

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية
الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : **Hydraulique**

Spécialité : **Hydraulique Urbaine/Ouvrages Hydrauliques**

Par :

TAHAR Mohamed Amine

CHEBKI Mohamed

Sujet

**Etude des performances de fonctionnement d'un ouvrage
hydraulique: cas de la station de dessalement d'eau de Chatt El
Hilal de Beni Saf**

Soutenu publiquement, le **27 Septembre 2020**, devant le jury composé de :

Mr MEGNOUNIF Abdessalem	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mme BOUKLI HACENE Cherifa	Maître de conférences A	Univ. Tlemcen	Examinatrice
Mr BOUMEDIENE Maamar	Maître de conférences A	Univ. Tlemcen	Encadreur
Mr CHIBOUB FELLAH Abdelghani	Professeur	Univ. Tlemcen	Co-encadreur

Promotion : 2019 – 2020

Remerciement

Remerciement

Nous remercions tout d'abord Dieu, le tout puissant de nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour mener à terme ce modeste travail.

Dans un premier temps, nous remercions nos chers parents qui nous ont soutenus depuis les premiers jours de nos vies et pour leurs encouragements constants.

*Nous voulons ensuite remercier tous les membres du jury qui vont juger ce modeste travail et nous faire profiter de leurs connaissances et remarques constructive à savoir comme président de jury **Mr MEGNOUNIF Abdessalem** et comme examinatrice **Mme BOUKLI HACENE Cherifa**.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et sincères remerciements à notre encadreur **Mr. BOUMEDIENE Maamar** et **Mr. CHIBOUB FELLAH Abdelghani** pour leur modestie, leur aide et leur disponibilité.*

*Nous exprimons notre gratitude à **Mr. CHIKH BOUZADA** pour avoir répondu favorablement à nos invitations.*

Nous voulons remercier nos collègues, avec lesquels nous avons passé des moments inoubliables au cours des années théorique et pendant la réalisation de ce travail, ils ont manifesté leur soutien et ont toujours encouragé à aller au-devant.

Enfin, nous remercions, également, toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERC

Dédicace

Dédicace

Avec l'aide et la protection d'ALLAH

S'est réalisé ce modeste travail.

Et je le dédie:

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

A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse et de force, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, **Ma chère mère** que dieu la prête une longue vie plein d'honneur...

A mes deux petit frères : *Ahmed* et *Benamar*

A ma seule et unique sœur : *Fatima Zahra*,

A mes professeurs de département d'hydraulique sans exception, qui m'ont
Accompagné durant mes études.

A mes collègues de l'étude au Département d'hydraulique sans exception.

A tous mes amis, en particulier : mon binôme T. Mohamed Amine, KH. Yasser, CH.

Redouane, R. Bilal, B Azzedine,.....

A toute personne qui éprouve les sentiments de joie en consultant mon travail.

A toute ma famille ... A tous qui m'aiment.

 *CHABKJ, Mohamed*

Dédicace

Dédicace

A

la mémoire de mon chér Père Abdel-hafid
*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime,
le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour
vous, J'aurais aimé que tu sois à mes cotés ce jour....
Que Dieu puisse l'accueillir dans son vaste paradis*

A ma très chère mère, qui n'a pas cessée de
m'encourager et prier pour moi et qui représente pour moi la source de l'amour et la
tendresse.

A mes chères soeurs

A ma nièce Amira & mes neveux Ayoubé , Rayane , Aymen
A toute ma famille pour l'amour et le respect qu'ils m'ont toujours
accordé.

A mon binôme Le Beau frère Chebki Mohamed

A tous mes chers amis

*Djelouli Yacine , Cherif Tarik , Ammour Mohamed, MOUffek Mohamed , Ben aïssa Azzedine
,Derras Sidi Mohamed*

A toutes la promotion " Hydraulique Urbaine 2019/2020 "

Résumé

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à évaluer les performances de fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Chatt El Hillel qui est située au niveau de la Wilaya de Ain Témouchent sur la base de données qui nous ont été fournies par la station sur des mesures effectuées sur les paramètres hydrauliques et physico-chimiques de l'eau produite. Cette station utilise comme procédés de dessalement celui de l'osmose inverse (OI). Les résultats obtenus sur 7 jours de mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée montrent que la qualité physico-chimique de l'eau produite est conforme aux normes Algériennes de potabilité: un pH compris entre 8.42 et 8.5 et une dureté < 60 mg/l de CaCO_3 . Les valeurs de la conductivité électrique varient entre $1248 \mu\text{S/cm}$ et $1565 \mu\text{S/cm}$ et sont largement inférieures à $2800 \mu\text{S/cm}$ limite admissible pour l'eau de consommation. Les paramètres hydrauliques discutés montrent les bonnes performances de la station en matière de fonctionnement et de production d'eau dessalée journalière: Taux de conversion moyen de 45 %, indice de colmatage SDI < 3 , un débit moyen horaire autour de $8338 \text{ m}^3/\text{h}$ et une pression de refoulement de la pompe HP < 70 bars.

Mots clés :

Station de dessalement, Chatt El Hillel, osmose inverse, paramètres hydrauliques, paramètres physico-chimiques de l'eau, normes de potabilité.

Résumé

Abstract

The objective of this study is to evaluate the operational performance of the seawater desalination plant in Shatt Al-Hilil located in the state of Ain Temouchent on the basis of data provided to us by the station on the measurements made on the hydraulic and physical-chemical parameters of the produced water. This plant uses reverse osmosis (RO) as a desalination process. The results obtained over 7 days of measurements of the physicochemical parameters of the treated water show that the physicochemical quality of the water produced complies with Algerian standards of drinkability: a pH between 8.42 and 8.5 and a hardness <60 mg / l of CaCO_3 . The values of the electrical conductivity vary between $1248 \mu\text{S} / \text{cm}$ and $1565 \mu\text{S} / \text{cm}$ and are well below the $2800 \mu\text{S} / \text{cm}$ admissible limit for drinking water. The hydraulic parameters discussed show the good performances of the station in terms of operation and production of daily desalinated water: Average conversion rate of 45%, SDI clogging index <3 , an hourly average flow rate around $8338 \text{ m}^3 / \text{h}$ and a delivery pressure of the HP pump <70 bars.

Keys words:

Desalination plant, Chatt El Hillel, reverse osmosis, hydraulic parameters, physicochemical parameters of the water, drinking standards.

Résumé

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الأداء التشغيلي لمحطة تحلية مياه البحر في شاط الهليل الواقعة بولاية عين تموشنت على أساس البيانات المقدمة إلينا من قبل محطة على القياسات التي أجريت على المعلمات الهيدروليكية والفيزيائية الكيميائية للمياه المنتجة. تستخدم هذه المحطة التناضح العكسي (RO) كعملية تحلية. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها على مدى 7 أيام من القياسات الفيزيائية والكيميائية للمياه المعالجة أن الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه المنتجة تتوافق مع المعايير الجزائرية لقابلية الشرب: درجة حموضة بين 8.42 و 8.5 و صلابة >60 mg / l of CaCO3 تختلف قيم التوصيل الكهربائي بين 1248 μ S / cm و 1565 S / cm وهي أقل بكثير من الحد المسموح به S / cm 2800 لمياه الشرب. توضح المعلمات الهيدروليكية التي تمت مناقشتها الأداء الجيد للمحطة من حيث تشغيل وإنتاج المياه المحلاة يومياً: متوسط معدل التحويل 45% ، مؤشر انسداد SDI >3 ، متوسط معدل التدفق بالساعة حوالي 8338 متر مكعب / ساعة و ضغط توصيل مضخة HP >70 بار

الكلمات المفتاحية:

محطة تحلية مياه ، شط الهليل ، التناضح العكسي ، المعايير الهيدروليكية ، المعايير الفيزيائية والكيميائية للمياه ، معايير الشرب.

Table des matières

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vii
Liste des Abréviations	viii
Introduction Générale	1
I. Chapitre I : Généralités sur le dessalement de l'eau et les paramètres de potabilité	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres.....	3
I.2.1 Les eaux de mer	3
I.2.2 Les eaux saumâtres.....	4
I.3 Le dessalement de l'eau dans le monde et en Algérie.....	4
I.3.1 Définition du dessalement	4
I.3.2 Le dessalement dans le monde.....	4
I.3.3 Le dessalement de l'eau en Algérie.....	6
I.4 Impacts environnementaux du dessalement de l'eau	8
I.4.1 La pollution de la saumure	8
I.4.2 Impacts négatifs du dessalement.....	9
I.5 L'eau potable et les paramètres de potabilité de l'eau	10
I.5.1 Définition de l'eau potable	10
I.5.2 Les paramètres de potabilité de l'eau	10
I.5.2.1 Paramètres organoleptiques.....	10
I.5.2.2 Paramètres physico-chimiques	11
I.5.2.3 Paramètres microbiologiques.....	14
I.5.3 Les normes de potabilités	14
I.6 Structure générale d'une installation de dessalement.....	18
I.7 Procédés de dessalement.....	18
I.7.1 Les procédés de distillation.....	18
I.7.1.1 Distillation à simple effet	19
I.7.1.2 Distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED).....	19
I.7.1.3 Distillation à détente étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF).....	20
I.7.1.4 La distillation solaire.....	21
I.7.2 Dessalement membranaire.....	22
I.7.2.1 Dessalement par électrodialyse.....	22

