentiel d'hydrogène (pH)

L'eau de mer faiblement alcaline et son pH moyen est de 8,2 avec des variations entre 7 et 8,4. Les variations de PH ont une certaine analogie avec celle d'oxygène dissous. Ceci s'explique en considérant l'activité synthétique de certains organismes : une forte production d'oxygène s'accompagne d'une diminution de la teneur en CO₂ et par conséquent d'une augmentation du pH, l'oxydation de la matière organique diminue la teneur en oxygène de l'eau en produisant du CO₂ et par conséquent abaisse le pH.

Dans certaines conditions le pH peut prendre des valeurs particulières. Notamment dans les bassins isolés ou il peut y avoir production d'H₂S. Le pH peut approcher des valeurs voisines de 7 ou tomber à des valeurs nettement plus acides. De même, une augmentation de pression de 100 bars produit une diminution de pH de l'ordre de 0,02 [15].

I-2-4- Conductivité

C'est l'inverse d'une résistivité. Elle est exprimée en S.m⁻¹ (siemens par mètre), ou en mS.cm⁻¹ (micro siemens par centimètre). La conductivité d'une eau de mer de salinité de 35 g/Kg à pression atmosphérique normale et à une température de 15 C° est : C (1atm , 15 C°) = 4.2914 S. m⁻¹ [14].

I-2-5 Autres propriétés :

I-2-5-1- La viscosité

la viscosité de l'eau de mer augmente évidemment en fonction de sa teneur en sels et diminue avec toute augmentation de température, [16] voire le tableau I.3.

Tableau I.3: l'évolution de la viscosité en fonction de la température et la salinité [14].

Température (°C)	Salinité							
	0	5	10	15	20	25	30	35
0	1,791	1,804	1,817	1,831	1,844	1,857	1,870	1,884
5	1,519	1,531	1,543	1,555	1,567	1,579	1,592	1,604
10	1,307	1,318	1,329	1,341	1,352	1,363	1,374	1,385
15	1,138	1,149	1,160	1,170	1,180	1,190	1,201	1,211
20	1,002	1,012	1,022	1,032	1,041	1,051	1,061	1,070
25	0,890	0,900	0,909	0,918	0,927	0,936	0,946	0,955
30	0,797	0,807	0,816	0,824	0,833	0,841	0,850	0,858
35	0,719	0,729	0,737	0,745	0,753	0,761	0,769	0,777

N.B :

Dans ce tableau les valeurs de la salinité sont données en gramme par kilogrammes (g/kg). Les valeurs de viscosité sont données en centipoise (1centipoise = 10^{-2} g.cm⁻¹.s⁻¹)

I-2-5-2- La densité

C'est le rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à une température de 4°C. La densité des océans est en moyenne de l'ordre de 1,035 à 1,036. Elle varie avec la salinité, la température et la pression [17].

I-3- Caractéristiques et normes des eaux potables:

Une eau potable c'est une eau que l'on peut boire ou utiliser a des besoins domestiques ou bien industriels sans aucun risque pour la santé.

I-3-1-Caractéristiques physiques :

- Température** : la température optimale des eaux de consommation se situe entre 9 et 12 C°.
- Eléments en suspension et colloïdes** : ces éléments donnent a l'eau une turbidité et une couleur.
- Eléments en solution** : certains éléments en solution puissant influé sur la couleur de l'eau, généralement sont mesurés par la minéralisation qui ne doit pas dépasser 2 grammes par litre.

I-3-2-Caractéristiques chimiques :

- a) **Le potentiel d'hydrogène :** le potentiel d'hydrogène dit **pH** est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogènes, il est généralement proche de la valeur neutre qui égale 7.
- b) **Dureté :** est essentiellement sa teneur en sels de métaux bivalents, principalement le calcium et le magnésium. Sa valeur optimale est entre 12 et 15 mg/l de CaCO₃
- c) **Agressivité :** c'est la propension de l'eau à attaquer la calcaire grâce au CO₂ libre qu'elle peut contenir, par la réaction d'équilibre :



- d) **Eléments indésirables :** certains éléments ne peuvent être contenus qu'en faible quantité dans l'eau, soit pour des raisons technique, soit à cause de leur mauvaise tolérance par l'organisme.

I-3-3-Caractéristiques biologiques :

L'eau potable ne doit pas contenir aucun germe pathogène qui provient de contamination d'origine fécale et sont :

- Bacille de Coli ou Escherichia Coli.
- Entérocoque.
- Clostridium sulfitoréducteur.
- Bactériophages fécaux [18].

I-3-4-Les normes de potabilité

L'organisation mondiale de la santé (OMS) définit des préconisations sur la qualité d'eau potable, sur lesquelles les états s'appuient pour l'élaboration des standards nationaux en matière de réglementation sur les eaux destinées à la consommation humaine.[19]

I-3-4-1-Les normes algérienne :

D'après Décret exécutif n°14-96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine publié dans le journal

officiel de la république algérienne , les tableaux (I.4 et I.5) présentent quelques valeurs indicatives et limites dans les normes algériennes liée aux eaux potable .

Tableau I.4 : les valeurs indicatives dans les normes algériennes des eaux potables [20].

Groupe de paramètres	Paramètre	Unité	Valeurs indicatives
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12 C°	Taux de dilution	4
	Saveur à 25 C°	Taux de dilution	4
Paramètres physico chimique en relation avec la structure naturelle des eaux.	Alcalinité	mg/l en CaCO₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	> 6.5 et 9<
	Conductivité à 20 C°	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Température	C°	25	

Tableau I.5: Quelques valeurs limites dans les normes algériennes des eaux potable [20].

Elément	Unité	Valeurs limite
Aluminium	mg/l	0.2
Magnésium	mg/l	50
Plomb	µg/l	10
Phosphore	mg/l	5
Nitrate	mg/l	50
Nitrite	mg/l	0.2
Bore	mg/l	1
Fer total	mg/l	0.3
Uranium	µg/l	3
Bromates	µg/l	10
Mercure	µg/l	6

I-3-4-2-Normes OMS

Le tableau I.6 présente les valeurs limites pour quelques éléments selon les normes OMS

Tableau I.6 : quelques valeurs limites dans les normes OMS des eaux potable

Elément	Unité de mesure	Valeur limite
Aluminium	mg/l	0.2
Magnésium	mg/l	50
Plomb	µg/l	10
Phosphore	Mg/l	2
Nitrate	mg/l	50
Nitrite	mg/l	0.50
Bore	mg/l	0.3
Fer total	mg/l	0.2
Uranium	µg /l	3
Bromates	µg/l	10
Mercure	µg/l	1

Conclusion

Avec l'augmentation de la demande en eau potable et de consommation aux cours des dix dernières années, et la diminution des réserves en eaux douces et souterraines, le dessalement des eaux de mers est devenu donc une solution urgente pour satisfaire l'alimentation de villes côtières surpeuplées.

CHAPITRE II:
LES PRINCIPALES TECHNIQUES DE
DESSALEMENT

CHAPITRE II: Les principales techniques de dessalement

Introduction:

Le dessalement ou autrement dit désalinisation consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une brute, qui peut être de l'eau de mer ou bien une eau saumâtre, pour obtenir une eau douce [21].

Pour faire dessaler l'eau, il existe plusieurs techniques, le choix de technique se fait selon la nature d'eau à dessaler, l'environnement et les besoins à pouvoir, le marché mondial de dessalement d'eau de mer comporte plusieurs procédés et techniques, le choix d'utilisation est relatif à la disponibilité d'énergie qui fait fonctionner l'appareillage de dessalement [22].

II-1- Généralités:

Une installation de dessalement comporte en général 4 postes de traitement (Figure II.1) quelque soit la méthode ou la technologie à utiliser

- Une prise d'eau de mer
- Un prétraitement.
- Le procédé de dessalement lui-même.
- Un post-traitement [23].

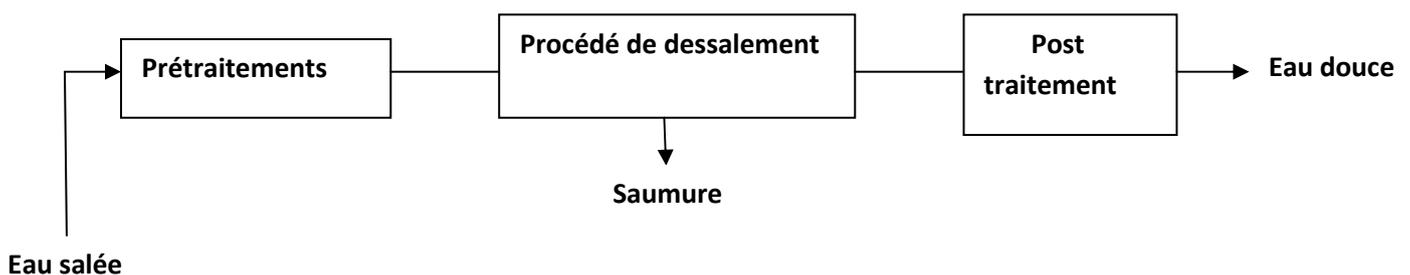


Figure II.1: schéma général d'une installation de dessalement [23].

Les technologies actuelles de dessalement sont classées en deux grandes catégories (Figure II. 2), selon le principe appliqué [24].

- Les procédés membranaires comme l'osmose inverse et l'électrodialyse.

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phase comme la congélation et la distillation.
- Il existe des autres techniques de dessalement mais ils sont généralement très compliquées et non commercialisés comme les procédés chimiques.

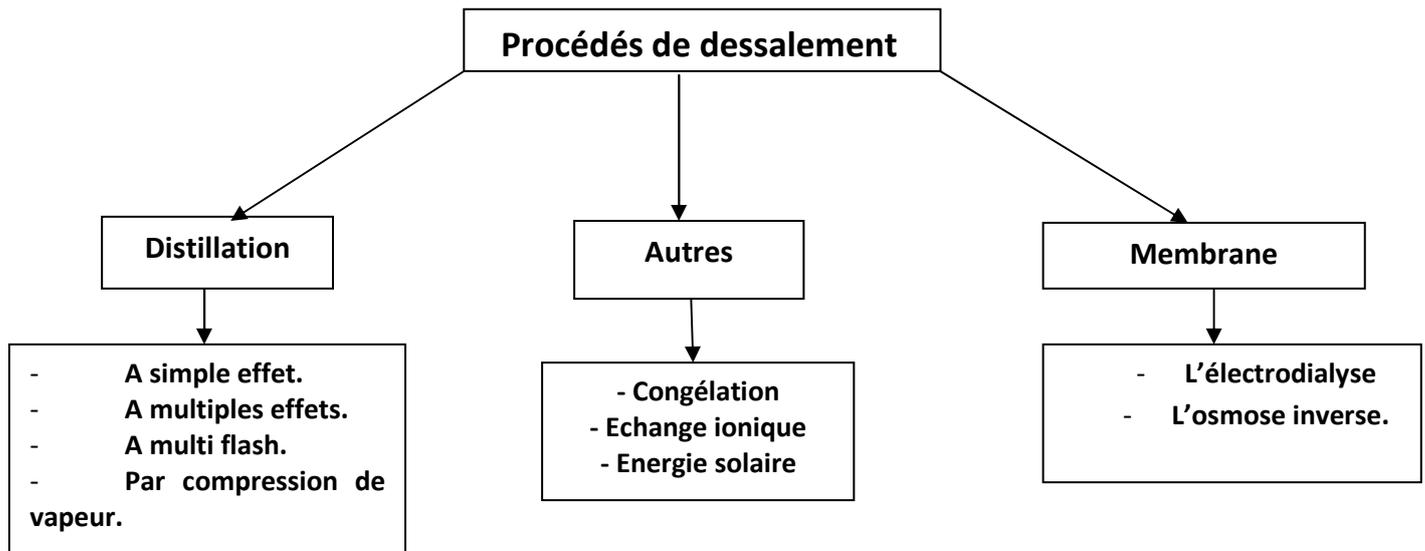


Figure II.2 : Classification des procédés de dessalement

II-2- les procédés par distillation

La distillation est la technique de dessalement de l'eau de mer la plus ancienne. Elle s'appuie sur les propriétés d'évaporation-condensation de l'eau : le chauffage de la solution à purifier permet la vaporisation de l'eau et sa récupération par condensation. Elle conduit à la production d'une eau déminéralisée (pérmeat) et une solution concentrée (saumure). Ce procédé thermique est un grand consommateur d'énergie. En effet, la vaporisation d'un volume d'eau salée exige une quantité de chaleur importante pour augmenter la température jusqu'à l'ébullition puis pour vaporiser l'eau.

L'optimisation de la consommation énergétique et du rendement, nécessaire pour assurer un intérêt économique à la distillation, a conduit aux techniques actuelles [25].

Les plus utilisées sont :

II-2-1- Distillation à simple effet :

C'est la forme la plus simple de distillation d'eau de mer. Son principe est simple, elle consiste à reproduire en milieu industriel le processus de dessalement naturel (Figure II.3). Dans une enceinte fermée un serpentin de réchauffage porte l'eau de mer à l'ébullition. La vapeur formée se condense sur un autre serpentin alimenté en eau de mer froide. L'évacuation des gaz incondensables est assurée par un éjecteur ou bien une pompe. L'eau condensée (perméat) et la saumure sont récupérés à l'aide des électropompes [26].

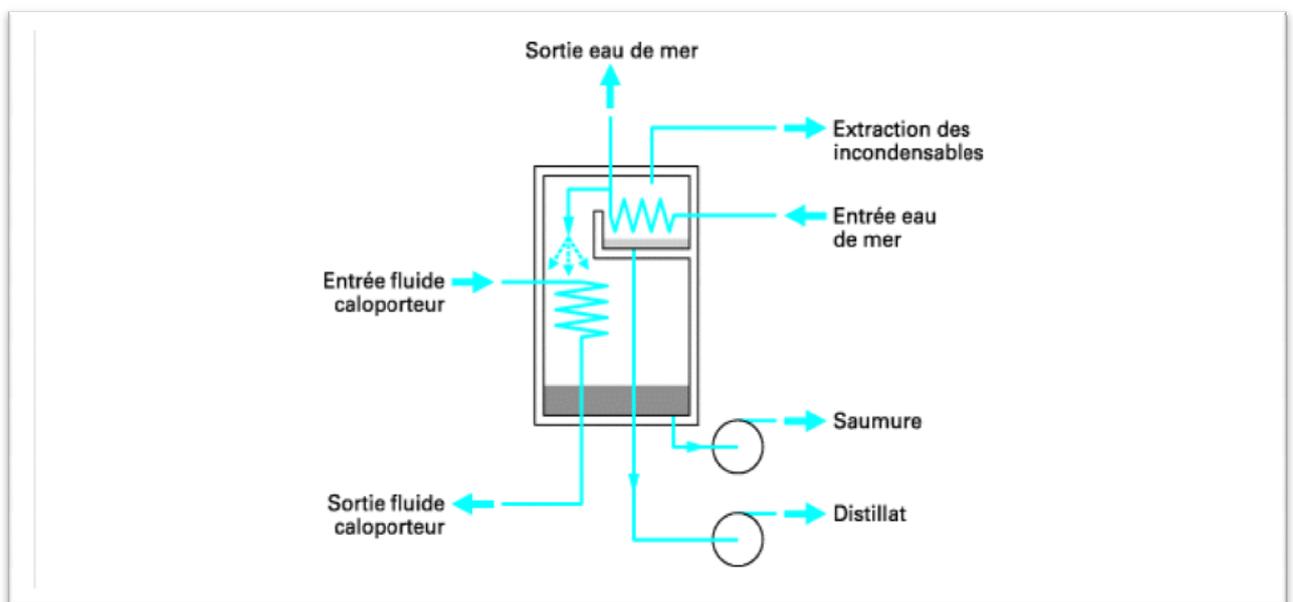


Figure II.3: Schéma de principe distillation a simple effet [26].

II-2-2- Distillation à multiples effets (MED)

A cause de la grande consommation énergétique de l'évaporateur à simple effet ce type de procédé est apparu. Distillation à multiples effets est une amélioration de procédé précédent. Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite.

Dans les évaporateurs à effet multiples, la vapeur provenant du premier évaporateur se condense dans le seconde, et la chaleur de sa condensation sert à faire bouillir l'eau salée dans celui-ci. Par conséquent, le second évaporateur agit comme un condenseur de la vapeur provenant de premier, et l'action de cette vapeur dans le second évaporateur est identique à celle de la vapeur de chauffage dans le premier. De même le troisième évaporateur agit comme condenseur pour le second, est ainsi de suite.

Ce principe est présenté dans la figure II.4. Chaque évaporateur d'une telle série correspond à un effet [27].

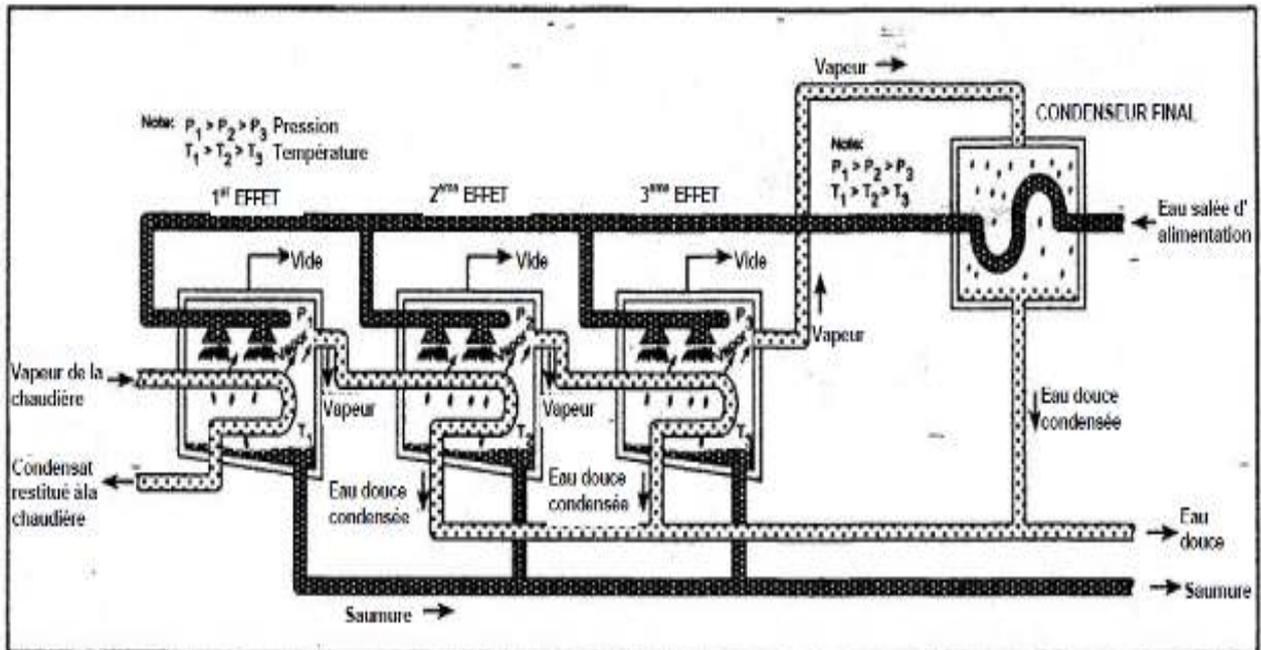


Figure II.4 : schéma de principe de distillation à multiples effet [27].

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière produisant le fluide de chauffage pour le premier effet. On peut cependant utiliser des chaleurs résiduelles en couplant le procédé MED à des usines de production d'électricité ou des usines rejetant produisant des eaux résiduelles à des températures de l'ordre de 80 °C. Il faut également de l'énergie électrique pour les pompes de circulation pour la production de vide [12].

II-2-3- Distillation par détentes successives (Multistage Flash, MSF)

Ce procédé dit Flash (Figure II.5) consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage, l'ors qu'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 instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes [8].

II-2-5-Avantages et Inconvénients des procédés par distillation :**Avantages**

- ✓ Technologie maîtrisée avec des centaines d'installations en fonctionnement dans le monde entier depuis plusieurs années et couronnées de succès.
- ✓ Nécessite un prétraitement minimal par rapport aux procédés membranaires
- ✓ Produit une eau très faible en TSD

Inconvénients :

- ✓ Récupération faible (rapport de distillat produit sur l'eau d'approvisionnement fournie) de 10 à 25 %.
- ✓ L'énergie thermique nécessaire est moins dépendante de la salinité de l'eau d'approvisionnement et donc économique pour le dessalement de l'eau saumâtre.
- ✓ Les besoins en produits chimiques pour la reminéralisation sont élevés par rapport aux procédés membranaires.
- ✓ Consommation d'énergie spécifique élevée par rapport aux procédés membranaires. N'est rentable que si de l'énergie thermique à faible coût ou gratuite est disponible [31].

II- 3- les procédés membranaires :**II-3-1- l'électrodialyse :**

Dans un système d'ED illustré la figure II.7, les membranes sont disposées l'une à côté de l'autre, formant des compartiments où un ou plusieurs liquides vont circuler.

Du point de vue électrique, une électrodialyse est composée de plusieurs compartiments alimentés, 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 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 sélectives sous l'effet d'un champ électrique.

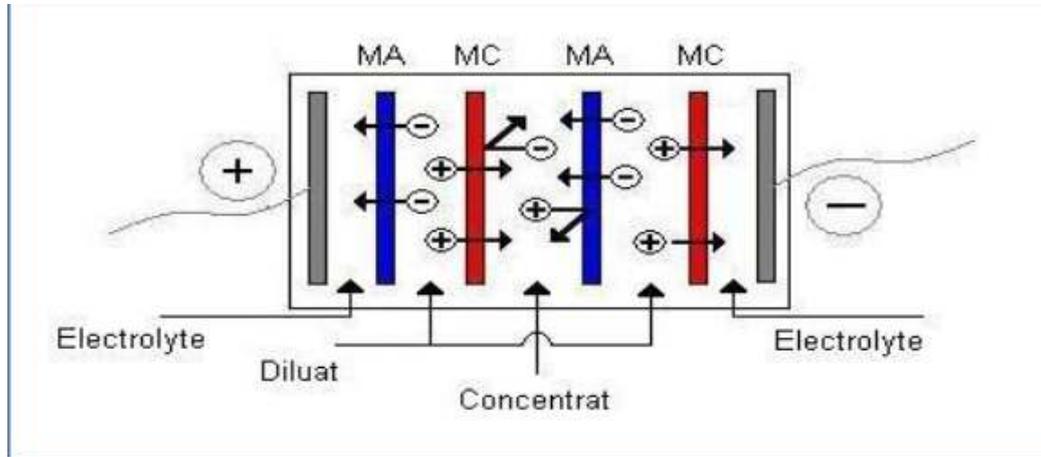


Figure II.7: Cellule élémentaire d'électrodialyse [32].

II-3-2- L'osmose inverse:

II-3-2-1- Définition :

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique : pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de

0,5 g.L⁻¹ [12].

II-3-2-2- principe:

Rappelons qu'on appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane sous l'action d'un gradient de concentration. Considérons un système à deux compartiments séparés par une membrane perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes figure II.8. Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée.

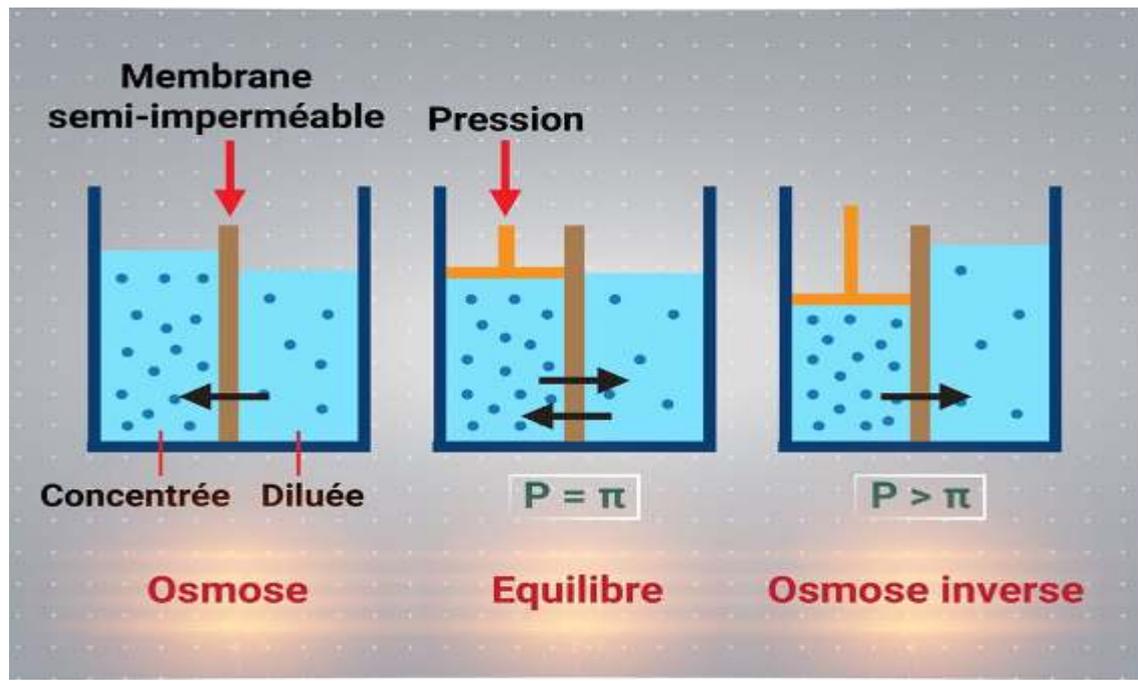


Figure II.8 : Principe de l'osmose inverse.

Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse qui a été découvert en 1950 par Reid à l'université de Floride (Etats-unis) dans le cadre d'études relatives au dessalement de l'eau de mer et qui s'est développé dans les années 1960 lorsque Loeb et Sourirajan ont réussi à obtenir des membranes asymétriques à perméabilité élevée à l'université de Californie (Etats-Unis) (membranes à base d'acétate de cellulose) [23].

II-3-2-3- Pression osmotique:

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Considérons un système de deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes figure 8. Le solvant (généralement l'eau) s'écoule à travers la membrane du compartiment de la solution moins concentrée vers le compartiment contenant la solution la plus concentrée,

c'est le phénomène d'osmose. Si on applique progressivement une pression sur le compartiment de la solution la plus concentrée, le flux d'eau qui traverse la membrane va diminuer, puis s'annuler quand la pression supérieure à la pression osmotique, l'eau va traverser la membrane dans le sens inverse du flux osmotique, c'est le phénomène d'osmose inverse. La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van't Hoff qui exprime que la pression osmotique exercée par un soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume (V) et à la même température (T). si le soluté est dissocié en i ions, la pression osmotique sera i fois supérieure.

La pression osmotique d'une solution est proportionnelle à la concentration en solutés :

$$\Pi = i.C.R.T \quad \dots\dots\dots \quad (\text{Equation 1.1})$$

Avec :

Π : Pression osmotique (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)

Pour une estimation approximative, la pression osmotique de l'eau de mer à 20°C peut être calculée en supposant que la concentration de NaCl représente la concentration totale des sels présents dans l'eau de mer. La pression osmotique pour une eau de mer de NaCl à 35 g.L^{-1} ($i=2$ et $C= 35/58,5 \text{ mol.l}^{-1}$) est $\Pi = 2*35/58,5*0.082*293= 28.7 \text{ bars}$ [13].

II-3-2-4- les membranes d'osmose inverse :

a) - les membranes:

Est appelée membrane tout matériau qui son sous la forme de parois minces à la propriété d'opposer une résistance sélective au transfert des différents constituants d'un fluide et donc de permettre la séparation de certains des éléments composants ce fluide.

La membrane est constituée d'une surface plane dont la perméabilité est sélective. Son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée.

b) - caractérisations des membranes :

La caractérisation d'une membrane revient à mesurer les paramètres suivants :

- La distribution des tailles des pores
- La perméabilité à l'eau
- La sélectivité de la membrane

c) - les modules des membranes d'OI :

Actuellement quatre type de modules sont commercialisés et les membranes les plus couramment utilisées pour le dessalement de l'eau de mer sont la membrane à fibre creuse et la membrane de type spirale.

➤ Modules spirales :

Les module de type spirales sont constitués d'une membrane plane et des espaceurs qui sont enroulés sur un tube destiné à recueillir le perméat, de manière à former des canaux permettant l'écoulement du perméat et de la solution figure II.9.

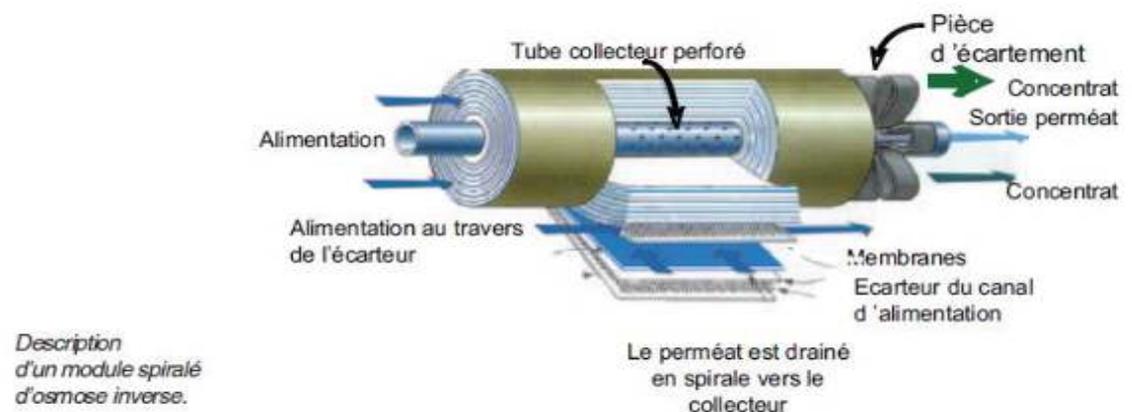


Figure II.9: module d'osmose inverse à enroulement spiral [29].

➤ Modules à fibre creuses :

Les modules à fibre creuses sont constitués de paquets de minuscules tubes capillaires poreux, les ions sont rejetés lorsque l'eau traverse les parois des tubes et le perméat est recueilli l'intérieur du canal centrale de fibres, les saumures se concentrent à l'extérieur des fibres contenues dans un réservoir.

➤ **Modules tubulaires :**

Ce type de module est constitué de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fixée la membrane semi-perméable. Le diamètre du tube est de 5 à 15 mm. En général l'eau de mer sous pression circule à l'intérieur du tube et l'eau douce produite est récupérée à l'extérieur du tube, le tube est soit poreux, soit perforé de trous permettre l'évacuation du pèrmeat (figure II.10).



Figure II.10: Module des membranes [29].

➤ **Modules plans :**

Ce type de module qui est le plus simple, est aussi le plus ancien. Il peut se présenter soit sous forme de plaques unitaires, soit sous forme de cartouches, un des paramètres importants est la distance entre membranes :

- Faible épaisseur : nécessite de pré-filtration et difficulté de nettoyage.
- Forte épaisseur : volume mort important et énergie de pompage élevée.

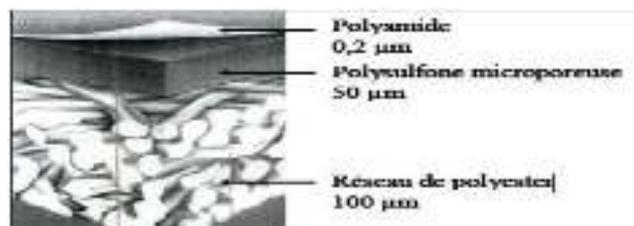


Figure II. 11: structure des membranes d'osmose inverse [8].

II-3-2-5- Élément constructif d'une unité d'osmose inverse:

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure II.12.

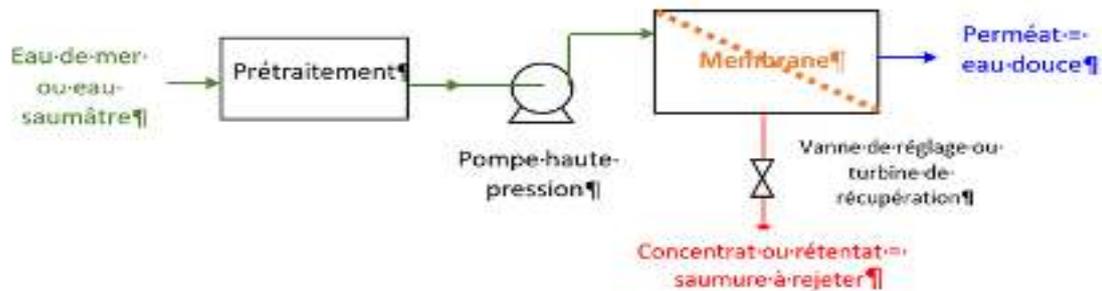


Figure II.12: Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits.

Il est nécessaire de retenir toutes les particules de dimension du 10 à 50 μm selon le type de module d'osmose inverse. Ceci est réalisé à l'aide d'une pré-filtration grossière puis d'une filtration sur sable pour éliminer les matières en suspension les plus grosses. Puis un traitement biocide et une acidification sont nécessaires pour éviter la précipitation de carbonates. Enfin une filtration sur cartouches permet de retenir les particules de taille de l'ordre de quelques dizaines de μm qui n'ont pas été retenues par filtre à sable. La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de mer dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes. De plus, un deuxième phénomène intervient lors de l'osmose inverse, il s'agit de la polarisation de concentration de la membrane. En effet, au cours du temps, la concentration de la solution salée augmente puisque la majorité des molécules sont retenues d'un seul côté de la membrane. De ce fait, la pression osmotique augmente également près de la couche limite, avec des risques de précipitation des composés à faible produit de solubilité. Pour un même rendement, la pression à appliquer est donc plus élevée. Pour éviter ce phénomène ou balayer la membrane du côté de la solution salée par un flux d'eau continu. Toute l'eau n'est pas filtrée, une partie sert à nettoyer la membrane. Ce procédé est donc semblable à une filtration tangentielle. L'eau non filtrée est appelée rétentat tandis que l'eau qui a traversé la membrane est appelée perméat. Afin de limiter la consommation d'énergie du procédé, on peut placer sur le circuit du rétentat une turbine qui permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans ce fluide sous haute pression.

II-3-2-6- Echangeurs de pression PX (systèmes à piston):

Dans les installations de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, la récupération d'énergie il se fait avec des échangeurs pression. L'échangeur PX transfère l'énergie de la pression de saumure en sortie rejet haute-pression des membranes vers l'eau de mer pré-filtrée avec un rendement de près de 97%. L'échangeur de pression est avant tout un mode d'économie d'énergie intelligent, fiable et simple. En effet, ce système de la sorte :

Ce système tournant à la vitesse de 1200 tours par minute, le temps de contact entre le liquide d'alimentation et le concentrât ne permet un mélange de ces deux dernières que minimal.

Un échangeur de pression (Figure II.13) comporte 04 conduites : 02 entrées (entrée du concentrât à haute pression, et entrée d'alimentation à faible pression) et 02 sorties (sortie alimentation à haute pression, et sortie concentrât à faible pression).

En pratique l'opération se fait en deux phases comme suit :

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

Ce cycle reproduit ainsi de façon continue afin de transmettre la pression du concentrât à l'alimentation figure II.14.

Le système énergétique dans ce cas, comprend une pompe haute pression HP, un ensemble d'échangeurs de pression associés à des distributeurs d'alimentation et de concentrât, une pompe de surpression (booster) qui compense les pertes de charge dans le circuit concentrât et dans les échangeurs, afin d'amener le liquide sortant de l'échangeur de pression à la même pression que celui refoulé par la pompe haute pression.

Il est à remarquer que ce système permet de réduire la taille de la pompe haute-pression, son débit étant égal à celui du perméat, tandis que le débit de la pompe de surpression est égale à celui du concentrât.