Table des matières

I.7.2.1.1	Définition.....	22
I.7.2.1.2	Principe de fonctionnement	23
I.7.2.1.3	Les membranes d'électrodialyse.....	23
I.7.2.1.4	Avantages et inconvénients de Dessalement par électrodialyse	24
I.7.2.2	Dessalement par osmose inverse	24
I.7.2.2.1	Principe.....	24
I.7.2.2.2	Schéma général d'une installation d'osmose inverse	25
I.7.2.2.3	La pression osmotique.....	25
I.7.2.2.4	Membranes d'osmose inverse.....	26
I.7.2.2.5	Modules d'osmose inverse	28
I.7.2.2.6	Avantages et inconvénients des modules d'osmose inverse.....	30
I.7.2.2.7	Avantages et inconvénients du procédé d'osmose inverse.....	31
I.8	Coûts du dessalement	31
I.9	Conclusion	32
II.	Chapitre II: Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal	
	33	
II.1	Introduction.....	33
II.2	Situation géographique	33
II.3	Présentation du promoteur de projet	34
II.4	Présentation de la station SDEM.BWC	35
II.5	Description du fonctionnement de la station	36
II.5.1	captage d'eau de mer :.....	37
II.5.1.1	Filtration mécanique :	38
II.5.1.2	Chloration.....	38
II.5.2	Pompage de l'eau de mer.....	39
II.5.3	. Prétraitement de l'eau de mer	40
II.5.3.1	Prétraitement chimique	40
II.5.3.1.1	<i>Traitement par chlorure ferrique (coagulation)</i>	40
II.5.3.1.2	<i>Traitement par acide sulfurique (neutralisation du pH)</i>	40
II.5.3.1.3	<i>Injection de Meta bisulfite sodique (neutralisation du chlore libre)</i>	40
II.5.3.1.4	<i>Dosage d'anti incrustant</i>	41
II.5.3.2	Prétraitement physique.....	41
II.5.3.2.1	<i>Filtration à sable</i> :	41
II.5.3.2.2	Filtration anthracite :	42
II.5.3.2.3	Filtration à cartouches	43
II.5.4	L'étape d'osmose inverse	44
II.5.4.1	Installation de l'osmose inverse.....	44

Table des matières

II.5.4.1.1	<i>Pompe à haute pression (HP)</i>	44
II.5.4.1.2	<i>Pompe à basse pression (booster)</i> :	45
II.5.4.1.3	<i>Système de récupération d'énergie</i>	46
II.5.4.1.4	<i>Unité de l'osmose inverse</i> :	46
II.5.5	Le post traitement	47
II.5.5.1	Reminéralisation :	48
II.5.5.2	Désinfection finale :	48
II.6	Caractéristiques de l'eau traitée	48
II.7	Stockage et le refoulement d'eau au le client	48
II.8	Bâtiment de saumure	49
II.9	Equipements auxiliaires de la station sont	49
III.	Chapitre III : Matériel et méthodes	52
III.1	Prélèvement et échantillonnage	52
III.1.1	Sites de prélèvements	52
III.1.2	Mode de prélèvement	52
III.1.3	Analyses physico-chimiques :	53
III.1.3.1	Mesure du Potentiel d'hydrogène (pH)	53
III.1.3.2	Mesure de la Température	54
III.1.3.3	Mesure de la Turbidité	54
III.1.3.4	Mesure de la conductivité	56
III.1.3.5	Mesure de l'Alcalinité	57
III.1.3.6	Mesure de la Dureté Total (TH)	58
III.1.3.7	Chlore libre, chlore total et chlore combiné :	60
III.1.3.8	Mesure des solides dissous totaux (TDS) :	62
III.1.3.9	Mesure de l'indice de colmatage (SDI)	63
III.1.3.10	Indice de Langelier (LSI)	64
III.2	Paramètres hydrauliques	66
IV.	Chapitre IV : Résultats et interprétations	67
IV.1	Introduction	67
IV.2	Performances de traitement et qualité de l'eau	67
IV.2.1	La température :	67
IV.2.2	Le pH	68
IV.2.3	La conductivité électrique	69
IV.2.4	La dureté	70
IV.2.5	Le total de sel dissous (TDS)	70
IV.2.6	L'alcalinité	71
IV.2.7	L'indice de Langelier	72

Table des matières

IV.2.8	Le chlore libre	73
IV.2.9	La turbidité.....	74
IV.3	Performances de fonctionnement hydraulique	75
IV.3.1	Taux de conversion	75
IV.3.2	L'indice de colmatage SDI.....	76
IV.3.3	La variation de débit instantané pour chaque rack :.....	76
IV.4	Conclusion.....	77
Conclusion Générale		78

Liste de figure

Liste des figures

Figure 1: Capacités de dessalement dans le monde	5
Figure 2: Répartition du dessalement dans le monde	6
Figure 3: Situation géographique des stations de dessalement en Algérie	8
Figure 4: Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer	18
Figure 5: Distillateur simple effet	19
Figure 6: Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)	20
Figure 7: Schéma de principe d'un système de distillation par détente successives	21
Figure 8 : Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple	22
Figure 9: Principe de dessalement par l'électrodialyse	23
Figure 10: Schéma du procédé d'osmose inverse	24
Figure 11: Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse	25
Figure 12: Membranes d'osmose inverse	27
Figure 13: Schéma d'un module plan.....	28
Figure 14: Représentation d'un module spiralé	29
Figure 15 Structure inverse d'un module tubulaire.....	29
Figure 16: Module à fibres creuses à peau interne.....	30
Figure 17: Photo de la station de dessalement de l'eau de mer de Beni Saf	33
Figure 18: Situation géographique de la SDEM de Béni Saf	34
Figure 19: les différents collaborateurs de la station BWC	35
Figure 20: Schéma représentant les procédés de dessalement de la station de dessalement Chatt El Hillel.....	36
Figure 21: Schéma représentant l'émissaire de captage.....	37
Figure 22: Tuyaux de captage de l'eau de mer pour la station	38
Figure 23: Filtres rotatifs	38
Figure 24: Citernes de Hypochlorite de sodium	39
Figure 25: pompes de pompage et bassin de stockage	40
Figure 26: Réservoirs des différents dosages chimiques.....	41
Figure 27: zone des filtres à sable et à anthracite.....	42
Figure 28: Filtres à cartouches	44
Figure 29: Photo d'une pompe à haute pression	45
Figure 30: Pompe booster.....	45
Figure 31: Les récupérateurs d'énergie (ERI) d'un module d'OI de le SDEM.....	46

Liste de figure

Figure 32:Unité d'osmose inverse.....	47
Figure 33: La membrane spirale de l'osmose inverse	47
Figure 34:Photo du Calcite	48
Figure 35: Bassin de saumure	49
Figure 36: bâtiment de lavage des filtres	50
Figure 37: le laboratoire de la SDEM Chatt El Hillel	50
Figure 38: la salle de contrôle de la SDEM Chatt El Hillel.....	51
Figure 39: Points de prélèvements	52
Figure 40: pH mètre VWR	53
Figure 41: Turbidimètre TURB 550 IR	54
Figure 42: Conductimètre VWA EC 300	56
Figure 43: Spectrophotomètre.....	61
Figure44 :Appareil de détermination de SDI	64
Figure 45: la salle de contrôle de la SDEM de Béni saf.....	66
Figure 46: Variation journalière de la température d'eau produite (perméat) durant la période d'étude.	68
Figure 47 :Variation journalière du pH de l'eau produite durant les 7 jours de l'étude.....	68
Figure 48: Variation journalière de la conductivité d'eau à la sortie de la station durant la période d'étude.	69
Figure 49: Variation journalière de la concentration de la dureté de l'eau produite au niveau de la station de Chatt El Hillal durant la période des 07 jours.....	70
Figure 50: Variation journalière de la concentration du TDS dans l'eau produite durant la période d'étude.	71
Figure 51: Variation journalière des concentrations de l'alcalinité de l'eau produite au niveau de la station durant les 7 jours d'étude.....	72
Figure 52: Variation journalière de l'indice de Langelier (LSI) durant les 7 jours de mesure.....	73
Figure 53: Variation journalière de la concentration du chlore libre dans l'eau traitée durant les 7 jours de l'étude.....	74
Figure 54: Variation journalière de la concentration de la turbidité au niveau de la station durant les 5 jours de mesure.	74
Figure 55: Variation du taux de conversion de chaque rack de la SDEM de Chatt El Hillal.....	75
Figure 56: Variation journalière de l'indice de colmatage des membranes mesuré sur une période de 5 jours.....	76
Figure 57: Variation du débit instantané pour chaque rack.	77

Liste de tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Salinité des mers fermées ou peu ouvertes	3
Tableau 2: Les principales unités de dessalement en Algérie	7
Tableau 3: Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure.	9
Tableau 4: Relation entre la conductivité et la minéralisation de l'eau.	11
Tableau 5: Les normes de potabilité de l'eau selon l'OMS.....	14
Tableau 6: Avantages et inconvénients des membranes organiques	27
Tableau 7: Avantages et inconvénients des modules d'osmose inverse	30
Tableau 8: Valeurs garanties pour l'eau de mer traitée par la SDEM Chatt El Hillel	48
Tableau 9: Observations lors de titrage d'un échantillon	58
Tableau 10: Classification de l'eau selon la dureté totale	58

Liste des Abréviations

Liste des Abréviations

ADE : Algérienne des eaux.

AEC: Algerian energy company.

BWC: Beni Saf Water Company

°C : Degré Celsius.

C₀ : Concentration de TDS de l'eau de mer (mg/l)

C_p : Concentration de TDS de l'eau produite (mg/l)

DCS : Système de contrôle digital.

DN : Diamètre nominale

ED : Electrodialyse.

EDTA : Acide éthylène diamine tétraacétique

ERI : Système de récupération d'énergie.

HP : Haute pression.

LSI : Indice de Langelier

MED : Multi-Effet-Distillation (distillation à effet multiple).