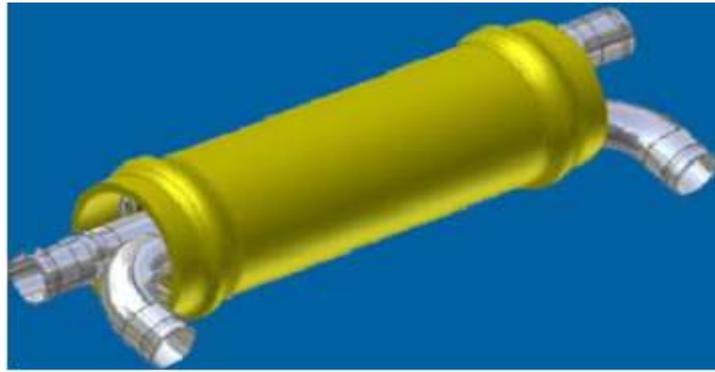


Figure II.13: Echangeurs de pression

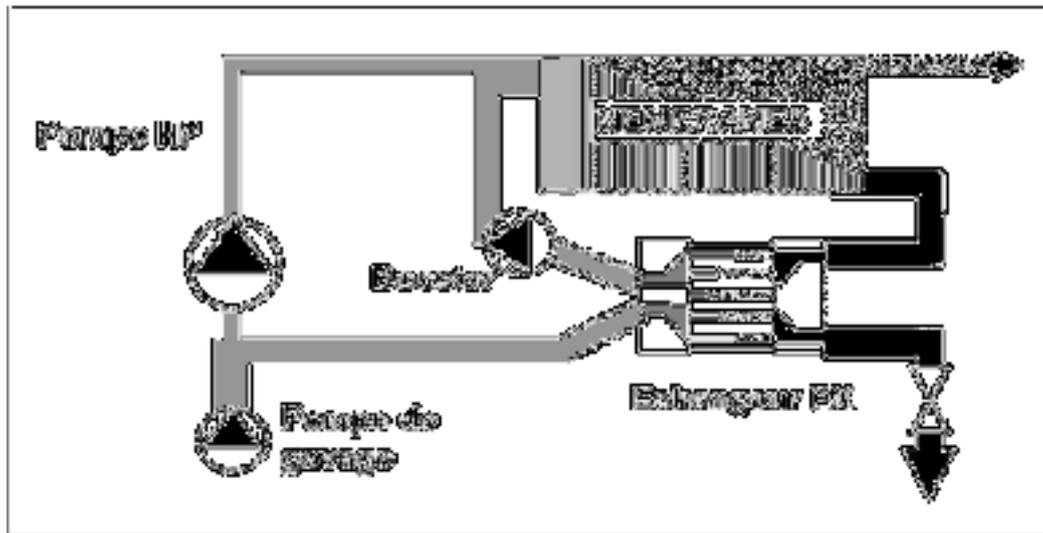


Figure II.14: Schéma d'un système à osmose inverse employant un échangeur de pression[33].

II-4- Autre procédés de dessalement

II-4-1- la congélation

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte des sels. Le dessalement par congélation nécessite 3 étapes importants :

- Congélation partielle de l'eau de mer
- Séparation des cristaux de glace pure avec la saumure.
- Fusion des cristaux de glace [8].

Avec le refroidissement de l'eau de mer jusqu'à (-2 °C), il y aura une formation de cristaux de glace qui sont constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation, si on fait baisser la température,

la production de glace augmente. aux environs de (-9°C), la surface de sodium deca-hydraté a tendance à participer pour produire de l'eau au-dessous de cette température [22].

II-4-2- Échange d'ions

Certaines résines, insolubles, ont la propriété d'échanger certains de leurs ions avec ceux de sels dissous dans la solution (eau de mer) avec laquelle on met ces résines en contact. On utilise les résines anioniques pour échanger les anions de la solution par des ions OH^- et les résines cationiques qui permettent de remplacer les cations (Na^+) par des ions H^+ . Ce procédé est plutôt utile pour déminéraliser l'eau de faible teneur en sel [34].

II-4-3- La distillation solaire

Les diverses variantes de distillation solaire cherchent à reproduire le cycle hydrologique naturel. Les rayons du soleil chauffent l'eau de mer et une partie de l'eau évaporée est condensée sur une surface froide, le condensat est récupéré comme eau potable figure II.15.

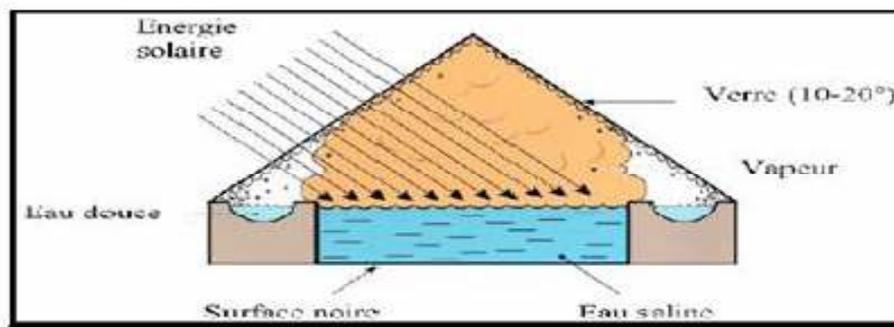


Figure II.15 Schéma de principe de distillation solaire [8].

II-5- Problème technique rencontrée en dessalement [23] :

Les principaux problèmes que l'on rencontre dans le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres sont des problèmes d'entartrage, des problèmes de corrosion et des problèmes de colmatage des surfaces d'échange (fouling).

Entartrage:

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. Compte tenu des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonate, sulfate) ces 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 (CaSO_4).

Corrosion :

L'agressivité marquée de l'eau de mer surtout aux températures élevées a plusieurs raisons :

- Composition chimique et en particulier teneur élevée en ions chlorures.
- Conductivité élevée et par suite facilité du développement des effets galvaniques.
- Corrosion résultant de l'oxygène dissous.
- Présence de bactéries, d'organismes marins divers et d'H₂S dans certains cas de pollution.

Colmatage ou fouling :

Les eaux naturelles (eau de mer ou eaux saumâtres) contiennent la plupart du temps des matières organiques en suspension qui vont avoir tendance à se déposer sur les surfaces d'échange et à les colmater. Il va en résulter une augmentation de la résistance de transfert et une diminution de la capacité de production de l'installation.

II -6- Le dessalement en Algérie :

Afin de remédier le stress hydrique enduré par l'Algérie lors des années 90 et de préserver par la même les eaux souterraines à long terme, le gouvernement algérien s'est engagé dans un important programme d'investissement dans le dessalement d'eau de mer dont les principaux objectifs :

- ✓ Répondre à la demande grandissante de la population en eau potable, ainsi qu'aux besoins en eau pour l'irrigation et l'industrie.
- ✓ Sécuriser le besoin des villes côtières en eau où se concentre 80% de la population du pays.

Depuis 2006, année de la mise en service de la première grande station de dessalement l'univers algérien en matière de disponibilité de l'eau potable est changé.

Actuellement avec une production journalière d'environ 1.34 million m³/ jours, le dessalement en Algérie arrive à satisfaire près de 17% des besoins de la population en eau potable. [35][36].

a) Les stations de dessalement en Algérie :

Les stations monoblocs :

En 2001 l'ADE a lancé un projet de réalisation d'une série de 21 petites unités dessalement totalisant une production de 57500 m³/j.

Tableau II.1: Les stations monoblocs de dessalement d'eau de mer en Algérie [37].

Site	Wilaya	Capacité optimale (m ³ /j)
Ain benian 1	ALGER	2500
Ain benian 2		2500
Ain benian 3		2500
ZERALDA 1	ALGER	2500
ZERALDA 2		2500
BATEAU CASSE 1		2500
BATEAU CASSE 2		2500
PALMA BEACH		2500
Cap caxine		2500
BOUSFER 1		ORAN
BOUSFER 2	3000	
LES DUNES	5000	
GHAZAOUATE 1	TELMCEN	2500
GHAZAOUATE 1		2500
SKIKDA 1	SKIKDA	2000
SKIKDA 3		5000
TIGZIRET	TIZI-OUZOU	2500
CORSO	BOUMRDES	5000
Bousmail	TIPASA	5000
	TOTAL	57250

Les grandes stations:

Actuellement en Algérie il ya 13 grandes stations de dessalement d'eau de mer en Algérie dont deux stations sont en arrêt depuis 2019 (souk tlata à Telmcen et Mactaa à Oran) d'une capacité de production total de 226 0000 m³/j.

Tableau II.2 : les grandes stations de dessalement d'eau de mer en Algérie [37].

STATION	WILAYA	CAPACITE (m ³ /j)
Kahrama Arzew	ORAN	90 000
El Hamma	ALGER	200 000
Skikda	SKIKDA	100 000
Beni-saf	AIN TEMOUCHENET	200 000
Mostaganem	MOSTAGHANEM	200 000
Daouda	ALGER	120 000
Cap Djinet	BOUMRDES	100 000
Mactaa	ORAN	500 000
Oued sebt	TIPAZA	100 000
Tenes	CHELEF	200 000
Echatt	TARF	50 0000
Souk tlata	TELMCEN	200 000
Honaine	TELMCEN	200 000
	TOTAL	2 260 000

II-7- Les impacts de dessalement d'eau de mer sur l'environnement

Vu le rythme auquel le nombre d'usines se multiplie, le dessalement de l'eau de mer risque un jour d'être plus un problème environnemental qu'une solution au manque d'eau dans les zones les plus arides de la terre.

II-7-1- Emission atmosphérique

Toute unité de dessalement doit être généralement accompagnée d'une unité de production d'énergie, cette dernière génère évidemment une grande quantité de gaz a effet de serre. Les

émissions des installations de distillations et les unités d'osmose inverse sont en générale l'oxygéné et l'azote.

II-7-2- Les rejets chimiques :

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour les prétraitement de l'eau d'alimentation, ainsi que le poste-traitement de l'eau produit

Les produits chimiques ne sont pas les mêmes pour les principaux procédés de dessalement (distillation et Osmose Inverse).

Dans les usines OI, le nettoyage des membranes peut engendrer des eaux potentiellement dangereuses. Habituellement les solutions alcalines ou des acides aqueuses sont utilisés pour le nettoyage des membranes.

Les rejets chimiques dans le milieu marin sont regroupé en:

a- Les produits de corrosion :

Les usines de dessalement à procédé thermique rejettent du cuivre, du nickel, du fer, du chrome, du zinc d'autres métaux lourds en fonction des alliages présents dans la filière de production. Les produits de la corrosion ne sont pas si importants dans le procédé OI puisque celui-ci se déroule à des températures ambiantes et que les parties métalliques du système sont surtout en acier inoxydable.

Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libre mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspension et déposent en s'accumulant dans les sédiments. Dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concertation effective du métal dans le rejet mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut pas atténuer les effets en diluant le rejet.

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

b- Les additifs antitartres :

les additifs antitartre les plus largement utilisés semblent être de l'acide maléique. Ces polymères empêchent les matières dissoutes de précipiter, décanter et former une croûte sur les surfaces et ils entravent la formation de cristaux en altérant la structure réticulaire,

permettant ainsi la formation d'une boue molle qui n'adhère pas ou ne se développe pas sur les surfaces métalliques.

Une action précoce contre l'entartage est obtenue avec l'adjonction de phosphates polymères. L'orthophosphate, produit de l'hydrolyse de polyphosphates est un macroélément nutritif qui stimule la productivité primaire. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer Méditerranée, le rejet d'un macroélément nutritif peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales ou des proliférations d'algues macroscopiques, etc..[27].

c- Agents antisalissure :

Depuis longtemps, les composés de chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer est l'usine située en amont, afin de prévenir les salisseurs Habituellement, on ajoute du chlore à raison de 2ppm. Un procédé bien conduit vise à obtenir une concentration de chlore nulle à l'émissaire. D'autres biocides comme les sels de cuivre ont été essayés avec un succès variable.

Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer.

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

d- Agents antimousses :

Les agents antimousse sont habituellement des polyglycils alkylés des acides gras et des esters d'acides gras. Les agents sont tensio-actifs à l'interface eau-vapeur et empêchent la formation de mousse. On ajoute habituellement ces produits à raison de 0.1ppm, mais on observe fréquemment un surdosage. La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques.

Les agents antimousse sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire inter cellulaire [27].

II-7-3- La saumure (le concentrât)

Le principal impact environnemental associé aux procédés de dessalement provient de la production de la saumure .Dans la plupart des cas ces saumures ne peuvent pas rester sur la terre en raison des problèmes qu'elles posent sur les eux souterraines et en raison d'autres

potentiels graves et impacts sur l'environnement. Une décharge normale pour ces saumures est la mer, mais une technologie appropriée est exigée afin d'assurer la dispersion appropriée des solutions concentrées et réduire au minimum ainsi leurs effets nuisibles sur l'environnement marin.

Les usines de dessalement rejettent en fait la même charge de constituants de l'eau de mer que celle qu'elles ont reçue, mais dans un volume d'eau moindre.

Avec le procédé MSF, un taux de récupération habituel sur la base de l'eau d'alimentation est 10 % et la salinité de la saumure concentrée est donc 1.1 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation. Par contre avec le procédé OI, le facteur de conversion varie de 330 à 70%. Dans ce cas la salinité du concentré est 1.3 à 1.7 fois plus élevée que celle de l'eau d'alimentation.

La concentration élevée de salinité provoque :

- Une augmentation de la turbidité de l'eau. Ce genre de pollution est probable à empêcher la pénétration de la lumière, et perturbe le processus de photosynthèse.
- une augmentation de la salinité du milieu du plancton qui peut réduire leur production jusqu'à leur extinction.

La température élevée d'effluent a une influence importante sur les propriétés physique de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité. La solubilité d'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, cette température de l'eau accélère la respiration des bactéries et peut promouvoir l'anoxie ou l'hypoxie contribuant à l'élimination de la vie aquatique, en particulier durant l'été [12][27].

II-7-4- Impact de bruit

Les usines de dessalement d'eau de mer sont usines bruyantes. En particulier les particulier les celles qui utilisent l'osmose inverse. Ce bruit est produit en général par les pompes à haute pression et les turbines de récupération d'énergie. Le niveau de bruit parfois dépasse 90 DB. L'usine devrait être située loin des zones peuplés et équipée de technologie de réduction de bruit [12].

II-7-5- Impact sur le paysage

Les usines de dessalement sont situées dans des zones côtières, ils occupent des grandes surfaces, par exemple les zones exigées par les usines d'osmose inverse est environ 10 000 m² pour une production de 5000 à 10000 m³ par jour. Il ya donc un effet nuisible sur le paysage et sur la vue et la nature touristique. le tableau suivant résume les impacts néfastes des procédés de dessalement sur l'environnement et quelques techniques d'atténuation

Tableau II.3 : les impacts de dessalement d'eau de mer sur l'environnement

Impact	Origine de l'impact	Techniques d'atténuation
Pollution thermique -Réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices. -Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes.	Saumure chaude	-Mélange de la saumure avec de l'eau froide avant le rejet.
Salinité accrue -Effets nocifs pour les espèces résistantes aux sels.	Saumure concentrée	-Dilution de la saumure avant rejet. -Récupération de sels. -Bon choix de l'emplacement pour l'émissaire afin de permettre le maximum de brassage et de dispersion.
Désinfectants	-Chlore et ses composés. -Réaction du chlore avec des composés organiques.	-Utilisation d'autres désinfectants. -Mesures de protection contre les polluants au prélèvement de l'usine.
Métaux lourds - toxicité	Corrosion du matériel de l'usine.	-Conception et choix judicieux du matériel de l'usine en recourant à des matériaux résistants à la corrosion.
Produits chimiques : - Eutrophisation des eaux réceptrices - Toxicité - Hausse du pH	Adjonction d'agents anticorrosion et antitartre.	-Réduction au minimum de l'utilisation de produits chimiques. -Utilisation d'additifs sans danger pour l'environnement
Pollution atmosphérique -Plus acides -Effet de serre -Poussières	Utilisation de combustibles et activités d'élimination	-Utilisation d'énergies propres et renouvelables autant que possible. Application de systèmes mixtes et de production couplée. Purification des gaz avant émission dans l'atmosphère.
Sédiments -Turbidité et limitation de la photosynthèse -Difficultés de respiration chez les animaux aquatiques	Perturbation des sables par des activités d'excavation et de dragage	-Réduction au minimum et contrôle des activités d'excavation et remblayage. -Bonne maîtrise du ruissellement dans la zone du site.
Bruit	-Activités de construction. -Pompes et autres appareils au cours de l'exploitation de l'usine.	-Limitation des activités de construction aux seuls horaires de travail. -Choix du matériel le moins Bruyant

CHAPITRE III

Les différentes techniques utilisées dans la station

CHAPITRE III: Les différentes techniques utilisées dans la station

INTRODUCTION

Les installations de dessalement par osmose inverse se sont développées de la fin des années 90, avec des capacités de production de plusieurs dizaines de m^3/j , aboutissant à des débits pouvant atteindre $500000 m^3/j$.

Durant ces dernières années les techniques ont évolué, ainsi que les types de contrat. Dans cette partie nous présentons une application du procédé d'osmose inverse dans la station de dessalement d'eau de mer Cap Djinet située dans la Wilaya de Boumerdes.

Des données générales et des fiches techniques nous ont été procurées par les responsables de la station, et des photos numériques ont été prises pour mieux illustrer les composants de cette usine.

III-1- Présentation de la station de dessalement Cap Djinet :

La mise en service finale de la station de dessalement Cap Djinet était en Aout 2012 dont la capacité de production est de $100\ 000 m^3/j$ par la technique d'osmose inverse, assurant l'approvisionnement en eau potable de plusieurs communes (Alger, Borj-menail, Zemmouri, Dellys, Afir, Tigzirt, Azefoun) ainsi que les agglomérations urbaines de Boumerdes, soit une population d'environ 400.000 habitants.