MES : Matière en suspension en (mg/l).

MSF : Multi-Stage-Flash distillation (distillation à détente étagées).

NTU : Nephelométric Turbidity Unit.

OI : Osmose Inverse.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

Pa : Pascals

PEHD : Polyéthylène haut densité

PH : Potentiel d'hydrogène.

Ppm : Partie par million.

Q₀ : Débit d'alimentation (m³/j).

Q_c : Débit de concentrât (m³/j).

Q_p : Débit de perméat (m³/j).

Q_{sp} : Débit spécifique (l/h.m²).

R : Constante des gaz parfaits (0,081 L.atm/K/mol).

SDEM : Station de dessalement d'eau de mer.

SDI : L'indice de colmatage SDI

SNCC: Système numérique de contrôle et de commande

T : Température (°C).

Liste des Abréviations

TA : Titre alcalimétrique.

TAC : Titre alcalimétrique complet (mg/l) en CaCO_3 .

TDS : Total de Sel Dissous (mg/l).

TH : Titre hydrométrique (mg/l) en CaCO_3

USD: United States Dollar

π : Pression osmotique (bar).

Y : Taux de conversion (%).

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'eau est indispensable pour la vie mais sa disponibilité n'est pas assurée partout. La pénurie d'eau se pose dans de nombreux pays à travers le monde. La terre est souvent appelée la planète bleue parce que l'eau recouvre la majorité de la surface de la terre : environ 71 %. De plus, le volume d'eau sur la terre est estimé à environ 1,4 milliard de km³ [1].

La croissance démographique dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande en eau potable tandis que l'industrialisation, l'irrigation des sols et l'élévation des niveaux de vie se traduisent par un accroissement supplémentaire de la consommation d'eau douce par habitant.

Pour faire face à cette pénurie d'eau, le dessalement de l'eau se présente comme une alternative quand les ressources conventionnelles (cours d'eau, nappes phréatiques) viennent à être insuffisantes.

L'Algérie parmi les pays qui utilise la technique de dessalement des eaux de mer. Elle a développé un programme ambitieux dans ce domaine en mettant en place, en premier lieu, 23 stations « Monobloc », réparties sur un littoral qui s'étale sur plus de 1200 Km de long. Suite à cette expérience, 14 grandes stations avec une capacité totale de 2.260.000 m³/j ont été réalisées entre 2003 et 2011. Notons que la plus grande station a été mise en service en Avril 2015 avec une capacité de 500.000 m³/j, il s'agit de la station de Magtaâ (wilaya d'Oran). Selon les experts, la production d'eau par dessalement de l'eau de mer en Algérie, passe de 500.000 m³/j en 2008, 1.1 million m³/j en 2009 et 2.26 million m³/j en 2011 à 2.580.000 m³/j en 2020 [1].

Le dessalement, en soi, n'est pas une option de développement durable; c'est une alternative d'adaptation au changement climatique (les régions ayant un climat chaud) qui ne devrait être adoptée que lorsque toutes les autres possibilités « durables » ont déjà été exploitées (en particulier l'utilisation rationnelle de l'eau) et qui devrait se limiter à la production d'eau potable pour la consommation humaine.

L'objectif de notre travail est d'étudier les performances de fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Chatt El Hilal située dans la Wilaya de Ain Témouchent. La méthode de dessalement utilisée est la technique d'osmose inverse. Cette structure fournit de l'eau potable pour la wilaya et certaines localités de la zone côtière de la région d'Oran.

Le manuscrit de notre travail est divisé en deux parties: Partie théorique et partie expérimentale.

La partie théorique : présente trois chapitres :

Introduction Générale

- Le premier donne des généralités sur le dessalement de l'eau et les normes de potabilité,
- Le deuxième chapitre est réservé à la présentation et la description de la station de dessalement de Béni-saf.

La partie expérimentale: traite l'analyse des paramètres étudiés de la station de dessalement de l'eau de mer de Chatt El Hilal. Elle est décomposée en deux chapitres :

- Le troisième décrit les méthodes et le matériel utilisé dans notre travail,
- Le quatrième illustre les résultats expérimentaux obtenus ainsi que leurs interprétations.

Au terme de cette étude, une conclusion et des recommandations sont données.

PARTIE 01
ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I :

Généralités sur le dessalement de l'eau et les paramètres de potabilité

Chapitre I : Généralités sur le dessalement de l'eau, les paramètres de potabilité

I.1 Introduction

Les besoins en eau présents et futurs dans le monde accusent une croissance effective. Les demandes en eau augmenteront pour les pays du sud et de l'est. Il va de soi que des besoins d'une telle ampleur ne peuvent être uniquement couverts et satisfaits que si l'on a recours à des ressources en eau non conventionnelles, comme le recyclage et le dessalement de l'eau.

Le dessalement consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale et dans l'objectif est d'obtenir une eau potable douce [2].

I.2 Caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres

I.2.1 Les eaux de mer

L'eau de mer est une solution complexe qui contient tous les éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des matières organiques (teneur comprise entre 0.5 et 2 mg) et, naturellement à l'état dissous, les gaz présents dans l'atmosphère. L'eau de mer est faiblement alcaline. Son pH étant compris entre 7.5 et 8.4 [3].

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels dissous (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et des océans est de 35 g/L (27,2 g/L de Na Cl, 3,8 g/L de MgCl₂, 1,7 g/L de MgSO₄, 1,26 g/L de CaSO₄, 0,86 g/L de K₂SO₄). Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées [4].

Tableau 1: Salinité des mers fermées ou peu ouvertes [5].

Mer	Concentration (g/l)
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	~40
Mer Baltique	7
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe arabo-persique	40 à 70
Mer Noire	20

I.2.2 Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre, une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer.

Les eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Elles sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels, en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [4].

I.3 Le dessalement de l'eau dans le monde et en Algérie

I.3.1 Définition du dessalement

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage) est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable après traitement. La déminéralisation c'est la technique qui consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer l'excès des ions en solution causant une minéralisation excessive. L'élimination peut être obtenue grâce à des procédés variés de traitement des éléments constituant la solution saline, dont les plus répandus sont les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes [6].

I.3.2 Le dessalement dans le monde

La nécessité de recourir au dessalement de l'eau de mer est de plus en plus sollicitée dans le monde et l'adaptation de cette technique par de nombreux pays est en croissance continue. La production mondiale d'eau douce à partir d'eaux saumâtres ou salées dépasse 25 million m^3/j . Les principaux pays qui ont adoptés cette technique pour la production de l'eau douce sont : l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %) [7].

La capacité installée de dessalement augmente chaque année en moyenne de plus de 10 %. Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans 120 pays produisent environ 40 millions de m^3/j , dont les trois quarts issus de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur ces 40 millions, 75 % sont destinés à la consommation humaine, 25 % à un usage industriel ou agricole. Rappelons que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de m^3/j [8].

La répartition des usines de dessalement dépend de trois facteurs : une forte pénurie d'eau liée à l'aridité climatique, la proximité de la mer et une altitude basse et enfin la possibilité d'assumer financièrement un fort coût énergétique ce qui exclut pratiquement les régions pauvres [9]. Notamment, en Méditerranée les besoins en eau à présent et dans le futur s'amplifient d'une

Chapitre I : Généralités sur le dessalement de l'eau et les paramètres de potabilité

manière alarmante. Le dessalement est depuis longtemps une source importante d'eau dans certaines parties de la Méditerranée. Les usines de dessalement se trouvent dans les régions ayant un climat chaud, une pluviométrie relativement faible et imprévisible et où les ressources en eau ne peuvent répondre aux demandes de pointe [10]. L'Algérie et l'Espagne ont clairement opté pour cette option pour résoudre leur problème d'insuffisance. A ce jour, la Méditerranée représente environ le quart du dessalement mondial. Vers 2030, la région pourrait approcher le chiffre du dessalement mondial actuel (soit environ de 30 à 40 millions de m³/j) [11].

La figure (1) ci-dessous représente la capacité du dessalement dans le monde.

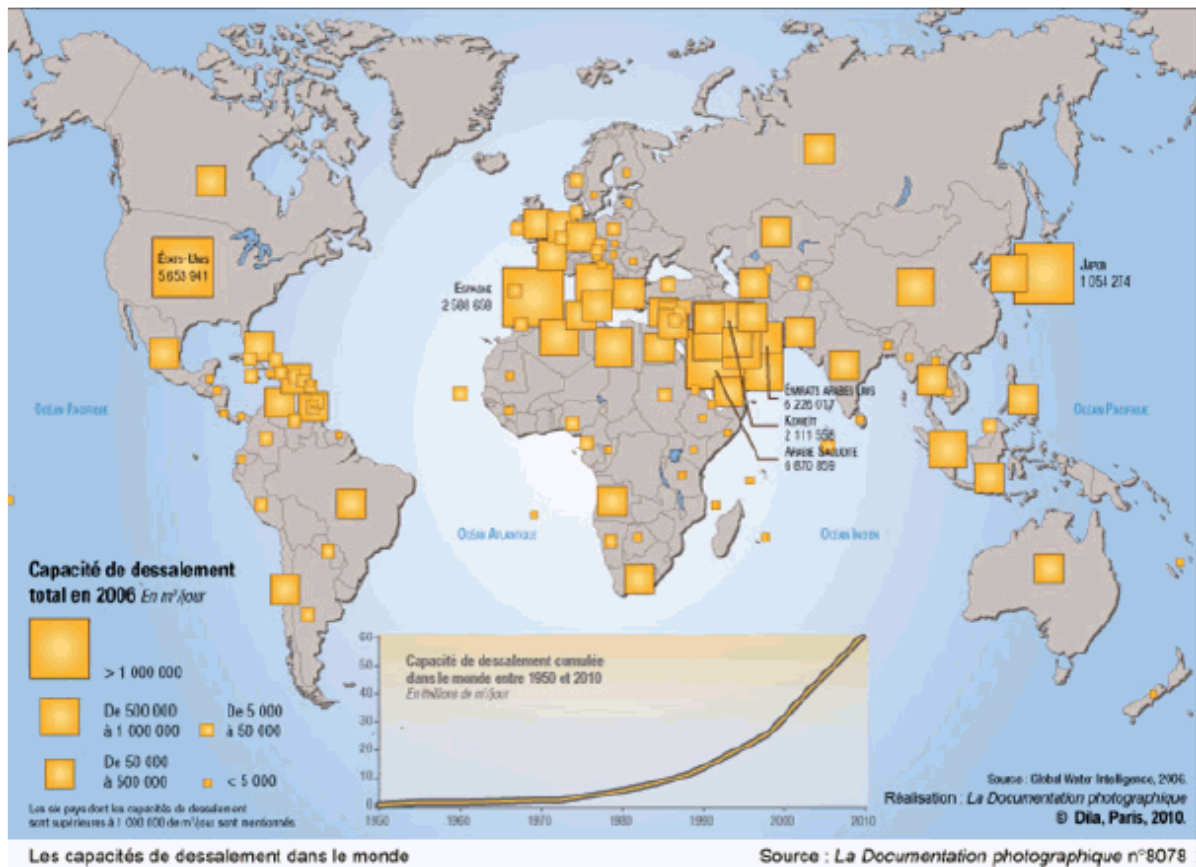


Figure 1: Capacités de dessalement dans le monde [8].

La figure (2) ci-dessous représente la répartition du dessalement dans le monde.

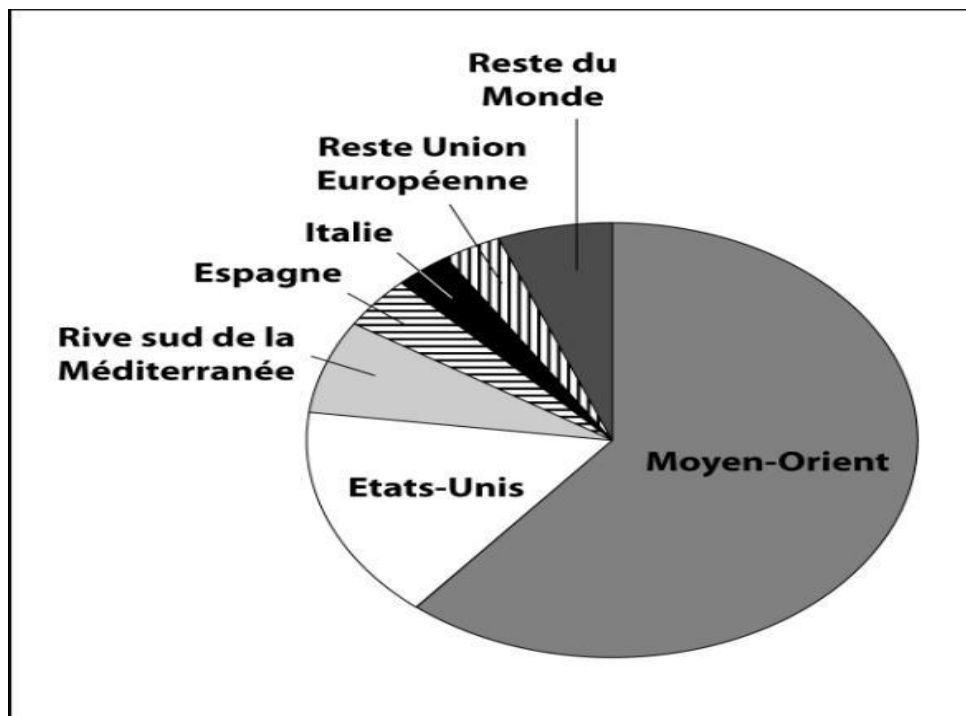


Figure 2: Répartition du dessalement dans le monde [9].

I.3.3 Le dessalement de l'eau en Algérie

À l'instar des autres pays méditerranéens, l'Algérie, est confrontée davantage à d'énormes problèmes en matière de politique de l'eau. La surcharge du littoral, les disparités entre zones rurales et urbaines, les périodes de sécheresse et l'accroissement de la pollution sont autant de facteurs qui déstabilisent l'équilibre déjà précaire de l'alimentation en eau [12].

La crise de ressources hydriques qui a menacé ces dernières années l'alimentation en eau potable la population dans diverses régions du pays a accentué l'intérêt de l'Algérie au dessalement. Le projet dessalement d'eau de mer fait partie d'un programme d'urgence décidé par le gouvernement pour pallier durablement au déficit en ces ressources [12].

En 1964, trois petits blocs de 8 m³/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). La distillation à multiple effet (MED) c'est le procédé utilisé. En 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j. Le multi stage flash (MSF) c'est le procédé utilisé. D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au processus des complexes de production de l'électricité (Cap Djinet à l'Est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda) [13]. Le ministre des Ressources en eau de l'Algérie a fait une déclaration en février 2019, la proportion d'eau dessalée est estimée à 17 % de l'eau distribuée qui est l'équivalent de 1.36 million m³/j [14].

Tableau 2: Les principales unités de dessalement en Algérie [15].

Nom	Wilaya	Année de mise en service	Capacité (m ³ /j)
Kahrama Arzew	Oran	2005	90 000
El-Hamma	Alger	2008	200 000
Skikda	Skikda	2009	100 000
Beni saf	Ain Temouchent	2009	200 000
Mostaganem	Mostaganem	2010	200 000
Honaine	Tlemcen	2010	200 000
Ouled Ben Ayad	Tlemcen	2010	200 000
Douaouda	Alger	2010	120 000
Cap Djenet	Boumerdes	2010	100 000
Mactaa	Oran	2010	500 000
Oued Sebt	Tipaza	2010	100 000
Tenès	Chlef	2010	200 000
Echatt	Taraf	2011	50 000
Total			2 260 000

La figure (3) ci-dessous représente la situation géographique des stations de dessalement en Algérie.

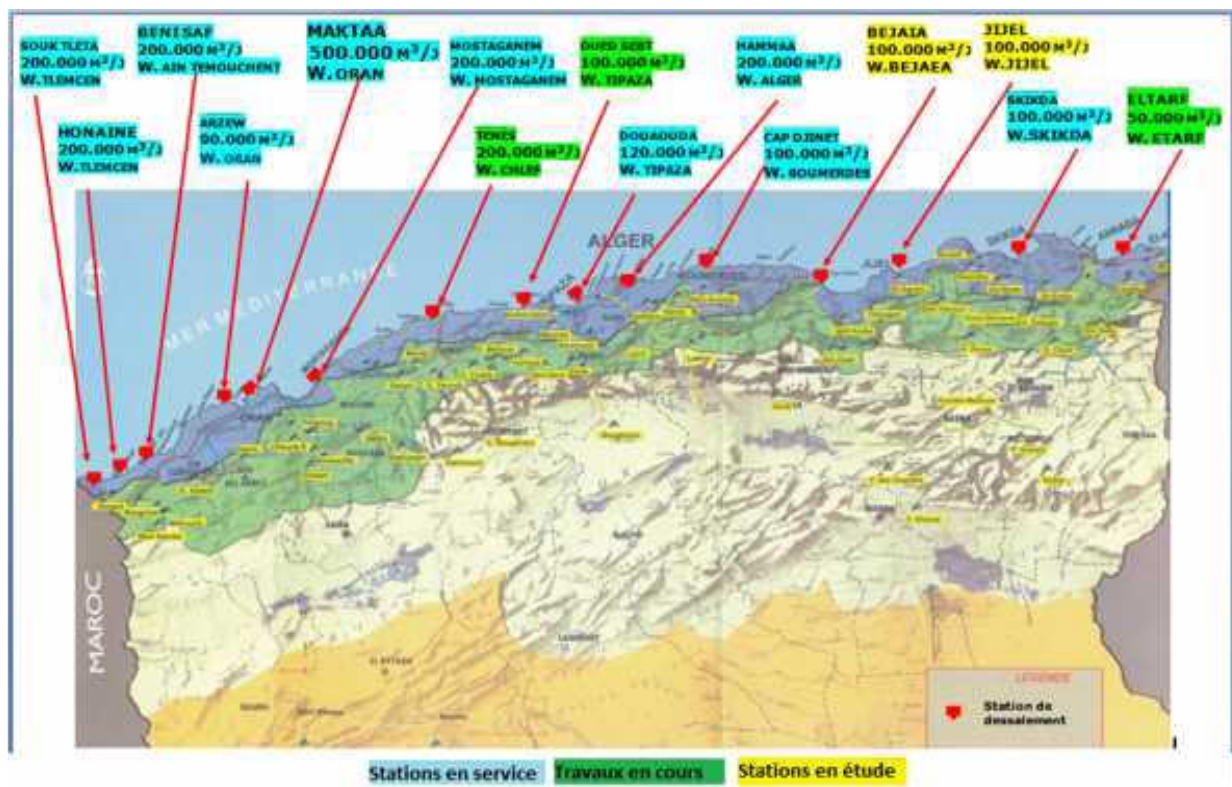


Figure 3: Situation géographique des stations de dessalement en Algérie [16].

I.4 Impacts environnementaux du dessalement de l'eau

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

Les activités de construction et d'exploitation se traduisent par une série d'impacts sur les zones littorales, qui affectent notamment la qualité de l'air, de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants (dunes de sables et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et ainsi l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit. Le principal impact environnemental associé aux procédés de dessalement provient de la production de saumure : solution à forte teneur en sels qui résulte de la «concentration» de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre dessalée [17].