L'investissement d'un montant de 133 millions de dollars a été fait par l'entreprise Sonatrach et Sonelgaz avec 49%. Et deux entreprises espagnoles, INIMA et Aqualia qui détiennent chacune 25,50% de cet investissement. (fiche de la station Cap Djinet)

III-1.2 Situation géographique :

A 45 km l'est de la capitale (Alger), la wilaya de Boumerdes a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement d'eau de mer (figure III.1), dans la région de « Cap Djinet ».

Djinet est une petite ville côtière algérienne, située dans le littoral de la daïra de Bordj Menaiel, entourée par Sidi Daoud et Lagata. Elle est située à 15 Km au Nord-est de Bordj-Menaiel .



Figure III.1: station de dessalement cap Djinet

III-3 Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Cap-Djinet:

Le processus du dessalement d'eau de mer comporte quatre étapes principales :

- La captation de l'eau de mer
- Le prétraitement
- L'osmose inverse
- Le post-traitement

Le principe de fonctionnement de la station est présenté dans le figure III.2.

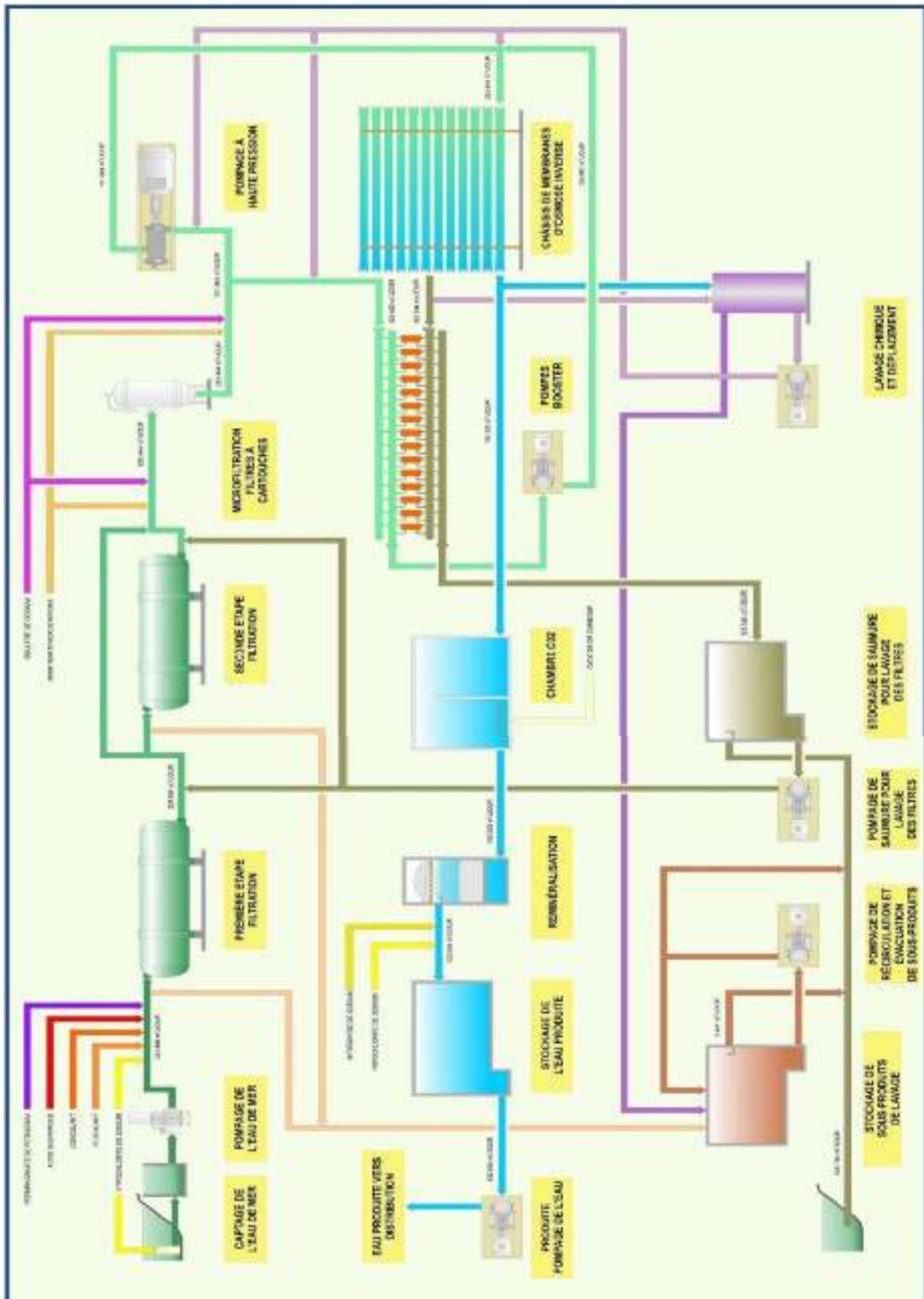


Figure III.2: Schéma de fonctionnement de la station de dessalement

III-1.3.1 Captage de l'eau de mer:

La première opération s'effectue au niveau de « la tour de captage de l'eau de mer » à partir d'un émissaire de captage dont le diamètre nominal est de 1800 mm, placé à une profondeur de 20 m sur une longueur de 1,8 Km, l'écoulement vers le réservoir d'eau de mer est gravitaire.

Cette eau est ensuite pompée par le biais de 05 pompes centrifuges horizontales dont une de réserve (veille), au débit de 222 000 m³/j (figure III.3). Le tableau ci-dessous (tableau III-1) présente les caractéristiques de ces 05 pompes :

Tableau III.1 : caractéristiques des pompes de captage d'eau de mer

Condition d'opération	
Débit	2380 m ³ /h
NPSH disponible	6,6 m
Hauteur manométrique (de conception)	45 - 72 m
Fluide à pomper	Eau de mer
Densité	1030 Kg/m ³
Température	Ambiante
Viscosité	1 cp
Fonctionnement	
Puissance	346 - 566 KW
Vitesse	976 – 1185 Rpm
Rendement	87 – 86 %
NPSH requis	4 m



Figure III.3: station de pompage de l'eau de mer

III-1.3.2 Prétraitement:

C'est la deuxième étape du processus de dessalement (figure III.4) dont le but est d'éliminer:

- Les solides en suspension
- Les matières organiques
- Les micro-organismes

Elle est aussi nécessaire pour éviter la détérioration des pompes, l'incrustation, l'encrassement et la dégradation des membranes d'osmose inverse par les micro-organismes. Cette étape comporte deux types de prétraitement :

1. Prétraitement chimique:

Cette opération s'effectue au niveau de la tour de captage de l'eau de mer ou après refoulement des pompes à eau de mer ainsi qu'à la sortie des filtres. Elle consiste à l'injection d'hypochlorite de sodium (NaOCl), acide sulfurique (H_2SO_4), chlorure ferrique ($FeCl_3$), poly-électrolytes, permanganate de potassium ($KMnO_4$), bisulfite de sodium ($NaHCO_3$) et d'inhibiteur d'incrustations.

a. Traitement par hypochlorite de sodium (eau de javel) :

Cette étape se fait grâce à deux tanks (réservoirs) de NaOCl d'une capacité de 50 m^3 chacun et une dose maximale de 4 ppm, munis de 3(2+1) pompes doseuses ($Q_u=150\text{ l/h}$) destinées à injecter l'hypochlorite de sodium au niveau de la tour de captage d'eau de mer et après la station de pompage. L'injection d'hypochlorite de sodium est dans le but de :

- Désinfecter et stériliser l'eau afin de limiter le colmatage biologique ;
- Stopper la prolifération des organismes vivants dans l'eau de mer.

b. Traitement par permanganate de potassium ($KMnO_4$) :

Deux autres tanks de dilution avec vannes mélangeuses de $KMnO_4$ d'une capacité de 5 m^3 chacun, munis de 3(2+1) pompes doseuses ($Q_u=200\text{ l/h}$) qui sont utilisées pour injecter le $KMnO_4$ avec une dose maximale de 1 mg/l au niveau du système de pompage de l'eau de mer. Cette injection a pour but d'oxyder la matière organique.

c. Traitement par acide sulfurique (H_2SO_4):

L'injection d'acide sulfurique avec une dose maximale de 25 ppm au niveau du système de pompage de l'eau de mer, de même que les autres agents chimiques à partir d'un seules tank

d'une capacité de 60 m^3 , muni de $4(2+1+1)$ pompes doseuses ($Q_u=70 \text{ l/h}$) et une pompe de transfert ($Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$). Cet acide joue le rôle d'un catalyseur dans la coagulation/floculation.

d. Traitement par coagulant et floculant:

Consiste à injecter dans le système de pompage de l'eau de mer un coagulant (chlorure ferrique (FeCl_3)) à partir d'un tank de 50 m^3 de capacité avec une dose maximale de 9 mg/l , muni de $2(1+1)$ pompes doseuses ($Q_u=160 \text{ l/h}$) et une pompe de transfert ($Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$), ainsi qu'un floculant (poly-électrolytes) d'une dose maximale de 1 mg/l à partir de $2(1+1)$ tanks de dilution avec vannes mélangeuses d'une capacité de 2.5 m^3 chacun, munis de $3(2+1)$ pompes doseuses ($Q_u=200 \text{ l/h}$). Cette injection a pour but d'éliminer ou réduire au maximum la présence des matières colloïdales, et éviter l'entartrage des membranes en empêchant la précipitation du carbonate de calcium.

e. traitement par bisulfite de sodium (NaHSO_3) :

L'utilisation du bisulfite de sodium permet d'éliminer le chlore résiduel contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'osmose inverse, évitant leur détérioration par oxydation. L'addition de la solution de NaHSO_3 s'effectue avec une dose maximale de 8 ppm à l'aide d'un ensemble de pompes $(2+1)$ dont $Q_u=200 \text{ l/h}$ avant et après la microfiltration (filtration à cartouche) pour donner un maximum de temps de contact possible. L'objectif est d'éliminer les matières biologiques d'une façon indirecte, en réduisant l'oxygène dissous nécessaire à leur respiration, on empêche leur développement.

f. Traitement par inhibiteur d'incrustations:

Pour la protection des membranes en évitant la précipitation du sel, on procède par injection avant et après la microfiltration d'inhibiteur d'incrustation à base de phosphonate avec une dose maximale de 3 ppm , à l'aide de $3(2+1)$ pompes doseuses dont le débit unitaire est de l'ordre de 155 l/h .



Figure III.4: étape de prétraitement chimique.

2. Prétraitement physique :

C'est un traitement destiné à éliminer fondamentalement les éléments solides, les algues et la matière organique, par le passage de l'eau de mer à travers des filtres à sable et anthracite et à travers des filtres à cartouches. Le mouvement de l'eau dans ces filtres est vertical, pénétrant par la partie supérieure du filtre et descendant à travers les couches filtrantes qui retiennent les matières solides dans sa partie inférieure. Des collecteurs munis de buses recueillent l'eau filtrée.

a. Filtration à sable et anthracite :

Ce système illustré dans la figure ci-dessous (figure III.5) élimine la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer, il est réparti en deux phases :

- ✓ La première phase: constituée de 12 filtres horizontale à sable et anthracite avec un diamètre $D= 4\text{m}$ et une longueur $L= 24 \text{ m}$
- ✓ La deuxième phase : constituée de 8 filtres horizontale à sable avec $D = 4 \text{ m}$ et $L= 24 \text{ m}$.

Les deux types de filtres sont soumis à un système de lavage, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de nettoyer les filtres. Ce dernier s'effectue à contre-courant comme suit :

- ✓ Isoler le filtre à nettoyer en ferment toutes les vannes
- ✓ Baisser le niveau d'eau jusqu'au sable
- ✓ Barboter avec de l'air en utilisant des compresseurs
- ✓ Faire un lavage à contre-courant à l'aide des pompes centrifuges en refoulant de la saumure
- ✓ Faire une vidange des filtres vers un réservoir de stockage de sous-produits de lavage.



Figure III.5: Filtres à sable anthracite.

b. filtration à cartouche :

C'est une microfiltration assurée par des cartouches en polypropylène à membrane de 25 microns et d'un diamètre de 61 mm, dans des réservoirs métalliques en position verticale qu'on appelle « filtre à cartouche », le nombre de ses derniers est de 9 filtres comportant 360 cartouches chacun (figure III.6). Son rôle est l'élimination des microorganismes pour la protection des membranes, entre le collecteur d'entrée et de sortie, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes. La période de remplacement varie de 3 à 6 mois .



Figure III.6 : Filtres à cartouches

III-1.3.3 Procédé osmose inverse :

L'eau pré-filtrée arrive au système de pompage de haute pression puis envoyée vers les membranes d'osmose inverse.

a- Pompe à haute pression :

Avant d'entrée dans les membranes d'OI, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars (figure III.7) .

Les pompes se trouvant dans notre cas sont en nombre de 5 dont 4 sont fonctionnelles et une de secours, en fournissant une pression totale de l'ordre de 60 bars.



Figure III.7: pompe à haute pression.

Les caractéristiques de la pompe HP sont présentées dans le tableau (III-2) suivant :

Tableau III.2: Caractéristiques des pompes à haute pression

Condition d'opération	
Débit	1055 m ³ /h
NPSH disponible	35 m
Hauteur manométrique (de conception)	60,5 m
Fluide à pomper	Eau de mer microfiltrée
Densité	1030 Kg/m ³
Température	Ambiante
Viscosité	1 cp
Fonctionnement	
Puissance	2101 KW
Vitesse	2990Rpm
Rendement	>85%
NPSH requis	17,5 m

b- Systèmes de membranes d'osmose inverse :

L'installation se compose de quatre unités, chaque unité est répartie en deux châssis. Chacun de ses derniers comporte 152 tubes de pressions avec une pression de 60 bars (figure III.8). Les tubes de pression sont disposés pour avoir un taux de conversion de 45%, dans chaque tube

sont placées 7 membranes spirales (SW 30 HRLE-400i) en polyamide aromatique avec un diamètre de 200 mm.



Figure III.8: Tubes de pression.

III-1.3.4 Récupération d'énergie:

a- Présentation du système :

Le rapport entre le débit du perméat et le débit d'alimentation donne le facteur de conversion ($Y=45\%$), on déduit donc que 55% de l'eau de mer rejetée représente le concentrât qui possède énergie hydraulique très importante qu'il convient de récupérer afin de réduire la consommation en énergie électrique.

Un nouveau concept de récupération fait ses preuves sur les installations de dessalement par osmose inverse et permet de récupérer 95% de l'énergie du rejet de la saumure, c'est le système d'échangeur de pression PX (pressure Exchanger) de la compagnie américaine **ERI**. Le principe de base est de transmettre la pression de la saumure à la même quantité d'eau de mer nouvelle entrant dans le circuit (figure III.9) et ainsi de réduire la taille de la pompe haute pression à un débit correspondant non plus au débit d'eau de mer ($2000 \text{ m}^3/\text{j}$ dans notre cas) nécessaire au bon fonctionnement des membranes, entraînant ainsi un gain important de puissance.

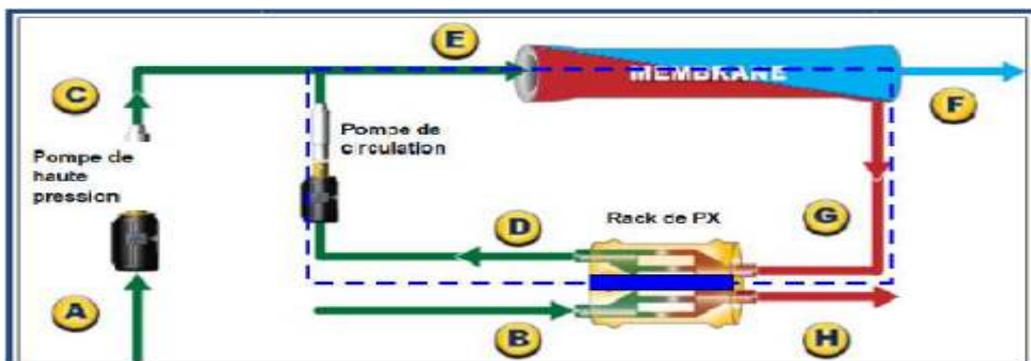


Figure III.9 : installation avec échangeur de pression PX

Le rejet des membranes est dirigé vers le PX, qui transfère la pression du rejet à l'eau de mer, et la renvoie vers les membranes. Le PX fournit donc en eau prétraitée, l'énergie du concentrât qu'il reçoit. Chaque châssis de membranes d'osmose inverse possède un système de récupération d'énergie avec 15 modules échangeurs de pression placés entre une conduite d'eau de mer en haute et une conduite de concentrât en bas (figure III.10).

La station de pompage fournit à l'installation de la même quantité d'eau de mer ($9250\text{m}^3/\text{h}$) à 4 bars, mais seulement $4233.3\text{m}^3/\text{h}$ sont dirigés vers une pompe HP.

Le complément de $5016,7\text{m}^3/\text{h}$ est envoyé vers l'échangeur de pression PX qui transmet la pression de 58 bars, des $5087,5\text{m}^3/\text{h}$ de saumure à cette nouvelle eau de mer.

L'eau de mer montée à 57 bars de l'échangeur, récupère sur un booster en ligne les 3 bars qui lui manque pour rejoindre l'eau de mer sortant de la pompe haute pression et c'est bien un débit de $9250\text{m}^3/\text{h}$ à 60 bars qui entre dans le module d'osmose inverse.

La production est donc identique à savoir $4162,5\text{m}^3/\text{h}$ d'eau douce. La différence de $5087,5\text{m}^3/\text{h}$ revient vers l'échangeur pour fournir l'énergie à l'eau de mer. Cette dernière, après avoir cédé sa pression sort de l'échangeur vers le rejet à pression atmosphérique.



Figure III.10 : emplacement des échangeurs de pression.

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

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

La zone étanche sur les couvercles se comporte tels des vannes (figure III.11). Dans le PX, au lieu que les vannes s'ouvrent et se ferment, les vannes sont fixes et se sont les tuyaux qui se déplacent.