I.4.1 La pollution de la saumure

La saumure est un sous produit du dessalement inévitable (contient les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements), qui est déchargée, généralement, dans l'environnement marin. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement

concentrée (TDS) est autour de 70.000 ppm sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contre-versée pendant beaucoup d'années. Cependant, c'est maintenant qu'elle est reconnue comme une décharge étendue de saumure, comme elle constitue une couche hyper saline au fond de la mer dû à sa plus grande densité. Elle a un potentiel qui affecte fortement la faune et la flore marines [18].

Ci-dessous, le tableau 3 représente les caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer et de la saumure (rejet).

Tableau 3: Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure [14].

Paramètres	Eau de mer	Rejet (saumure)
Conductivité (ms/cm)	47	73,5
Salinité (g/l)	37	60
Turbidité (NTU)	1,14	2,03
pH	7,61	7,31
T (°C)	20	20
[Ca ²⁺] (g/l)	0,449	0,841
[Mg ²⁺] (g/l)	0,998	2,013
Chlorure (g/l)	14,2	22,412
Sulfates (g/l)	3,7	2,573
TA (°F)	0	0
TAC (°F)	13	28

I.4.2 Impacts négatifs du dessalement

Les activités de dessalement d'eau de mer ont des impacts défavorables sur l'environnement. La plupart des impacts dérivent du positionnement des tubes d'alimentation et des canalisations de décharge de saumure.

Les sources d'eau appropriées pour le dessalement peuvent avoir des origines de base fondamentale: eau de mer et eau souterraine. Le dessalement d'eau de mer ou de l'eau saumâtre des usines d'osmose inverse peuvent avoir plusieurs aspects négatifs directs ou indirects sur l'environnement [19].

- Impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer.
- Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés.
- Impacts marins éco toxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer.
- Impacts de salinité.

I.5 L'eau potable et les paramètres de potabilité de l'eau

I.5.1 Définition de l'eau potable

Une eau potable est une eau douce chimiquement et biologiquement saine, conforme pour un usage lié à la consommation humaine pour éviter toute maladie. Les normes appliquées à une telle eau ne devraient pas être inférieures à celles proposées dans la dernière édition de "Normes internationales pour l'eau potable" publiée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). L'eau du robinet est très utilisée par les ménages car son niveau de potabilité est élevé [20].

I.5.2 Les paramètres de potabilité de l'eau

Une eau potable est considérée comme une eau destinée à la consommation humaine si elle répond à des exigences de qualité bien définies à l'égard de ses caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques qui ne doivent pas porter atteinte à la santé du consommateur. On distingue les paramètres suivants qui caractérisent une eau potable :

I.5.2.1 Paramètres organoleptiques

Une eau de consommation doit être limpide, fraîche, exempte de couleur ainsi que d'odeur et de saveur désagréables.

a. La couleur

La couleur de l'eau est due aux différents éléments qui s'y trouvent à l'état dissous ou colloïdal. Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 NTU. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques (acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire [21].

b. Goûts et odeurs

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur agréable. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère [22].

c. La turbidité

C'est la réduction de la transparence d'un liquide est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, la pluviométrie joue un rôle important dans les eaux superficielles et souterraines selon leur origine [23]. Pour la sécurité de l'eau de boisson, il faut une turbidité inférieure à 5 NTU (Unité néphélogéométrie de turbidité) [24].

I.5.2.2 Paramètres physico-chimiques

a. Température

La température c'est le facteur le plus appréciée Pour une eau de boisson. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. Élévation de température favorise la croissance des micro-organismes [24].

b. Potentiel d'hydrogène « pH »

Le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H⁺), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Le pH c'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau, il doit être surveillé au cours de toute opération de traitement [25]. Le pH doit être supérieur à 6.5 et inférieur à 8.5 dans les normes de l'OMS [25].

c. Conductivité électrique

La conductivité électrique est un indice de l'abondance des ions dans l'eau. La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous. La conductivité constitue un critère d'appréciation de la minéralisation globale d'une eau (tableau I.4), elle dépend de la température de l'eau, de la concentration et la nature des ions mobiles dissous dans cette eau [26]. L'unité de la conductivité électrique c'est micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) [27].

Tableau 4:Relation entre la conductivité et la minéralisation de l'eau [26].

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Appréciation de la minéralisation
Conductivité < 100	Minéralisation très faible
100 < conductivité < 200	Minéralisation faible
200 < conductivité < 333	Minéralisation moyenne accentuée
333 < conductivité < 666	Minéralisation moyenne
666 < conductivité < 1000	Minéralisation importante
Conductivité > 1000	Minéralisation excessive

d. La dureté totale de l'eau (TH)

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na⁺, K⁺) et H⁺. Elle est souvent due aux ions Ca²⁺ et Mg²⁺. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO₃ par litre [28]. Dans l'eau, sont déterminés :

- La dureté totale ou titre hydrotimétrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- La dureté calcique qui correspond à la teneur globale en sels de calcium ;
- La dureté magnésienne qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium ;
- La dureté carbonatée correspond à la teneur en hydrogencarbonate et carbonate de calcium et de magnésium [29].

e. Matières en suspension

Elles représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, etc. Pour une eau qui contient des suspensions à des teneurs de quelques milligrammes par litre, ne pose pas de problèmes majeurs [30].

f. Matières organiques dissoutes

Les matières organiques dissoutes Dans les eaux naturelles, elles représentent plusieurs familles de composés parmi lesquelles on peut citer les acides humiques, les acides carboxyliques et les acides hydrates de carbone. Elles sont caractérisables globalement par l'oxydabilité au permanganate ou le carbone organique total [31].

g. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité correspond à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes.

- Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et carbonates alcalins caustique.
- Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogencarbonates [24].

L'unité utilisée est le degré français ($1^{\circ}f = 10 \text{ mg. L}^{-1} \text{ de CaCO}_3 = 0,2 \text{ milliéquivalent/L}$ [32].

h. Cations et anions

Les eaux douces, qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle sont plus ou moins minéralisées par des sels naturels. Il est souvent très important de connaître précisément cette minéralisation en plus des indications données par les paramètres globaux de type « titre » et « potentiel ». Par ailleurs, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux sont considérés comme indésirables ou toxiques selon l'usage auquel l'eau douce est destinée (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement...) [32].

➤ **Le Calcium Ca^{2+}**

Le calcium est un élément chimique avec le symbole « Ca ». C'est un alcalino-terreux extrêmement réparti dans la nature et en particulier dans les roches sous forme de carbonates. C'est un composant majeur de la dureté. Il est également un nutriment important pour la structure et le métabolisme des plantes. Il est également responsable de la dureté de l'eau.

➤ **Le Magnésium Mg^{2+}**

Élément chimique avec le symbole « Mg ». Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté d'une eau à partir d'une concentration de 100 mg/l et donne un goût désagréable à l'eau. Comme le calcium, c'est un élément indispensable pour la croissance. Il joue le rôle d'élément plastique dans l'os et dynamique dans les systèmes enzymatiques et hormonaux. Il est présent dans l'eau souvent à de forte concentration [24].

➤ **Les Bicarbonates HCO_3^-**

L'ion de bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. On le trouve souvent à une concentration de 5-500 mg/L exprimée en CaCO_3 [14].

➤ **Le Chlore Cl^-**

Les sels du chlore sont très solubles dans l'eau, le chlore est fréquent dans les réserves d'eau douce à un taux de 10 à 100 mg/l [14].

➤ **Les nitrates NO_3^-**

Constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, il se trouve fréquemment dans les eaux naturelles. Ils ont pour origine une nitrification de l'azote, mais peuvent également être en liaison avec la teneur en nitrates des terrains traversés [12].

➤ **Les nitrites NO_2^-**

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Leur présence est due, soit à l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal sous l'action des bactéries nitreuses de types nitrosomonas, soit à la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes [12].

i. Pollution des eaux par les métaux lourds

La pollution des eaux se fait par des métaux lourds souvent sous forme de traces, qui peuvent provoquer des intoxications chez l'homme par la consommation de l'eau contaminée en dépassant les limites fixées par la réglementation et l'Organisation Mondiale de la Santé. Certains de ces minéraux lourds sont : le cadmium, le fer, le plomb, l'arsenic, le nickel, et le bore [33].

I.5.2.3 Paramètres microbiologiques

Le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau des microorganismes pathogènes, et avec des quantités supérieures au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires [34]. Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné non seulement par les propriétés de l'agent infectieux, mais aussi par la réceptivité de l'hôte. Il convient de préciser que la mise en œuvre de procédés élémentaires de désinfection telle que la chloration de l'eau, permet d'éradiquer totalement les fléaux tels que le choléra, la dysenterie bacillaire ou les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes [34].

I.5.3 Les normes de potabilités

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau.

A. Normes OMS

L'Organisation Mondiale de la Santé, a instauré quelques lignes directrices concernant la qualité requise pour que l'eau soit dite potable [12].

Tableau 5: Les normes de potabilité de l'eau selon l'OMS [35].

Paramètres physico-chimique	Unités	Normes OMS
Température	°C	< 25
pH	/	6,5 – 8,5
Conductivité	μS /cm	180 – 1000
NH ₄ ⁺	mg/l	0,5
NO ₂ ⁻	mg/l	0,2
NO ₃ ⁻	mg/l	≤ 50
Ca ²⁺	mg/l	200
Mg ²⁺	mg/l	150
Na ⁺	mg/l	≤ 200
K ⁺	mg/l	≤ 12
Fe ²⁺	mg/l	≤ 0,3
Al ³⁺	mg/l	≤ 0,3
HCO ₃ ⁻	mg/l	450
Cl ⁻	mg/l	≤ 250
SO ₄ ²⁻	mg/l	≤ 250

B. Normes Algériennes

Le décret exécutif n°13-15 du 09 mars 2014 fixe les normes relatives à la qualité de l'eau de consommation humaine.

- Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine

Tableau 1 : PARAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C		4
Paramètres physico-chimiques	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	65 pour les eaux dessalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	pH	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	μS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	500
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Tableau 2 : PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITEES (Suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITEES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	Eaux conventionnelles : 1 Eaux dessalées ou déminéralisées : 1.3
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Manganèse	□ g/l	50
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Phosphore	mg/l	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
Cuivre	mg/l	2	

Chapitre I : Généralités sur le dessalement de l'eau et les paramètres de potabilité

Cyanure	µg/l	70
Mercure	µg/l	6
Nickel	µg/l	70
Plomb	µg/l	10
Sélénium	µg/l	10
Chlore	mg/l	5
Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
Zinc	mg/l	5

Paramètres microbiologiques

Escherichia Coli	n/100ml	0
Entérocoques	n/100ml	0
Bactéries sulfitoréductrices	n/20ml	0

I.6 Structure générale d'une installation de dessalement

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagée, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière,
- Un pré-traitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte,
- Le procédé de dessalement lui-même, qui peut relever de deux principes généraux de la chimie. Certaines usines exploitent des procédés thermiques (congélation, distillation). Les autres ont recours aux procédés utilisant des membranes (osmose inverse, électrodialyse).
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement. Elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre [36].

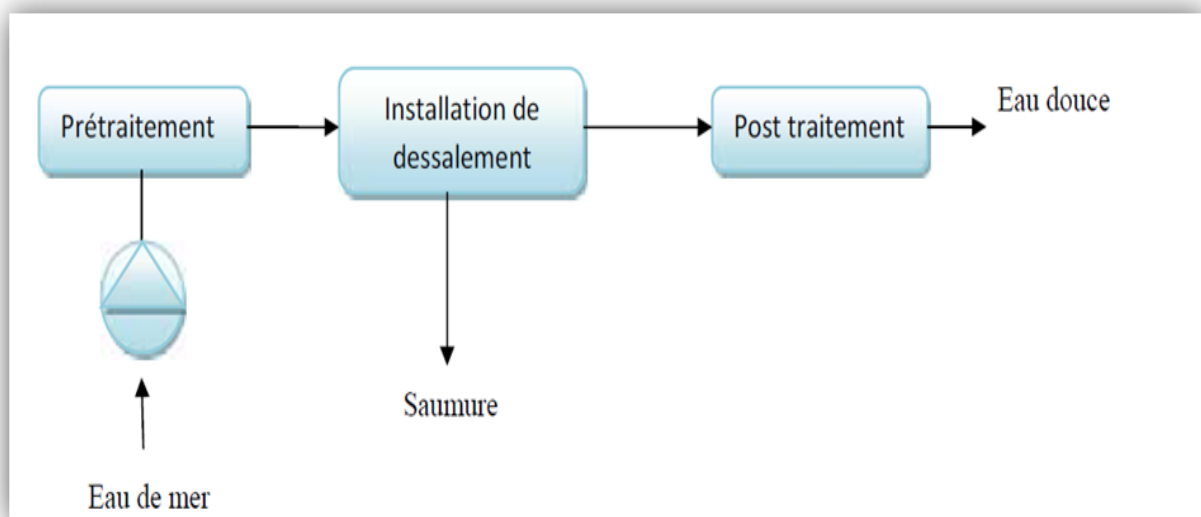


Figure 4: Diagramme de processus de dessalement de l'eau de mer [5].

I.7 Procédés de dessalement

Les principaux procédés industriels actuellement utilisés sont des développements des méthodes présentées précédemment; ils se classent en deux catégories : les procédés de distillation et les procédés membranaires.

I.7.1 Les procédés de distillation

L'eau de mer est chauffée jusqu'à évaporation. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels et les autres substances. La vapeur d'eau est condensée pour obtenir de l'eau douce [37].

I.7.1.1 . Distillation à simple effet

On chauffe l'eau et on condense la vapeur obtenue qui se trouve ainsi débarrassée du sel. En effet, les sels dissous dans l'eau n'étant pas vaporisables dans les mêmes conditions que l'eau, la vapeur obtenue par chauffage d'eau salée est constituée d'eau pure.

Dans ce cas (voir figure 5), dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer (voir figure ci-dessous). La vapeur produite se condense au contact d'un second serpentin alimenté par de l'eau de mer froide. L'eau pure condensée est recueillie dans un réceptacle situé sous le serpentin d'eau froide d'où un groupe électropompe la soutire. Une pompe évacue les gaz incondensables et une autre pompe évacue à la mer l'eau de mer concentrée ou saumure [A].

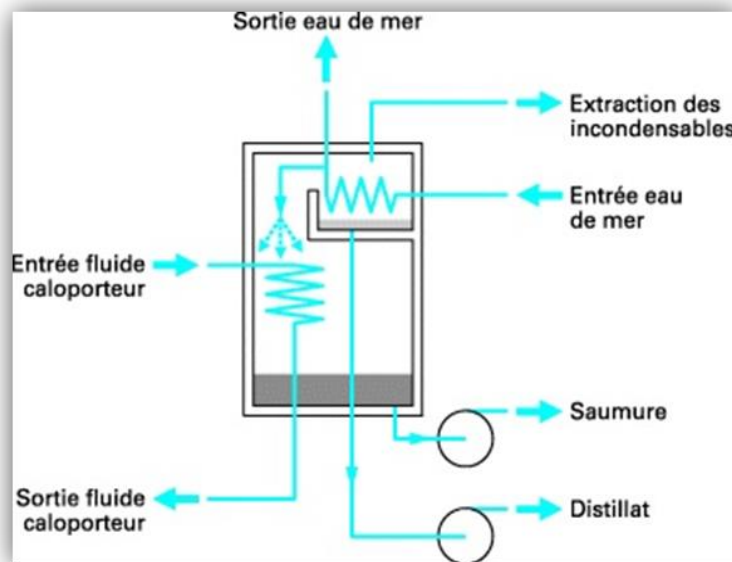


Figure 5: Distillateur simple effet [A].

I.7.1.2 Distillation à multiples effets (Multi-Effet distillation MED)

Ce procédé permet d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet afin d'en augmenter le rendement en récupérant la chaleur d'apport pour une nouvelle distillation et le processus s'effectue comme suit:

- Dans la première cellule de distillation, l'eau de mer ruisselle sur un serpentin de tubes chauffés ou sur des plaques, grâce à la chaudière. Elle se transforme ainsi en vapeur à seulement 70°C, grâce à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Cela évite l'entartrage des tuyaux
- L'eau de mer non transformée en vapeur s'accumule au fond de la cellule. Elle se concentre davantage de sels car celui-ci n'est pas vaporisable
- L'eau est pompée, puis envoyée dans la cellule 2

- La vapeur entre dans la deuxième cellule, puis se condense dans le serpentin. Ce passage à l'état liquide dégage assez d'énergie pour en céder à l'eau de mer. Celle-ci ruisselle sur les tubes ainsi chauffés et se vaporise
- Le même processus se répète dans la troisième cellule. En pratique, on peut placer en série jusqu'à 6 ou 7 cellules de distillation
- Le dernier serpentin est refroidi par l'eau de mer
- La vapeur condensée dans les serpentins donne de l'eau douce. Il faut 2 à 4 litres d'eau salée pour obtenir 1 litre d'eau douce [B].

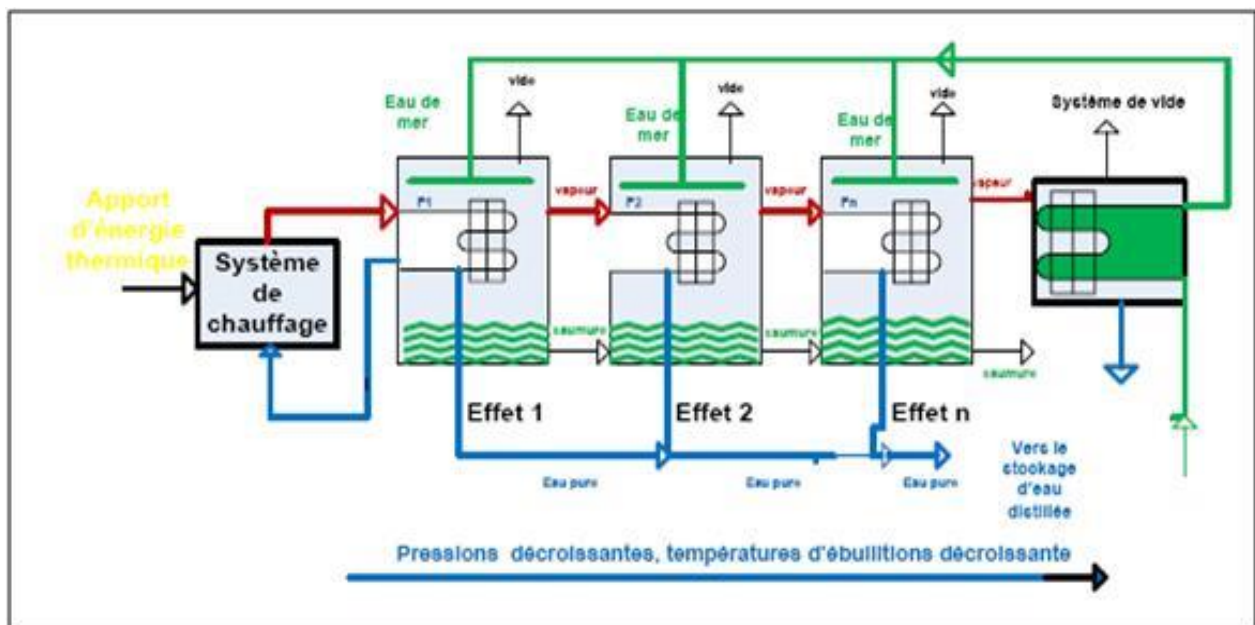


Figure 6: Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) [A].

I.7.1.3 Distillation à détonées étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF)

Cette technique est quasiment identique à la précédente (MED). Ce procédé a pour but de maintenir la pression durant la durée du chauffage. Une fois que la température est arrivée à 120°C, elle est introduite dans un étage où la pression est faible. Instantanément, une vaporisation par détente a lieu, appelée flash. Une partie de l'eau s'évapore et va se placer dans les tubes condenseurs en haut de l'étage. L'eau de mer chaude se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Ce phénomène sera réutilisé dans le second étage où la pression est plus faible et ainsi de suite. Dans une unité MSF industrielle, on peut retrouver jusqu'à 40 étages. De même que pour la distillation multiples effets, le coût est réduit et seule la chaudière nécessite une énergie extérieure [C].

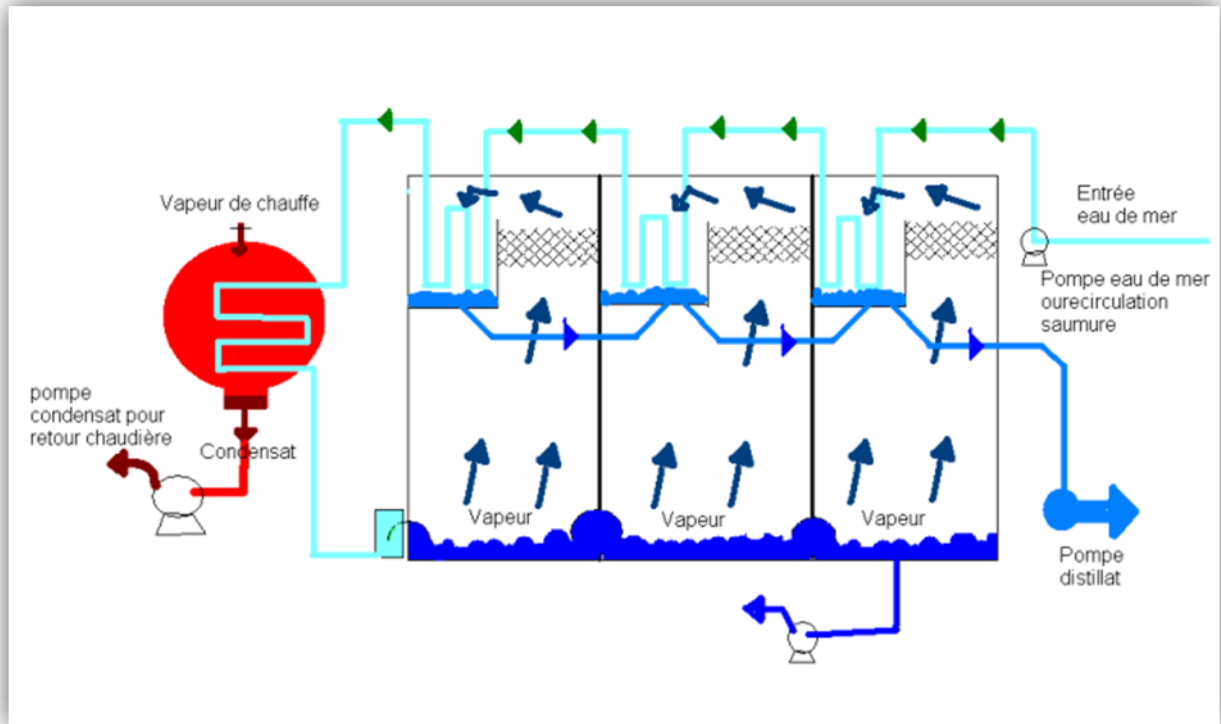


Figure 7: Schéma de principe d'un système de distillation par détentes successives [C].

I.7.1.4 La distillation solaire

Le dessalement des eaux saumâtres ou des eaux de mer par distillation solaire est une opération très utilisée dans les régions arides, à l'échelle d'un petit village ou même d'une famille. Plusieurs types de distillateurs solaires ont été réalisés. Les plus répandus sont ceux du type à effet de serre. Ils présentent l'avantage d'être simples, faciles à réaliser, de conception rustique, et peu coûteux. Mais ils présentent le gros inconvénient d'une production très faible d'eau potable (de l'ordre de 2,5 à 3 litres par m² par jour) [38].

Le principe de fonctionnement d'un distillateur solaire est le suivant (Figure II. 5)

- Le rayonnement solaire chauffe l'eau salée qui se trouve dans le distillateur.
- L'eau salée s'évapore.
- Cette vapeur se transporte par convection naturelle vers le toit du distillateur (verre)
- Elle se condense sur le verre et s'écoule suivant un film mince.

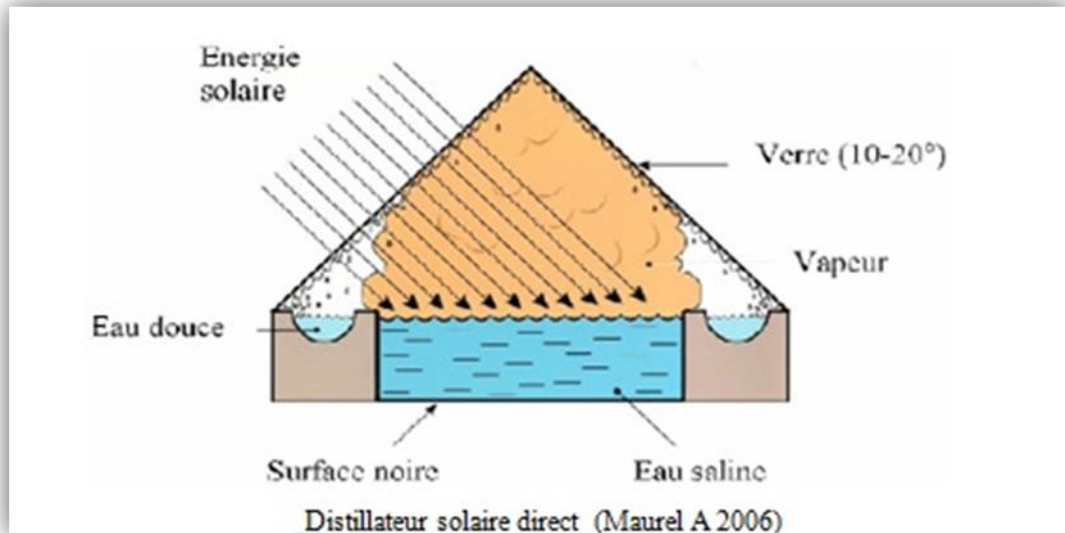


Figure 8 : Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple [38]

I.7.2 Dessalement membranaire

Les principaux procédés à membranes utilisés dans le domaine du dessalement sont : l'électrodialyse et l'osmose inverse.

I.7.2.1 Dessalement par électrodialyse

I.7.2.1.1 Définition

Cette méthode repose sur une séparation sels-eau en faisant appel à une membrane semi-perméable. Le principe physique utilisé est le transfert des ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique. La figure 9 ci-dessous schématise le procédé [D].

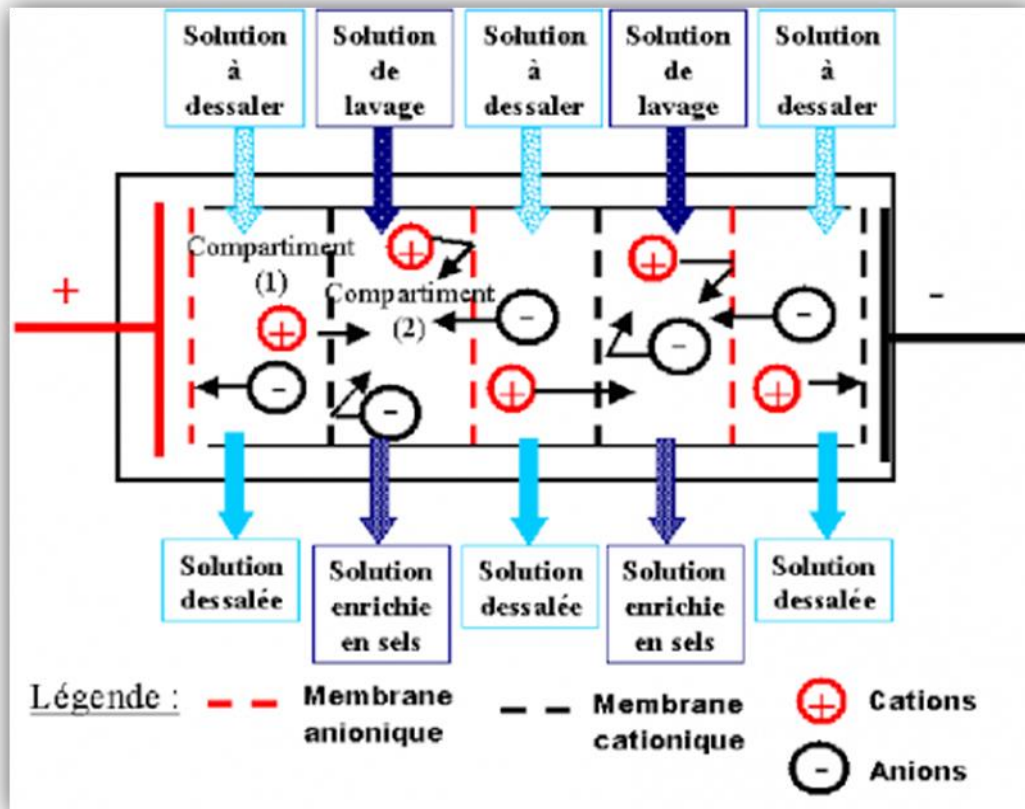


Figure 9: Principe de dessalement par l'électrodialyse [D].