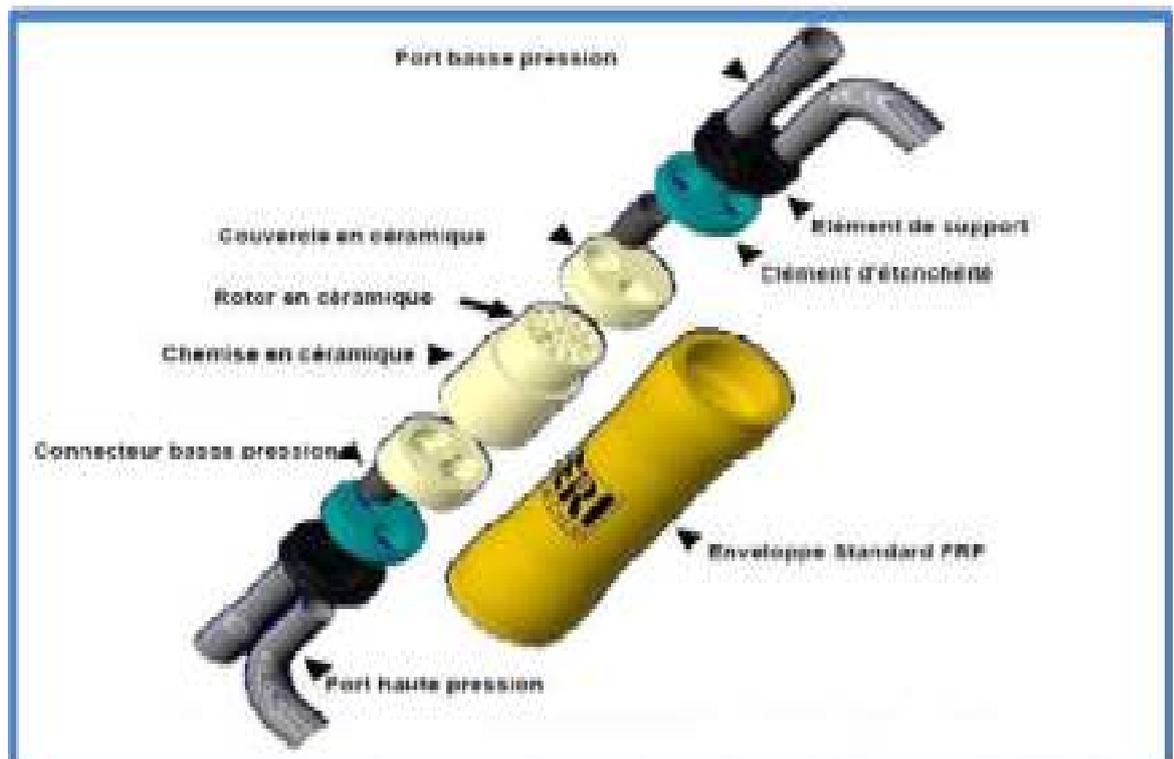
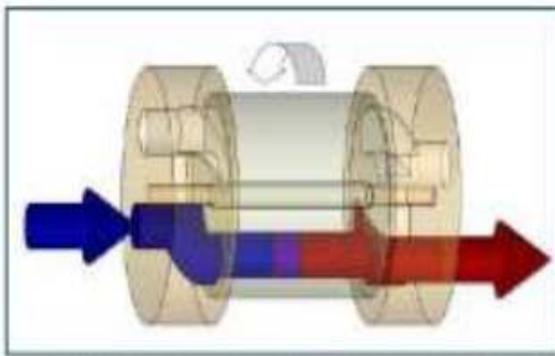


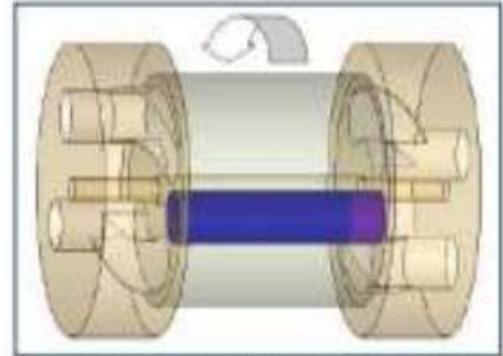
Figure III.11: constitution d'un système PX.

b- Principe de fonctionnement du système :

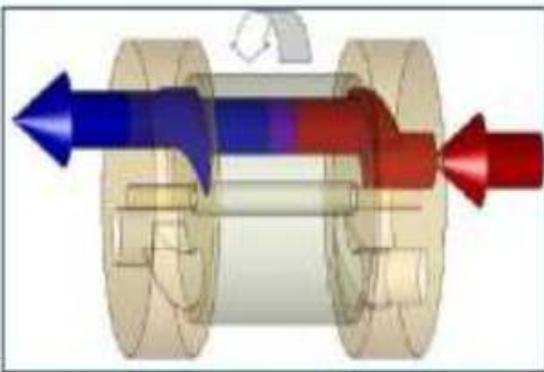
La figure ci-dessous (figure III.12) présente le principe de fonctionnement du système PX:



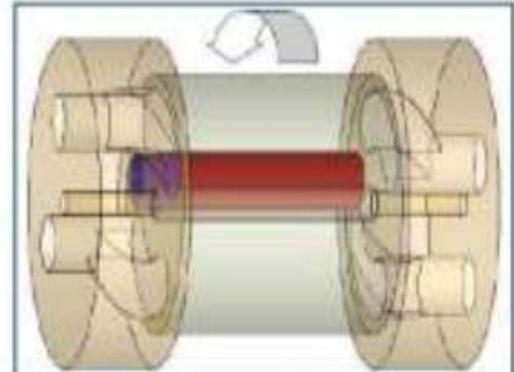
1- Eau à basse pression remplit les chambres
Du rotor est entraine le déplacement de la
Saumure



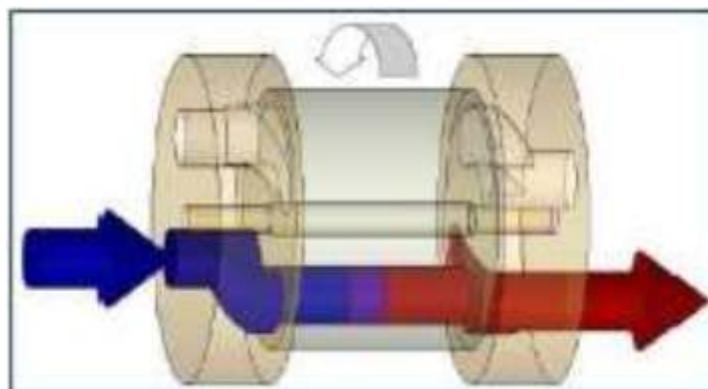
2- la chambre du rotor contenant l'eau
d'alimentation à basse pression, est
isolée .



2- la saumure à haute pression, pressurise l'eau
d'alimentation, entrainant ainsi son déplacement
vers l'entrée des membranes.



4- la chambre du rotor contenant la
saumure à haute pression
est isolée.



5- l'eau à basse pression remplit les chambres du
Rotor entraine ainsi le déplacement de la saumure.

Figure III.12: Principe de fonctionnement du système PX

c- Pompes BOOSTER :

Chaque unité d'osmose inverse contient une pompe HP, deux châssis de membranes d'osmose inverse et deux pompes BOOSTER qui sont reliées à la pompe HP par le même axe de rotation (figure III.13). La pompe BOOSTER sert uniquement à compenser les pertes de charges provoquées par les membranes et les PX. Le concentrât actionne la pompe BOOSTER pour aider la pompe à haute pression.



Figure III.13 : Pompes BOOSTER.

III-1-3-5- Poste de nettoyage chimique:**a- Lavage des membranes :**

Périodiquement les membranes doivent être nettoyées pour les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à diminuer les performances qualitatives du système. Cette élimination est obtenue en faisant recirculer des solutions chimiques acides pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques et des solutions basiques pour les dépôts biologiques et bactériens.

L'injection de la solution de lavage dans l'eau de mer se fait dans trois points différents, avant :

- la pompe à haute pression
- le système de récupération d'énergie
- le châssis de membranes d'osmose inverse

L'efficacité relative d'une membrane est un paramètre qui sert d'indicateur pour guider le cycle de nettoyage. Il faut déclencher un cycle de nettoyage le plus tôt possible à chaque chute de débit de production normalisé et à chaque augmentation de la différence de pression normalisée de façon à limiter l'activité microbienne. Les fabricants des membranes suggèrent qu'un nettoyage soit fait lorsqu'une diminution du débit de filtrat de 10 à 15 % est observée le comportement de la solution pendant le nettoyage.

b- Conditions limites de nettoyage :

- La température maximale et le PH recommandés par les fabricants des membranes doivent être respectés lors du rinçage au filtrat et des lavages chimiques.
- N'utiliser que des solutions compatibles avec les membranes.
- Utiliser un temps adéquat de nettoyage pour éviter le contact prolongé des produits chimiques avec les membranes.
- Respecter le débit et la pression nécessaires pour faire un nettoyage.
- Les modules sont installés en série. Le rinçage et le lavage chimique doivent être réalisés de façon indépendante afin de maximiser l'efficacité de la solution de lavage et d'éviter que les agents colmatants retirés du premier module se retrouvent dans les modules subséquents.

Lorsqu'un appareil est arrêté pour une période de plus 24 heures ou une panne dans le système, le châssis de membranes d'osmose inverse est alimenté avec le concentrât et des agents chimiques afin d'éliminer les microorganismes qui s'y trouvent. Lorsque la membrane est remise en fonctionnement, la procédure à suivre doit comprendre la vidange de la solution et un rinçage court.

c- Procédure de nettoyage des membranes :

- Nettoyer le circuit nettoyage (bâche, filtre...)
- Faire dissoudre les produits de nettoyage en agitant le mélange.
- Au cours de nettoyage, suivre le comportement de la solution et essayer de corriger les paramètres.
- Entre chaque nettoyage acide ou basique, rincer convenablement le circuit de nettoyage, et les membranes avec de l'eau osmose jusqu'à atteindre son PH.
- Après chaque nettoyage il faut bien rincer les membranes avant de les mettre sous production.
- Au moment de la production il est préférable de jeter la première production au rejet.

III-1-3-6- Rejet de saumure et produits chimiques :

La saumure est récupérée dans un réservoir (figure III.14) et ensuite utilisée pour lavage des filtres à sable à contre-courant, puis acheminée vers un deuxième réservoir ou elle sera évacuée

par un émissaire marin pénétrant jusqu'à 1200 m dans la mer dans le but d'assurer une meilleure dilution et d'éviter les conséquences indésirables sur l'environnement.



Figure III.14: Bâtiment de la saumure.

III-1-3-7- Post-traitement:

L'eau issue du traitement de l'osmose inverse est débarrassée de tous les minéraux, c'est-à-dire non consommable, une reminéralisation est nécessaire pour rendre cette eau potable.

a- Injection de CO₂ :

L'injection automatique avec une dose de 23 ppm de CO₂ pour réduire le pH à une valeur proche de 5 qui permet et rendre plus efficace le processus de reminéralisation. Ce dernier est réalisé dans la chambre CO₂.

b- Reminéralisations:

L'eau est ensuite acheminée vers la tour de reminéralisation qui comporte à l'intérieur 32 lits de calcite (carbonate de calcium) de 2 m de hauteur (figure III.15), équipés par des tuyaux de distribution. A travers ces lits de calcite l'eau traitée passe et s'enrichit du carbonate de calcium qui se dissout dans l'eau pour atteindre le fond (réservoir) par un canal à l'intérieur de la tour.



Figure III.15: Lits de calcite.

Après et à l'aide d'un doseur automatique, il y aura un ajout d'hypochlorite de sodium (15 l/h) à partir d'un tank (citerne) de capacité de 20 000 L .

c- Pompage de l'eau produit :

A l'aide des pompes l'eau traitée est pompée vers le réservoir des stockage afin la distribuer par L'ADE.

La station de pompage de l'eau produite comporte 3 pompes de type centrifuge horizontale, de marque FLOWSERVE et modèle 14LPH34, dont deux sont en marche et une de réserve. Les conditions opérationnelles et le fonctionnement de ces pompes sont représentés dans le tableau ci-dessous (tableau III.3).

Tableau III.3: Caractéristiques des pompes d'eau produite.

Conditions opérationnelles	
Débit de conception	2 300 m ³ /h
Hauteur de liquide disponible	12 m
Hauteur manométrique	204 m.c.l
Fluide a pompé	Eau reminéralisée
Température	Ambiante
Densité	1000 Kg / m ³
Viscosité	1 cp
Fonctionnement	
Puissance (Débit nominal)	1 542 KW
Vitesse	1 485 rpm
Rendement	84%
NPSH requis	6,6 m

III-2- Matériels et méthodes:

Nous avons effectué des prélèvements pendant 14 jours (du 09 mai 2021 au 23 mai 2021), pour but des analyses physico-chimique et organoleptiques. Un prélèvement par jour au niveau des trois points, dans la station :

- A l'entrée d'eau de mer (tour de captage).
- A la sortie d'eau produit.
- A la sortie de rejeté (saumure).

Cette étude est réalisée au niveau de laboratoire de contrôle de qualité de la station de dessalement d'eau de mer Cap-Djinet.

III-2-1- Prélèvement et échantillonnage

III-2-1-1- Sites de prélèvements

La station est dotée de plusieurs sites de prélèvements, généralement en amont et en aval de chaque étape de traitement. Notre étude consiste à faire des prélèvements dans trois sites, au niveau du réservoir d'eau de mer, au niveau du réservoir de saumure et le réservoir d'eau produit.(figure III.16)



Figure III.16: a) site de prélèvement d'eau produit, b) site de prélèvement d'eau de mer, c) site de prélèvement de saumure.

III-2-1-2- Mode de prélèvement :

Le prélèvement a été effectué selon les étapes suivants :

- Préparations des flacons propres en plastique ou bien en verre de 500 ml et 1L.
- Ouvrir la vanne d'échantillonnage et permettre à l'eau de s'écouler pendant au moins 2 minutes avant le remplissage des flacons.
- Rinçage du flacon d'échantillonnage au moins deux fois avec l'eau à prélever.
- Remplir chaque flacon lentement avec un faible débit pour éviter les turbulences et la formation des bulles d'air.
- Fermer le flacon et s'assurer qu'il n'y a pas de vide au dessus de l'échantillon.
- Etiquetages des flacons d'échantillonnage en mentionnant le point de prélèvement, la date et l'heure.
- Il est recommandé d'effectuer l'analyse immédiatement après le prélèvement. Si non, conserver l'échantillon selon la méthode de stockage approprié.

III-2-2- Analyses physico-chimiques

III-2-2-1- Les facteurs organoleptiques

a- Evaluation de la couleur:

Matériel utilisés :

- ✓ Entonnoir filtrant en verre
- ✓ deux Tubes à essai avec bouchon fileté (en bloc comparateur)
- ✓ carte colorimétrique.

Mode opératoire :

Effectuer la détermination dès que possible après le prélèvement de l'échantillon, suivant le mode opératoire indiqué dans le tableau III.4.

Tableau III.4 : Mode opératoire de l'évaluation de la couleur .

Orienter la boîte ouverte de telle façon que les deux tubes à essai se trouvent à gauche. Introduire la carte colorimétrique dépliée, coté points colorés d'abord, dans le fente droite du fond de la boîte			
	Echantillon à mesurer tube le plus proche de l'opérateur (A)	Echantillon à blanc Tube le plus éloigné De l'opérateur (B)	
Echantillon Eau distillée	40 ml	40 ml	Remplir le tube à essai jusqu'au Trait (=40ml). Remplir le tube à essai jusqu'au Trait (=40ml).
Faire coulisser la carte colorimétrique vers la gauche jusqu'à ce que les couleurs, vues du haute à travers les deux tubes non bouché, coïncident le plus possible. Lire le résultat en UC (Hazen) sur la carte colorimétrique au niveau de l'arête inférieur droit de la boîte ou évaluer un résultat intermédiaire. Dans le cas d'échantillons d'eau, déterminer aussi le pH de l'échantillon à mesurer.			

**Figure III.17**: réactif coloré, Appareille chlorométrie.**b- Evaluation de l'odeur et de la saveur**

- L'odeur a été évaluée par simple sensation dans le lieu de prélèvement.
- La saveur à été évaluée par dégustation de l'eau par six digesteurs au point de prélèvement.

c- Mesure de la turbidité**Matériel utilisé**

- capsules en verre
- Turbidimètre (HACH, 2100Q) (figure III.18)
- Solution d'étalon (0.2 NTU)

Mode opératoire

A l'aide d'un turbidimètre la mesure de turbidité s'effectue selon les étapes suivantes

- Etalonnage de turbidimètre par la solution (0.2NTU).
- Remplir la capsule par l'échantillon à analyser.
- Nettoyer la capsule et s'assurer que la surface de la capsule est sèche et qu'elle ne contient aucune tache.
- Placer la cuvette dans le turbidimètre et appuyer sur READ.

La lecture se fait directement sur l'écran de l'appareil, la turbidité est exprimée en NTU (Nephelométric Turbidity Unit).



Figure III.18: Turbidimètre.

III-2-2-2- Mesure de Potentiel d'hydrogène (pH)**Matériel utilisé**

- Un pH-mètre (HACH, sension 3) (figure III.19)
- Un bécher.
- Eau distillé.

Mode opératoire

-Mettre l'appareil en marche ; étalonner le avec de l'eau distillée

-Plonger la sonde tout en agitant légèrement dans un bécher qui comporte environ 100 ml de notre échantillon.

- laisser stabiliser et lire en suite la valeur du pH.



Figure III.19: pH-mètre

III-2-2-3- Mesure de la conductivité

La mesure de la conductivité se fait avec un appareil multi-paramètres à sonde (HQ40d) (figure III.20) ou bien (HACH, sension7) suivant le mode opératoire de la mesure de pH.



Figure III.20: a) Appareil multi-paramètres de paillasse, b) multi-paramètres portatif.

Ces deux appareils sont aussi utilisés pour la mesure des températures et les TDS avec la même méthode.

III-2-2-4- Mesure des TDS

Au niveau du laboratoire de la station de dessalement de Cap-Djinet, la mesure de la concentration en sels dissous totaux se fait par la relation entre la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la concentration ionique (ppm) qui s'exprime par:

$$\text{TDS (ppm)} = K * \text{La conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})$$

Avec :

$K = 0.5$ pour l'eau produit.

$K = 0.69$ pour l'eau de mer.

$K = 0.74$ pour la saumure.

III-2-2-5- Mesure des MES

Les matières en suspension caractérisent la teneur des éléments non dissous de diverses granulométries transportées par l'eau de mer.

Matériels utilisés :

- Une Hotte à filtre. (figure III.21)
- cercle glass microfibre filtre
- une étuve
- une balance de précision. (figure III.21)

Mode opératoire :

On mesure la quantité des MES dans l'eau à l'aide d'une Hotte à filtre.

- verser 1L d'eau analysée dans le verre filtreur, l'eau est aspirée par une pompe et traverse le filtre glass microfibre pesé déjà.
- sécher le filtre dans l'étuve pendant 25 minutes.
- peser le filtre une autre fois dans la balance de précision.

La différence entre la première pesée et la deuxième représente la quantité des MES.



Figure III.21: La hotte à filtre et balance de précision

II-2-2-6- Détermination de la dureté totale (TH)

Le titre hydrotimétrique détermine la concentration en sel de calcium et de magnésium dissouts dans l'eau à analyser.

Matériels utilisés:

- Fiole

- Burette
- solution d'EDTA (0,02N).
- solution tampon de NaOH (pH = 9.5 à 10)
- Noir d'ériochrome (NET) comme indicateur coloré.

Mode opératoire:

Introduire 100 ml d'eau à analyser dans une fiole, ajouter 5 ml de la solution Tampon (NaOH) et trois gouttes d'indicateur coloré (NET). La solution se colore en rouge foncé ou violet, commencer le titrage avec la solution d'EDTA (0.02N) jusqu'au virage de couleur bleu.



Figure III-22: Détermination de titre hydrotimétrique.

Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milligramme par litre, est donnée par l'expression suivante:

$$TH \text{ (mg/L)} = \frac{N_{EDTA} * V_{EDTA} * 1000}{V_{écha}}$$

N_{EDTA} : Normalité d'EDTA.

V_{EDTA} : Volume d'EDTA.

$V_{écha}$: Volume d'échantillon.

a- Détermination de la dureté calcique

La dureté calcique correspond à la concentration de l'échantillon à analyser en calcium.

-Matériels utilisés

- Erlenmeyer
- Burette

- Solution de NaOH (0.1N).
- Murexide (indicateur coloré).
- solution d'EDTA (0.02N).

Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer et ajouter 5 ml de la solution NaOH.

Ajouter une pincée de murexide, agité doucement pour homogénéiser la solution, une couleur rose va apparaître. Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage rose au move.

Expression des résultats

La concentration en calcium se calcule par la formule suivante :

$$TH_{Ca^{2+}} \text{ (mg/L)} = \frac{N_{EDTA} * V_{EDTA} * 1000}{V_{écha} * 20}$$

N_{EDTA} : Normalité d'EDTA.

V_{EDTA} : Volume d'EDTA.

$V_{écha}$: Volume d'échantillon

b- Détermination de la dureté magnésienne

Représente la concentration de l'échantillon en magnésium, comme la dureté totale est la somme des concentrations de calcium et magnésium, la dureté magnésienne se calcule par la relation suivante :

$$TH_{Mg^{2+}} = TH_{TH \text{ totale}} - TH_{Ca^{2+}}$$

III-2-2-6- Mesure de L'alcalinité

a- Titre alcalimétrique simple (TA):

Correspond a les concentrations des ions carbonates (CO_3) et les ions hydroxydes(OH^-) dans l'eau à analyser.

Matériels utilisée

- Erlenmeyer
- Burette
- solution d'HCl (0.02N)
- Solution de phénolphtaléine (indicateur coloré).

Mode opératoire

Verser 100 ml d'eau à analyse dans l'erlenmeyer, ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine, une couleur rose apparaît suite au changement de PH qui s'avère inférieur à 8.3. Titrer et agiter avec la solution d'HCl jusqu'à la décoloration complète de la solution. Dans le cas contraire (la solution reste coloré) la TA est nulle.

Expression des résultats

$$TA \text{ (meq/l)} = \frac{(N_{HCl} \times V_{HCl}) \times 1000}{V_{écha}}$$

N_{HCl} : Normalité HCl.

V_{HCl} : Volume HCl.

$V_{écha}$: Volume d'échantillon

b- Titre alcalimétrique complet (TAC) :

C'est la teneur en hydrogénocarbonate, hydroxyde libre et en carbonate contenus dans l'eau.

Matériels utilisés

- Erlenmeyer.
- Burette.
- solution d'HCl (0.02N).
- méthyle orange (indicateur coloré)

Mode opératoire

Verser 100 ml d'eau à analyse dans l'erlenmeyer, ajouter 2 à 3 gouttes de solution méthyle orange une couleur jaune apparaît suite au changement de PH qui s'avère inférieur à 8.3. Titrer et agiter avec la solution d'HCl jusqu'au virage de jaune au jaune orangé (PH=4.3).

Expression des résultats

$$TAC \text{ (meq/L)} = \frac{N_{HCl} * V_{HCl} * 1000}{V_{écha}}$$

N_{HCl} : Normalité HCl.

V_{HCl} : Volume HCl.

$V_{écha}$: Volume d'échantillon

c- Détermination des concentrations des bicarbonates (HCO_3^-) et des carbonates (CO_3^{2-})

La détermination des concentrations des bicarbonates et les carbonates est fait selon le tableau suivant:

Tableau III.5 : Détermination de CO_3^{2-} et HCO_3^- à partir du TA et TAC.

	TA = 0	TA < TAC/2	TA = TAC/2	TA > TAC/2
OH^-	0	0	0	2 TA – TAC
CO_3^{2-}	0	2 TA	TAC	2 (TA – TAC)
HCO_3^-	TAC	TAC- 2 TA	0	0

III-2-2-7- Mesure des résidus secs à 180 °C

La détermination des résidus secs se fait par pesée de résidu après l'évaporation de l'eau.

Matériels utilisés

- Fiole jaugée.
- Capsule en porcelaine, en verre borosilicaté ou de préférence.
- Balance de précision.
- Étuve dont la température est réglable à 180 °C.
- Eau distillé.
- Acide chlorhydrique dilué à environ 10 %.

Mode opératoire :

- Prélever dans une fiole jaugée, un volume d'échantillon connu.
- Nettoyer la capsule à l'acide chlorhydrique dilué tiède, puis à l'eau distillée. La sécher par passage à l'étuve à 180 °C
- Peser l capsule vide.
- Verser le contenu de la fiole jaugé dans la capsule.
- Faire évaporer progressivement la prise d'essai introduite dans la capsule.
- Laisser refroidir la capsule et son contenu presque jusqu'à la température ambiante, puis la placer dans un dessiccateur pendant 15 min environ et peser.

Expression des résultats

Le calcul du résidu sec à 180 °C, se fait par l'équation suivante :

$$\text{RS (180 °C)} = \frac{m_1 - m_0 * 1000}{V_0}$$

RS (180 °C) : le résidu sec à 180 °C, en milligrammes par litre.

m_1 : La masse de la capsule et de son contenu, après chauffage à 180 °C, (en mg)

m_0 : La masse de la capsule vide, (en mg)

V: Le volume d'échantillon à analyser (ml)

III-2-2-8- Mesure chlore libre (Cl₂)

Consiste à mesurer la concentration de chlore libre par colorimétrie.

Matériels utilisés :

- Colorimètre. (figure III.23)
- Cuvette d'échantillon 10ml.
- Sachet DPD chlore libre pour 10 ml.

Mode opératoire :

- Choisir le paramètre chlore libre dans le colorimètre. Mettre 10 ml d'échantillon a analyser dans une cuvette propre et la mettre dans le colorimètre et étalonner ce colorimètre a 0mg/L .
- Mettre 10 ml d'échantillon a analyser dans une autre cuvette et ajouter un sachet de DPD, introduire la cuve dans le colorimètre et effectuer la lecture.

La lecture se fait directement sur l'écran de l'appareil, la concentration est exprimée en mg/l



Figure III.23: Colorimètre.

III-2-2-9- Les paramètres chimiques :

Au niveau de laboratoire de contrôle de qualité de la station de dessalement d'eau de mer Cap-Djinet on 'a fait des analyses sur les paramètres chimiques suivants :

- ✓ Le Bore.
- ✓ Le potassium
- ✓ Les Chlorures
- ✓ Les Nitrites

- ✓ Les Nitrats
- ✓ Les Sulfates
- ✓ Le Fer

Les analyses se feront avec un spectrophotomètre UV-VIS de haute précision (DR 5000) (figure III.24) qui est doté d'un support pour les testés en cuve. Un laser identifie la cuve insérée grâce à son code-barres. Le spectrophotomètre commence la mesure automatiquement et affiche le résultat en mg/l.



Figure III.24: spectrophotomètre

Les testés se feront par les cuves LCK (figure III.25) selon le mode opératoire indiqué à l'intérieure de chaque boîte de l'élément à analyser.



Figure III.25: Boîte LCK pour la mesure de Bore et des chlorures

CHAPITRE IV:
RESULTAS ET DISSCUSSION

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV -1-Eau produite

IV-1-1- Les résultats organoleptiques

Le tableau (IV.1) présente les résultats des analyses de la couleur, la saveur, l'odeur et la turbidité de contrôle de qualité de la station de dessalement Cap Djinet pendant 14 jours.

Tableau IV.1 : résultats journalier d'analyses organoleptiques.

Paramètres Jours	Couleur (Hazen)	Turbidité (NTU)	Saveur	Odeur
1	< 5	0,79	Aucun goût étrange.	L'eau est inodore et ne présente aucune odeur désagréable.
2	< 5	0,63		
3	< 5	0,79		
4	< 5	0,99		
5	< 5	1,14		
6	< 5	0,48		
7	< 5	0,51		
8	< 5	0,74		
9	< 5	0,69		
10	< 5	0,63		
11	< 5	0,54		
12	< 5	0,69		
13	< 5	0,51		
14	< 5	0,47		
Normes Algérienne	15	5	Au bout de quatre dilutions successives aucune odeur ne doit être perçue.	Au bout de quatre dilutions successives aucune saveur ne doit être perçue.

Ces paramètres peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement. Ils permettent aux consommateurs de porter un jugement succinct sur la qualité de l'eau. La turbidité est un paramètre important à suivre lors de la production de l'eau destinée à la consommation humaine car il rend compte de la bonne efficacité des étapes de filtration.

Les valeurs de la turbidité de l'eau produit sont d'une moyenne de 0.68 NTU qui est inférieure à la valeur limite recommandées dans les normes Algérienne. L'eau traitée ne présente aucune odeur ou saveur et présente des valeurs très basses du couleur.

IV-1-2-Les résultats physico-chimiques :

Les résultats d'analyses des principaux paramètres physico-chimiques pendant 14 jours sont donnés dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2: Résultats journalier d'analyses physico-chimiques.

Jours	pH	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	TDS Ppm	TH _t mg/L (CaCO ₃)	TH _{Ca2+} mg/L (CaCO ₃)	TH _{Mg2+} mg/L (CaCO ₃)	TAC mg/L (CaCO ₃)	TA mg/L (CaCO ₃)
1	8,34	438	19,3	219	65,98	56,84	9,16	55,86	2,28
2	8,33	442	19,4	221	65,46	56,33	9,12	57	2,85
3	8,34	460	20,1	230	65,31	54,86	10,44	55,86	2,28
4	8,33	480	20,5	240	65,73	55,38	10,44	55,86	2,28
5	8,28	438	20,4	219	65,91	58,87	9,16	58,71	2,62
6	8,29	461	20,5	231	65,82	58,36	10,2	58,71	2,62
7	8,31	485	21,3	243	65,98	56,84	9,12	55,86	2,62
8	8,31	488	20,9	244	65,46	56,33	9,12	57	2,28
9	8,33	492	21	246	65,31	54,86	10,44	55,86	2,85
10	8,34	482	20	241	65,73	55,38	10,44	55,86	2,28
11	8,29	483	20,3	242	65,91	58,87	9,16	58,71	2,28
12	8,3	472	19,4	236	65,82	58,36	10,2	58,71	2,62
13	8,36	452	18,4	226	65,98	56,84	9,12	55,86	2,28
14	8,35	462	19,4	231	65,46	56,33	9,12	57	2,85

IV-1-2-1- pH (potentiel d'hydrogène)

D'après la figure (IV.1) et le tableau (IV.2), nous remarquons que Les valeurs de pH d'eau produite sont compris entre **8,28** et **8,38** d'une valeur moyenne de **8,32**, se référant aux normes de qualité de l'eau potable. les valeurs de pH de l'eau produite sont conformes aux normes Algériennes dont les valeurs sont fixées entre **6,5** et **9**.

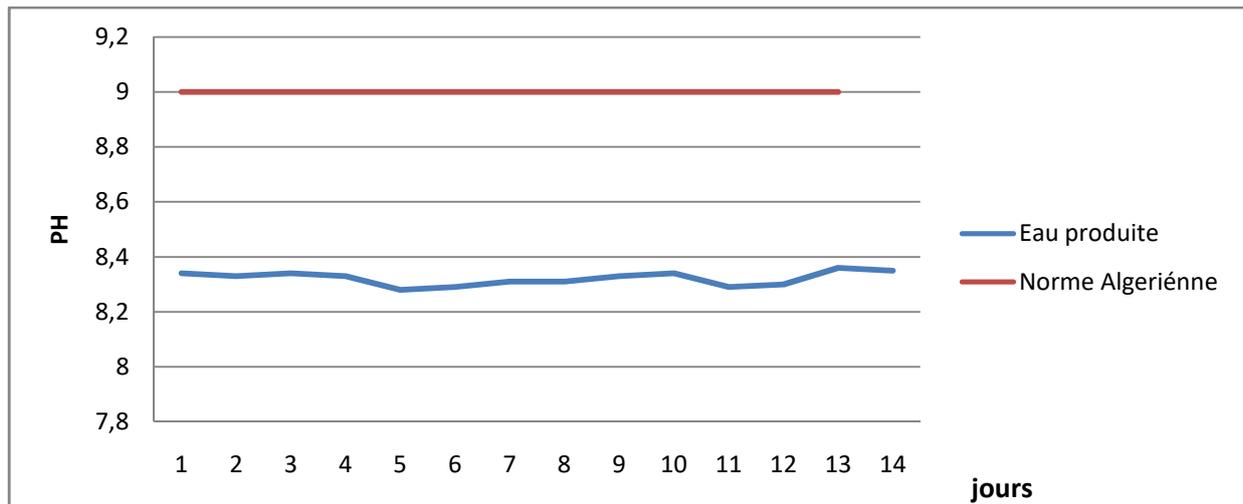


Figure IV.1 : Comparaison de pH de l'eau produite avec la valeur admissible.

Le potentiel d'hydrogène dépend de multiples facteurs, dont la température et l'origine de l'eau, et il représente une indication importante en ce qui concerne l'agressivité de l'eau.

IV-1-2-2- Conductivité

D'après la figure (IV.2) et le tableau (IV.2), nous remarquons que Les valeurs enregistrées sont entre **438** et **488 $\mu\text{s}/\text{cm}$** et d'une valeur moyenne de **466,7 $\mu\text{s}/\text{cm}$** . les valeurs de la conductivité électrique sont conformes aux normes algériennes, dont la concentration maximal admissible est **< 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$**

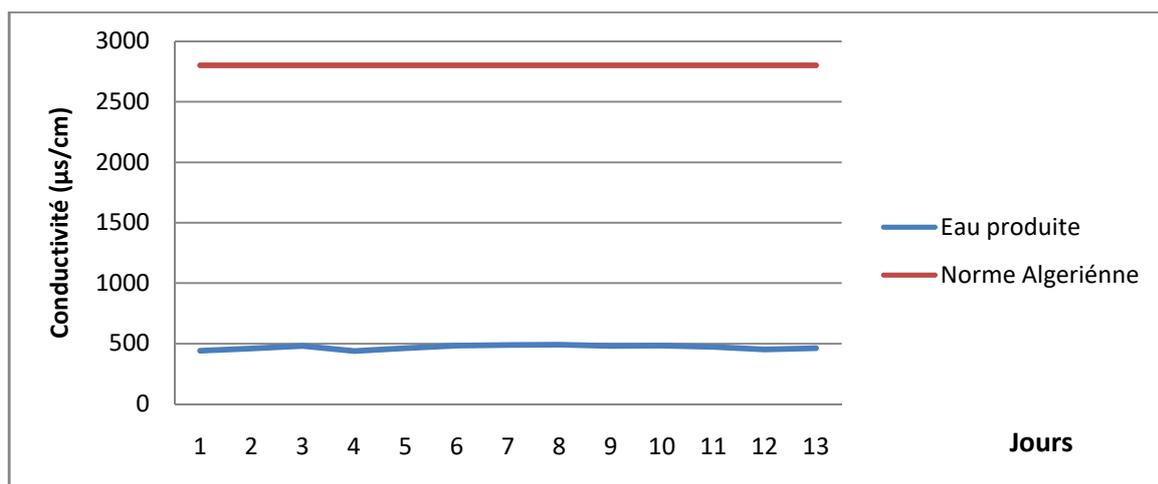


Figure IV.2: Comparaison de la conductivité électrique de l'eau produite avec la valeur admissible.

La conductivité est également en fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle est aussi importante pour la détermination de la quantité des sels dissous dans l'eau.

IV-1-2-3- Température

D'après la figure (IV.3) et le tableau (IV.2), Les valeurs des températures des échantillons analysés varient entre **18,4** et **21,3 °C** et d'une valeur moyenne de **20°C**, les valeurs des températures de l'eau produite sont conformes aux normes Algériennes dont les valeurs sont fixées à **< 25 °C**.

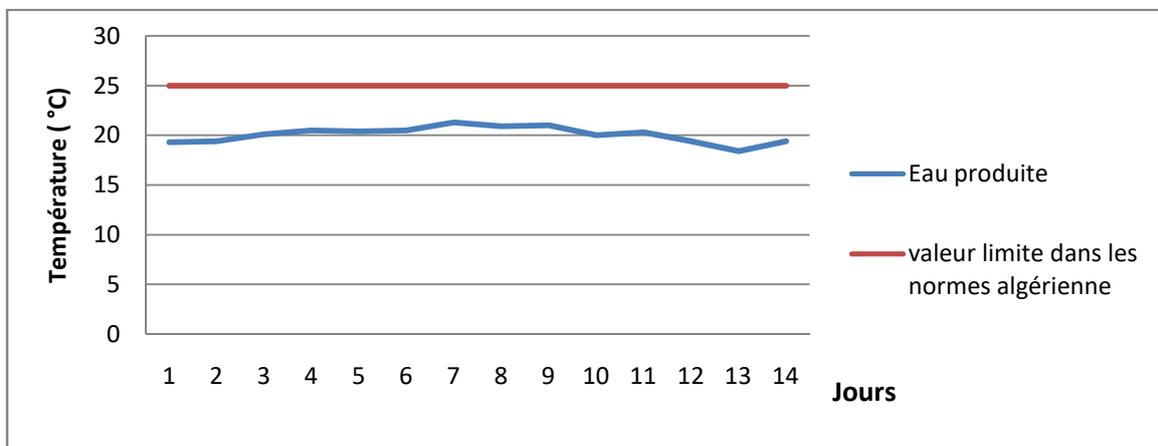


Figure IV.3 : Comparaison de la température de l'eau produite avec la valeur admissible.

La connaissance de la température de l'eau avec une bonne précision est importante, ce qui joue un rôle dans la dissociation des sels dissous et la solubilité des gaz et la détermination de pH

IV-1-2-4- TDS

D'après la figure (IV.4) et le tableau (IV.2), Les résultats obtenus ont montrés que le taux de TDS varie entre **219** et **246 ppm**, pour une valeur moyenne de **233,5 ppm**, les valeurs sont conforme aux normes algérienne qui sont **< 500 ppm** .

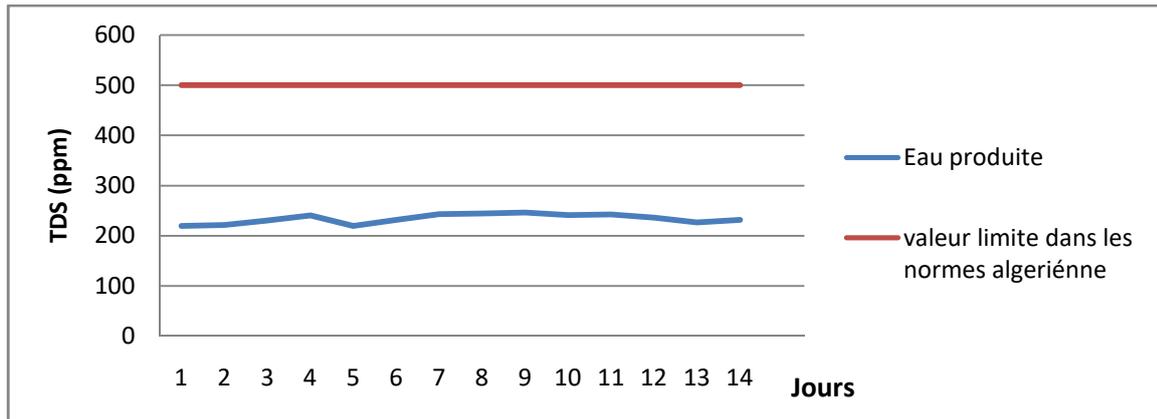


Figure IV.4 : Comparaison du Total des solides dissous de l'eau produite avec la valeur admissible.

Les TDS représentent la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau, elles sont composées des sels inorganiques et quelques matières organiques.

IV-1-2-5- MES

Grace aux bons fonctionnements des trois étapes de filtration, primaire, secondaire et microfiltration la concentration des MES (matières en suspensions) dans les eaux produites et souvent nulle.

IV-1-2-6- Dureté totale

D'après la figure (IV.5) et le tableau (IV.2), Les valeurs de la dureté totale (TH_T) sont comprises entre **65,31** et **65,98 mg/L $CaCO_3$** et une valeur moyenne de **65,7 mg/L $CaCO_3$** . Les valeurs enregistrés sont très inférieures par rapport à la valeur limite recommandée dans les normes Algérienne qui est **500 mg/L $CaCO_3$** .

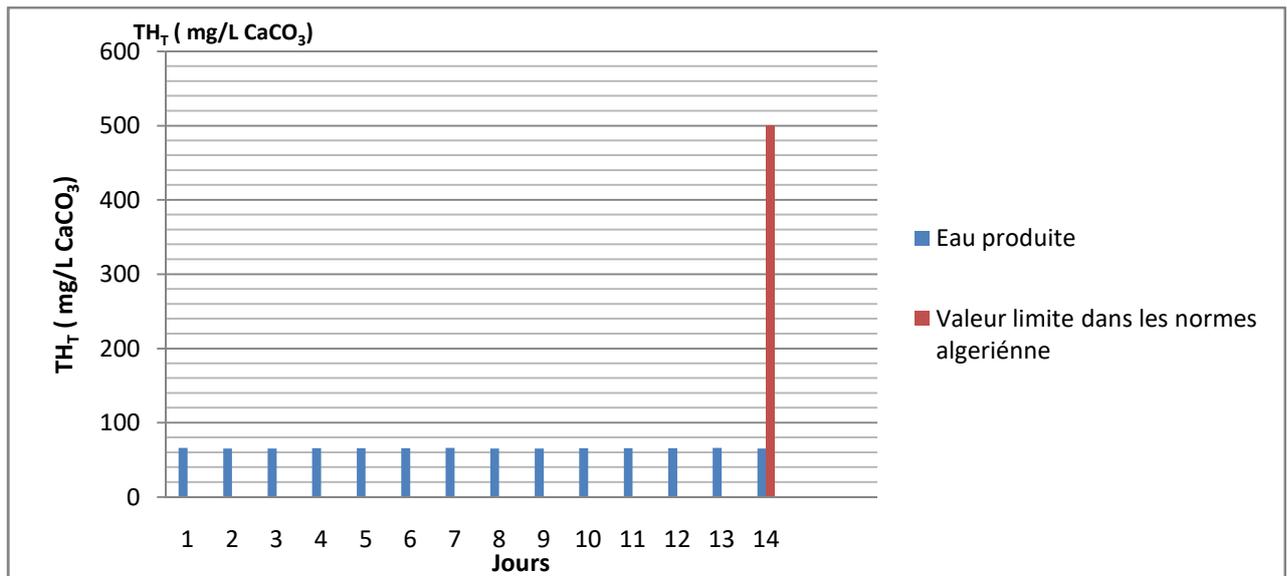


Figure IV.5: Comparaison du titre hydrométrique dans l'eau produite avec la valeur admissible.

La dureté de l'eau fait partie des paramètres utilisés pour déterminer la qualité générale d'une eau, causée par la présence des minéraux comme le calcium et magnésium.

a- Dureté calcique (TH_{Ca²⁺})

D'après la figure (IV.6) et le tableau (IV.2), nous remarquons que Les analyses des concentrations en calcium ont données des valeurs comprises entre **54,86** et **58.87 mg/L CaCO₃**, dont une valeur moyenne de **56,74 mg/L CaCO₃**. Les valeurs sont très inférieure par rapport à la valeur limite dans les normes algérienne qui est fixée à **200 mg/L CaCO₃**.

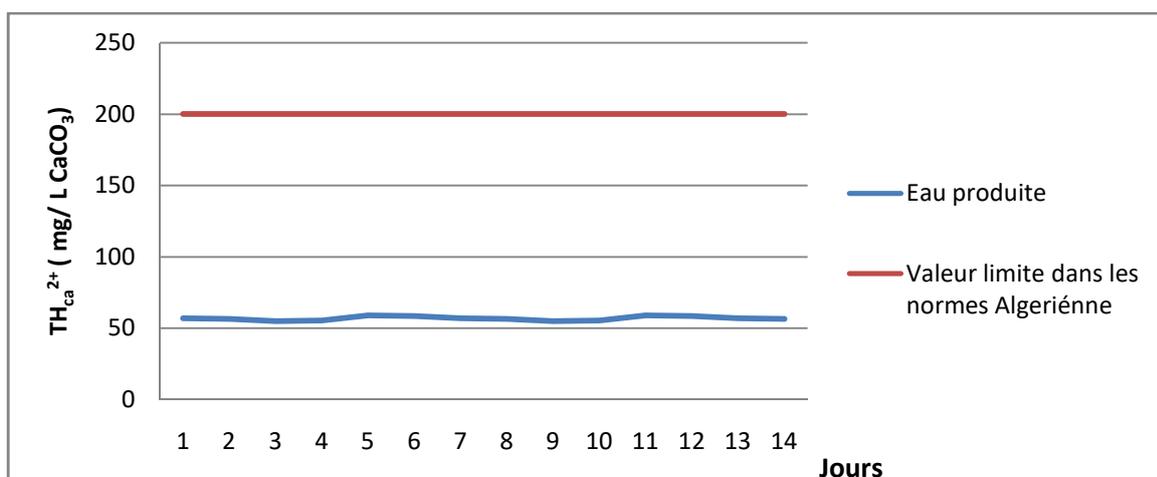


Figure IV.6 : Comparaison du calcium dans l'eau produite avec la valeur admissible

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est causée principalement par deux origines naturelles, soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).

Le calcium est un élément essentiel (99% dans le squelette), il doit être fourni au corps humain à raison de 0.7 à 2 g/ jour. Les teneurs en calcium dans l'eau produite restent sous la valeur guide qui peut provoquer un déficit de calcium.

b- Dureté magnésienne ($\text{TH}_{\text{Mg}^{2+}}$)

D'après la figure (IV.7) et le tableau (IV.2), nous remarquons que Les analyses des concentrations en magnésium ont données des valeurs comprises entre **9,12** et **10,44 mg/L CaCO_3** , dont une valeur moyenne de **9,66 mg/L CaCO_3** . Ces valeurs sont très inférieure a la valeur limite dans les normes algérienne qui est de **50 mg/L CaCO_3** .

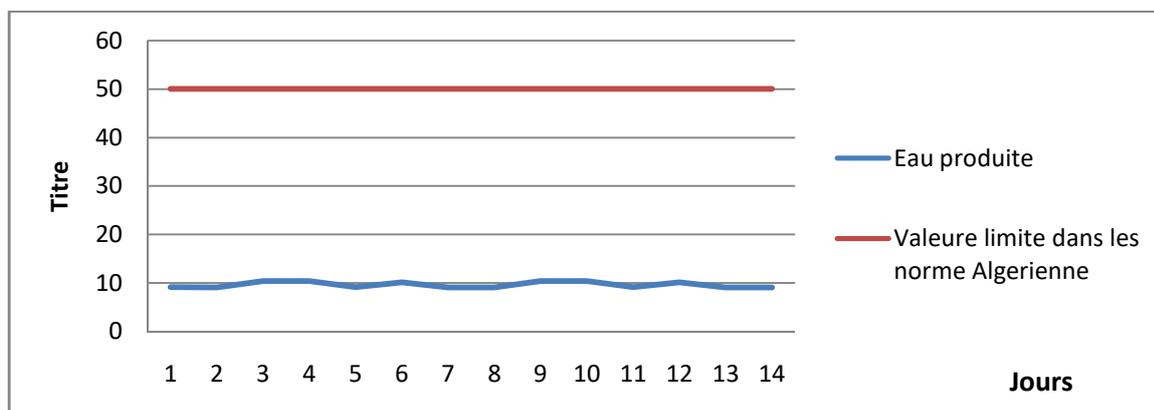


Figure IV.7 : Comparaison du magnésium dans l'eau produite avec la valeur admissible

Le magnésium est présent dans toutes les eaux naturelles. Il s'agit d'un élément indispensable à la croissance et pour la production de certaines hormones. On peut dire que l'eau traitée de cette station à une faible teneur en magnésium si on considère que la consommation journalière recommandé est de 50 mg/L .

IV-1-2-7- TAC (titre alcalimétrique complet)

D'après la figure (IV.8) et le tableau (IV.2), nous remarquons que Les résultats montrent des valeurs comprises entre **55,86** et **58,71 mg/L CaCO_3** et une valeur moyenne de **56,91 mg/L CaCO_3** . Les valeurs sont conformes aux normes algériennes qui ont une valeur limite de **65mg/L CaCO_3**

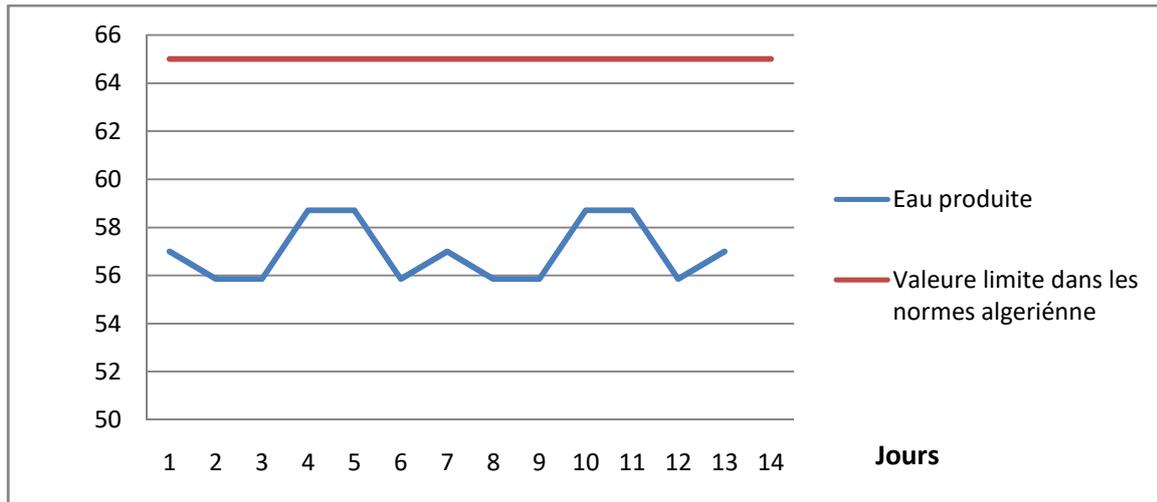


Figure IV.8 : comparaison de TAC dans l'eau produite avec la valeur admissible.

L'alcalinité correspond à la présence des espèces basiques telles que les ions hydrogène (OH^-), les ions carbonates (CO_3^{2-}) et les ions bicarbonates (HCO_3^-).

IV-1-2-8- Chlore Libre

D'après la figure (IV.9) et le tableau (IV.2), nous remarquons que Le chlore est l'un des réactifs le plus utilisé lors de la désinfection. Il est utilisé essentiellement sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de javel).

Il ne devrait pas avoir une concentration supérieure à 5 ppm dans les normes algérienne. Nos résultats nous donnent des valeurs comprises entre **0,25** et **0,35 ppm**, et une valeur moyenne de **0,3 ppm**. Donc ces valeurs sont conformes aux normes Algériennes.

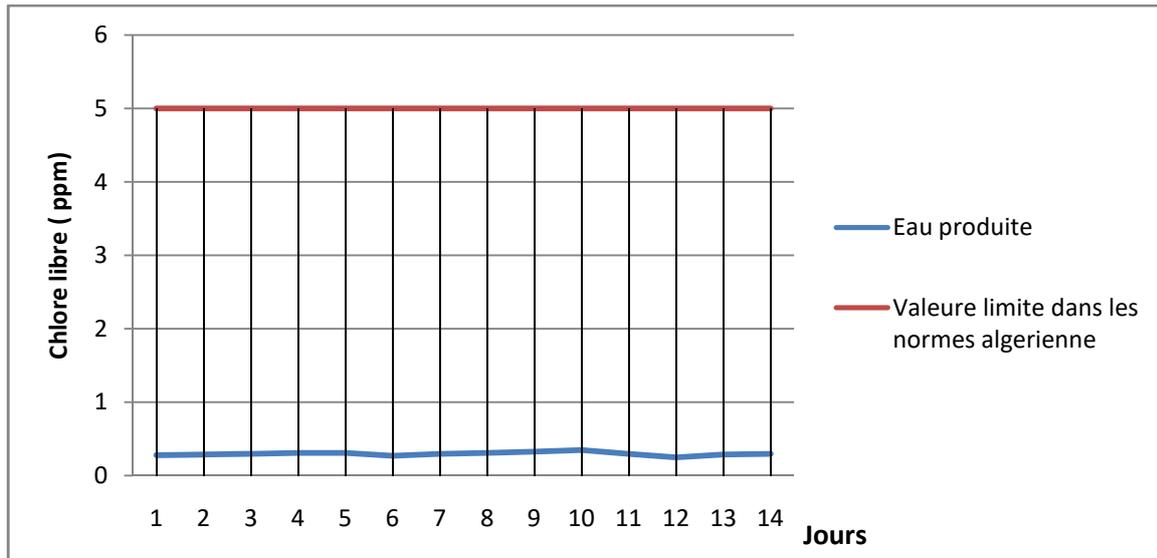


Figure IV.9 : Comparaison du chlore libre dans l'eau produite avec la valeur admissible.

IV-1-3- Autres paramètres chimiques

Les résultats d'analyses de bore, fer, sodium, sulfates, chlorures, potassium, nitrites et les nitrates sont données dans le tableau (IV.3) :

- Le bore est naturellement présent dans l'eau. Selon les normes algériennes, des concentrations inférieures à 1 mg/L ne sont pas considérés comme nocives pour la santé, par contre des concentrations élevées peuvent provoquer des troubles digestifs et neurologiques.

Les teneurs en bore dans les échantillons analysés sont respectives avec des teneurs varient entre **0,665** et **0,733 mg/L** .

- Les teneurs en fer dans les eaux produites ont une valeur moyenne de **0,11 mg/ L** , donc sont respectives aux normes algérienne qui indiquent une valeur limite **de 0,3 mg/ L**.
- La réglementation algérienne recommande **400 mg /L** de sulfate comme une valeur maximale admissible, les eaux produites par la station de dessalement d'eau de mer Cap-Djinet ne contient aucune trace des sulfates.
- Les teneurs en chlorure dans les eaux produites sont conformes aux normes algériennes (**500 mg/L**) avec des valeurs variante entre **110** et **120 mg/L**. Ces concentrations sont proportionnelles aux quantités de chlore utilisé dans la désinfection.

Tableau IV.3 : Résultats d'analyse pour les autres paramètres chimiques.

élément (mg/L) Jour	bore	fer	sulfates	chlorure	soduim	potassium	Nitrite	Nitrate
1	0.715	0.1	0	110	55	0	0.03	0
2	0.725	0.1	0	111	56	0	0.03	0
3	0.729	0.1	0	112	57	0	0.03	0
4	0.731	0.1	0	113	58	0	0.03	0
5	0.715	0.1	0	114	59	0	0.03	0
6	0.725	0.1	0	115	60	0	0.03	0
7	0.729	0.1	0	116	61	0	0.03	0
8	0.731	0.1	0	117	62	0	0.03	0
9	0.733	0.1	0	115	58	0	0.027	0
10	0.725	0.12	0	116	59	0	0.027	0
11	0.726	0.12	0	117	60	0	0.027	0
12	0.687	0.12	0	118	61	0	0.27	0
13	0.665	0.12	0	119	62	0	0.027	0
14	0.669	0.12	0	120	63	0	0.027	0
Moy	0.714	1.17	0	115.21	59.35	0	0.030	0
Valeur limite	1.3	0.3	400	500	200	12	0.2	50

- Le sodium est un élément vitale qui participe à des fonctions essentielles dans l'organisme, selon L'OMS il est nécessaire de fournir 2000mg/ jour a l'organisme adulte. Les analyses d'eau produit ont enregistrés des valeurs entre 55 et 63 mg/L de sodium, des valeurs qui sont conformes aux normes algériennes dont la valeur limite est de 200 mg/L.
- Le potassium joue un rôle essentiel chez l'homme (transmission de l'influx nerveux) pour lesquels les besoins d'organisme sont de l'ordre de 1,5 à 4 g/jour. L'eau analysée ne contient aucune trace de potassium, cela est dû à la grande efficacité des membranes Osmose Inverse.
- Les teneurs en nitrites dans l'eau produite sont conformes à normes algériennes (**0,2 mg/L**) avec des valeurs comprises entre **0,027** et **0,03** mg/L.

- Une eau avec des concentrations élevées en nitrates peuvent provoqués des maladies de sang surtout chez les nourrissons de moins de 6 mois. C'est pourquoi la réglementation algérienne a fixé une valeur limite de **50 mg/L**.

L'eau produite n'a aucune teneur en nitrates, ce qui ne renseigne sur la bonne qualité de cette eau.

IV -2 Eau de mer et saumure

Pour la saumure (S) et l'eau de mer (M) on a effectué des analyses pour 8 paramètres pendant 14 jours, les résultats obtenues sont classés dans le tableau IV.4 et la figure IV.10 .

Tableau IV.4 : résultats d'analyses de la saumure et l'eau de mer.

	TDS g/L		pH		T °C		Conductivité mS/cm		Turbidité NTU		Fer mg/L		Résidu sec g/L		MES mg/L	
	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
1	38.8	70,07	8,17	7,8	16,3	16,4	56,3	94,7	2,46	1,27	0,14	0,034	38,88	63,21	5,9	3, 9
2	38.3	69,78	8,15	7,93	16,3	17,9	55,6	94,3	3,5	1,44	0,14	0,034	38,38	63,37	8,1	2,7
3	38.2	69,11	8,14	7,9	15,9	18	55,5	93,4	7,25	1,42	0,14	0,034	38,29	63,95	57,7	2,4
4	38.5	69,85	8,19	7,98	16,4	17,7	55,9	94,4	6,3	0,89	0,14	0,038	38,59	64,21	25,9	4,5
5	38.4	65,26	8,17	8,01	16,1	17,3	55,8	88,2	2,2	0,64	0,14	0,045	38,48	58,2	5,6	3,5
6	38.1	70,67	8,16	7,94	16,1	16,3	55,4	95,5	2,8	0,41	0,14	0,038	38,11	67,78	6,2	2,8
7	38.8	69,78	8,19	7,98	16,1	19,7	56,3	94,3	2	0,87	0,14	0,035	38,8	62,23	7,2	4,7
8	38.7	71,92	8,18	7,92	16	17,1	56,2	97,2	2,01	0,92	0,14	0,041	38,79	63,94	6,6	4,5
9	38.6	70,52	8,17	7,98	15,9	17,8	56,1	95,3	2,6	0,91	0,14	0,031	38,69	63,12	6,8	5,1
10	38.1	70,37	8,16	7,89	15,8	17,6	55,4	95,1	1,8	0,95	0,14	0,041	38,19	63,62	4,9	5,6
11	38.2	69,93	8,15	7,95	15,7	18	55,5	94,5	1,3	0,99	0,14	0,039	38,29	62,6	3,5	3,8
12	38.8	70,00	8,17	7,92	15,8	16,9	56,3	94,6	1,5	1,06	0,14	0,04	38,88	63,07	3,8	4,3
13	38.4	70,34	8,18	7,95	16	16,6	55,7	95,1	11,5	1,02	0,14	0,041	38,48	65,92	326	4,9
14	38.3	69,78	8,2	7,81	16,1	17,2	56,6	94,3	7,1	0,84	0,14	0,038	38,39	64,62	114	4,2
^{MIO} y	38,4	69,81	8,17	7,92	16	17	55,9	94,3	3,88	0,97	0,14	0,037	38,51	63,56	41,6	4,06

- La valeur moyenne des TDS dans l'eau de mer est élevée (**38,44 g/L**) cause de la forte présence des ions en eau de mer. Dans la saumure les concentrations sont plus élevées,

presque deux fois que l'eau de mer ce qui nous montre l'efficacité de traitement par le procédé osmose inverse.

- L'eau de mer a des valeurs de pH comprises entre **8,14** et **8,2**, ces valeurs sont en fonction de la teneur de l'eau en carbone. Par contre les valeurs de PH de la saumure sont un peu moins, varient entre **7,8** et **8**. Cette différence est causée par le transfert des ions H^+ dans les membranes OI.
- Les températures de l'eau de mer varient entre **15,7** et **16,4 C**, elles dépendent des conditions climatiques. Pour la saumure les températures sont légèrement plus élevées (entre **16,4** et **19,7C**). Cette élévation température est causée par l'énergie mécanique utilisée dans le procédé OI.
- Comme la conductivité est proportionnelle à la concentration en TDS, L'eau de mer a des valeurs de conductivité élevée (entre **55,4** et **56,6 mS/cm**). La conductivité est plus élevée dans la saumure avec des valeurs comprises entre **88,2** et **97,2 mS/ cm**.
- La turbidité de l'eau est proportionnelle a l'état de la mer (stable), c'est pourquoi les valeurs obtenus sont très variantes (entre **1,3** et **11,5 NTU**). Les valeurs de la saumure sont inférieures a celles de l'eau de mer (entre **0,41** et **1,44 NTU**) ce qui nous renseigne sur l'efficacité des prétraitements appliqués.
- Le fer se trouve naturellement dans l'eau de mer avec des faibles concentrations (entre **0,142** et **0,145 mg/L**), dans la saumure les quantités sont plus moins et ne dépassent pas **0.041 mg/L**. Cette diminution des concentrations de fer est causée par les membranes OI qui retirent des quantités minimales de fer.
- Les valeurs des concentrations des résidus secs dans l'eau de mer sont comprises entre **38,11** et **38,88 g/L**. Dans la saumure les concentrations sont plus importantes de l'ordre de **58,2** à **67,78 g/L**.
- Le taux des MES dans l'eau de mer est entre (**3,5** et **326 mg/L**), ces concentrations dépendent aussi de l'état de la mer tel que la turbidité .Pour la saumure les quantités sont moins, comprises entre (2,4 et 5,6 mg/L) ce qui nous renseigne sur l'efficacité des étapes de filtrations

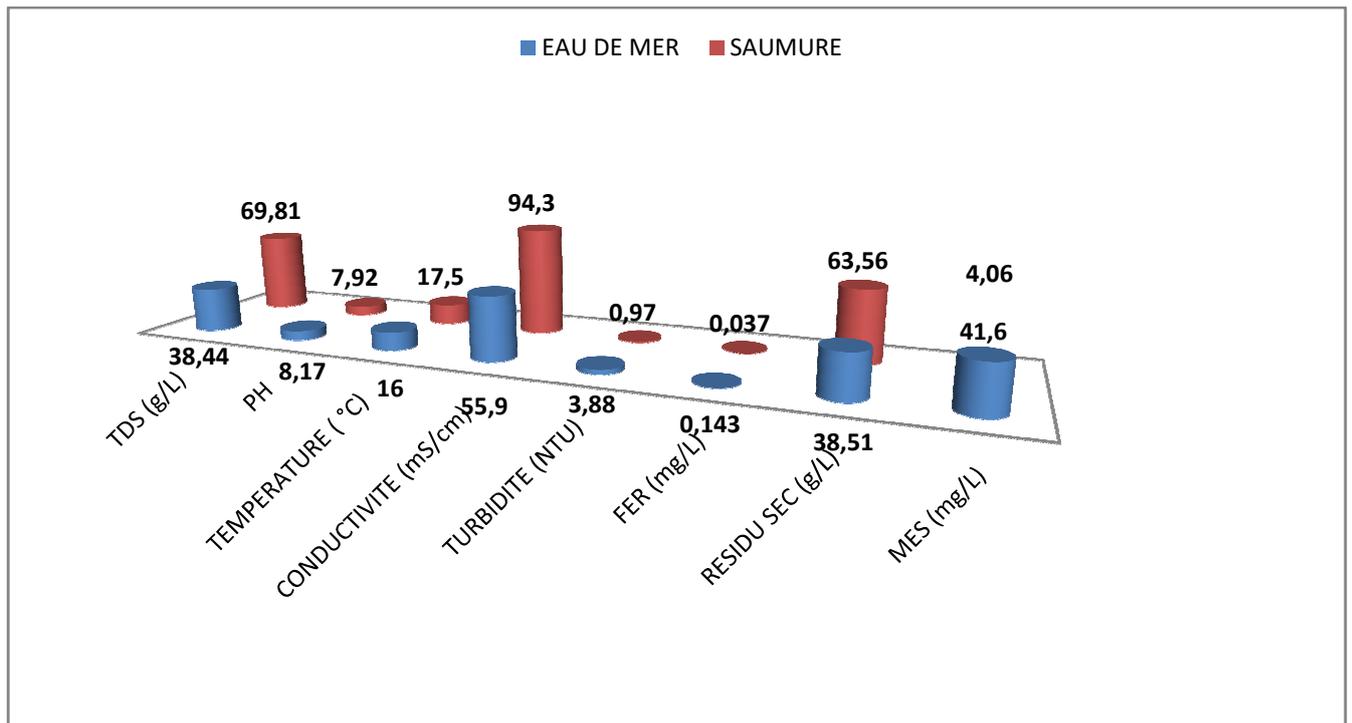


Figure IV.10: comparaison entre les valeurs moyennes de quelques paramètres physico-chimiques de la saumure et l'eau de mer.

Conclusion

Conclusion

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.

Avec une simple comparaison par rapport aux autres procédés de dessalement d'eau de mer on remarque que la technologie d'osmose inverse est plus économique (consommation énergétique) , surtout après l'apparition des systèmes de récupération d'énergie .

Bien que le dessalement de l'eau de mer soit une industrie en développement constante dans de nombreux pays , on ne dispose que d'un très petit nombre d'études sur les impacts et le milieu marins.

L'objectif de notre mémoire est de caractériser le procédé de dessalement d'eau de mer par osmose inverse appliqué à la station de dessalement d'eau de mer **CDJ (Cap-Djinet)**, et d'étudier les paramètres physico-chimiques et organoleptiques des eaux de mer, produites et la saumure.

Selon les résultats trouvés dans notre étude et après plusieurs manipulations nous concluons ce qui suit :

- pour l'eau produite les paramètres organoleptiques sont conformes aux normes.
- Les analyses physico-chimiques montrent que cette eau présente des valeurs conformes à celles des normes algériennes avec une dureté totale moyenne ,qui se classe cette eau dans la catégorie des eaux douces .
- Une minéralisation moyenne, sauf les teneurs faibles en magnésium (Mg^{2+}) et les valeurs nulles en potassium (K^+) , ce qui demande l'amélioration de la phase de reminéralisations.

- Les rejets (saumure) de la station de dessalement ont des effets nocifs sur le milieu marins, donc la protection des zones côtières reste un enjeu majeur lors du procédé de dessalement d'eau de mer.

D'après les résultats des paramètres étudiés, nous pouvons dire que l'eau produite à la station de dessalement de l'eau de mer CDJ, (Cap-Djinet) est potable et de bonne qualité, elle ne présente aucun danger pour la consommation humaine.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] : **KARA, O., et KHALDI, A.**, Dessalement de l'eau de mer et impacts environnementaux cas de station el Mactaa, article publié dans journal of water and environmental sciences , 2018. P 250.
- [2] :**UNEP (united nations environment programme)**, Stratégie pour eau douce, 2017-2021.
- [3] : **Organisation mondiale de la santé** : l'utilisation des eaux usés en agricultures et en aquicultures , recommandation avisées sanitaire, organisation mondiale de la santé, Genève, 1989.
- [4] : **CLEMENT, J.M.** « Larousse agricole » édition Larousse ,1979.
- [5] : **MARSILY, G.**, L'eau,1995, P 128.
- [6] : **COMETE ENGINEERING**, Gestion Durable des ressources en eau. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Tunisie, 2007.
- [7] : **UNESCO**, rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2021.
- [8] : **MAUREL, A.**, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce,2^{ème} édition2006, 286 p.
- [9] : **PETER, H, G., et MENNA, P.**, Peak water limites to freshwater with drawal and use, proceedings of the national academy of science ,2010.
- [10] : **RAYMOND, D.** , Le traitement des eaux, 2ème edition revue et enrichie.1997.
- [11] : **UNESCO** , Améliorer la gestion durable des eaux souterraines, 2014.
- [12] : **HABET, L.**, Contribution à l'étude des impacts du Dessalement des eaux de mer sur l'environnement cas de littoral cap Boumerdes, mémoire magistère, Univ Boumerdes, 2010.
- [13] : **TANSAKUL, C.** , 'Procédés hybrides à membranes pour les prétraitements d'eau de mer avant Dessalement par osmose inverse'' , thèse de doctorat ,Univ Toulouse, novembre 2009.
- [14] : **COPIN-MONTGET,G.**, propriétés physique de l'eau de mer , p 5-16.
- [15] : **HORNE, A.** , 'Marine chemistry the structure of water and chemistry of the hydrosphère.' , wiely-Interscience,1969.

- [16] : **DAMAS, D.**, :Leau de mer, caractéristiques générales p-245.
- [17] : **HERVE, M.**, Composition et salinité de l'eau de mer, p 1-8 ,mars 2014.
- [18] : **BONNIN, J.**, hydraulique urbaine appliquee aux agglomerations et petite et moyenne importance :1977.
- [19] : **ORGANISATION MONDIAL DE LA SANTE**, directives pour la qualité des eaux de boissons, quantième édition, 2017.
- [20] : **JORNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE**
- [21] : **DUNGLAS, J.**, Le dessalement de l'eau de mer, une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau, académie d'agriculture de France, 2014.
- [22] : **AMITOUCHE, M.**, Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur, thèse Doctorat, Univ Biskra, 2016.
- [23] : **MAUREL , A.**, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau potable, première édition, 2001.
- [24] : **NOURDDINE, N.**, Etude d'impacts des rejets des eaux de la stations de déminéralisation de Brédéah, mémoire de Magister, Univ Oran , 2008 .
- [25] : **Le Guern, P., Lachassagne, Y. ,..**, Dessalement et recharge artificielle : synthèse technico-économique, Rapport BRGM/RP-52262-FR, 2003.
- [26] :**DANIS, P.**, Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'ingénieur, Traité génie des procédés, 2003
- [27] :**UNEP(programme des nations unies pour l'environnement)**, Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens,évaluation des impacts sur l'environnement e t lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure, Athens, 2001.
- [28] :**UNEP/MAP,(programme des nations unies pour l'environnement, méditerranéen action plan)**, Dessalement de l'eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices. Athens, 2003.
- [29] : **ROVEL , J.**, Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'Ingénieur, 2012.
- [30] : **RENAUDIN, V.**, Le dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres, 2003.
- [31] : **BUSHNAK, A.**, Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales, Projet financé par l'Union Européenne,2012.

[32] : **HAMMANI, 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.2013.

[33] : **METACH, M.**, Technologie membranaires, Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées, Univ de Bouira , 2014.

[34] : **ZIZI, N.**, Stations de dessalement en Algérie :Choix des sites prioritaires et les techniques utilisées et leur impacts positives et négatives sur leur environnement immédiat, mémoire de Magister , USTHB, 2013.

[35] : **ALGERIAN ENERGY COMPANY**, Usines de dessalement d'eau de mer, 2016.

[36] : **L'ALGERIENNE DES EAUX** , Conférence autour des ressources hydriques en Algérie , 2019.

[37] : **MORSLI, M.** , , Impact des Arrêts Techniques de L'usine de Dessalement de L'eau de Mer sur L'entreprise et L'environnement , mémoire de magister ; uni d'Oran 2013.

Site internet :

Site1 : LE CYCLE DE L'EAU | CE2 MIRI école de MATAIREA

ce2miri.unblog.fr