I.7.2.1.2 Principe de fonctionnement

Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration [39].

I.7.2.1.3 Les membranes d'électrodialyse

La technologie requise pour ce procédé réside essentiellement dans l'emploi de membranes. Les membranes sont constituées de résines échangeuses d'ions qui sont sous la forme de feuilles à une épaisseur entre 0.1 et 0.8 mm. On en distingue 2 types:

- Les membranes anioniques: elles contiennent des résines à groupes cationiques fixes. Ces groupes sont neutralisés par des anions situés dans les interstices de la résine. Quand cette membrane est mise dans une solution d'électrolyte, les anions en solution peuvent pénétrer dans la membrane et remplacer les anions présents initialement, alors que les cations sont repoussés par les cations fixés sur la résine.
- Les membranes cationiques: le principe est identique; elles contiennent des groupes anioniques fixes qui permettent la pénétration des cations et repoussent les anions [E].

I.7.2.1.4 Avantages et inconvénients de Dessalement par électrodialyse

A. Avantages

- La durée de vie des membranes est élevée, compte tenu de leur bonne stabilité chimique et mécanique ;
- Il est possible d'atteindre des taux de conversions élevées voisines de 90 – 95 % [5].

B. Inconvénients

- L'électrodialyse consomme beaucoup d'électricité. Pour cette raison, et d'autres encore, cette technologie est d'un usage moins répandu dans les grandes usines de traitement [F].
- Les bactéries et les virus ne sont pas éliminés, alors qu'ils le sont par osmose inverse [5].

I.7.2.2 Dessalement par osmose inverse

I.7.2.2.1 Principe

L'osmose est un processus naturel: les espèces se déplacent du milieu dilué au milieu concentré (schéma 10 a). Si une pression est appliquée au niveau du compartiment de la solution concentrée, le transfert entre les deux compartiments va diminuer jusqu'à s'annuler. Quand le flux s'annule, la pression appliquée est appelée pression osmotique (schéma 10 b).

Si la pression appliquée devient supérieure à la pression osmotique, le flux s'inverse: les espèces se déplacent du milieu le plus concentré au milieu le moins concentré: c'est le phénomène d'osmose inverse (schéma 10 c) [40].

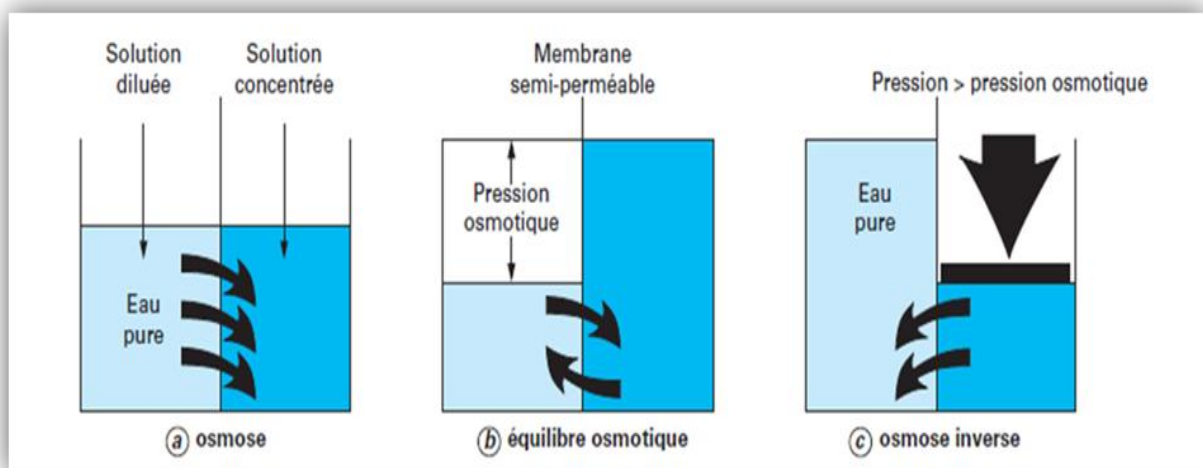


Figure 10: Schéma du procédé d'osmose inverse [40].

La membrane séparatrice doit bien évidemment avoir la capacité de laisser passer les molécules d'eau tout en arrêtant le sel. La pression à exercer dépend de la concentration en sel et

sert à empêcher l'eau pure de retourner diluer l'eau salée. Par phénomène d'osmose. On comprend aisément que la pression minimale à appliquer est au moins égale à la pression osmotique, qui correspond juste à l'état d'équilibre. Si on considère l'eau de mer, la valeur de la pression osmotique est environ 29×10^5 Pascals (Pa), soit près de 30 fois la pression atmosphérique. Pratiquement, pour obtenir un flux significatif et vaincre la pression osmotique qui augmente au fur et à mesure que l'eau est extraite, la pression de travail varie entre 60 et 70×10^5 Pa [41].

I.7.2.2.2 Schéma général d'une installation d'osmose inverse

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants :

- Les membranes proprement dites ;
- Les modules ;
- La pompe HP ;
- Eventuellement un système de récupération d'énergie ;
- Un système de prétraitement [5].

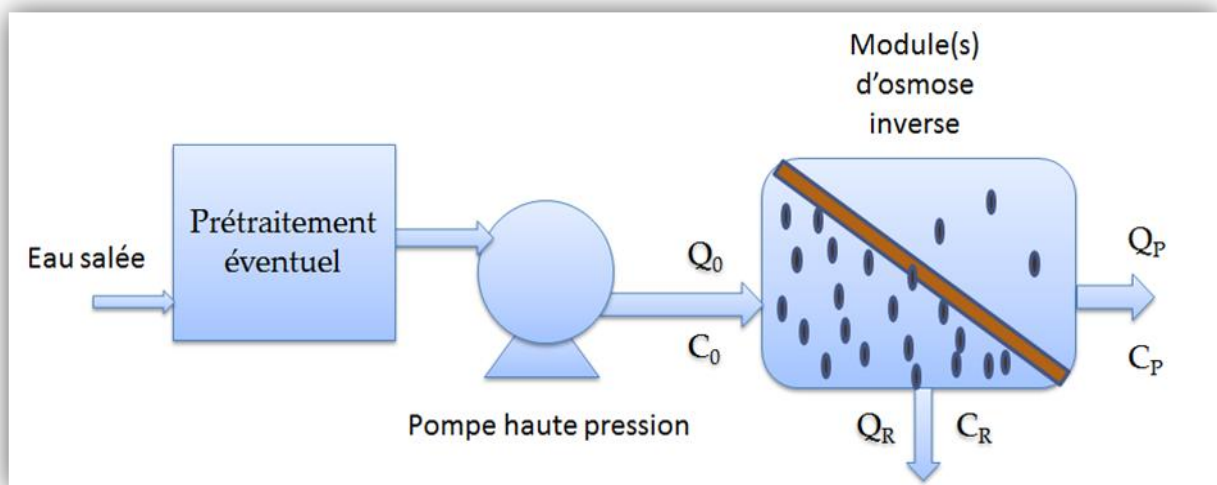


Figure 11: Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse [5].

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel (Figure 11). La solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- Une partie qui passe à travers la membrane ou perméat (débit Q_p)
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane appelée concentrât ou retentât (débit Q_c) et qui contient les ions, molécules ou particules retenues par la membrane [5].

I.7.2.2.3 La pression osmotique

En première approximation, la pression osmotique peut être calculée en assimilant le

Comportement des molécules du soluté à celles de molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, on peut appliquer la loi des gaz parfaits.

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

Avec :

- π : pression osmotique ;
- V : volume de la solution ;
- n : nombre de moles de soluté ;
- R : constante des gaz parfaits ;
- T : température absolue ;

La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercée dans l'état gazeux parfait dans le même volume V et à la même température T. Si le soluté est dissocié en i ions la pression osmotique sera i fois supérieure. La pression osmotique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en soluté :

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

Avec :

- π : pression osmotique en bar ;
- i : nombre d'ions dissociée dans le cas d'une électrolyte ;
- C : concentration molaire en mol/l ;
- R : constante des gaz parfait (0.082 l.bar.mol⁻¹.K⁻¹).
- T : température absolue en K [5].

I.7.2.2.4 Membranes d'osmose inverse

Les membranes d'osmose inverse sont des membranes artificielles poreuses, Les matériaux utilisées pour leur fabrication sont de nature organique (polymères de deux classes, à savoir les acétates de cellulose et les polyamides) ou minérale. Généralement, ces membranes sont constituées d'une couche mince, ou couche active, ou encore peau, de faible épaisseur, comprise entre 0,1 et 1,5 μm comportant des micropores: c'est la partie sélective de la membrane. Cette couche active est supportée par une ou plusieurs couches, à la fois plus poreuses et mécaniquement plus résistantes.

Du fait de leur nature organique, les membranes doivent être utilisées dans des conditions assez restreintes (pH entre 2 et 11, température maximale de 50°C). Pratiquement, les membranes sont assemblées sous forme de modules regroupant généralement plusieurs

membranes. En osmose inverse, les modules spirales sont majoritairement employés ainsi que les fibres creuses [42].

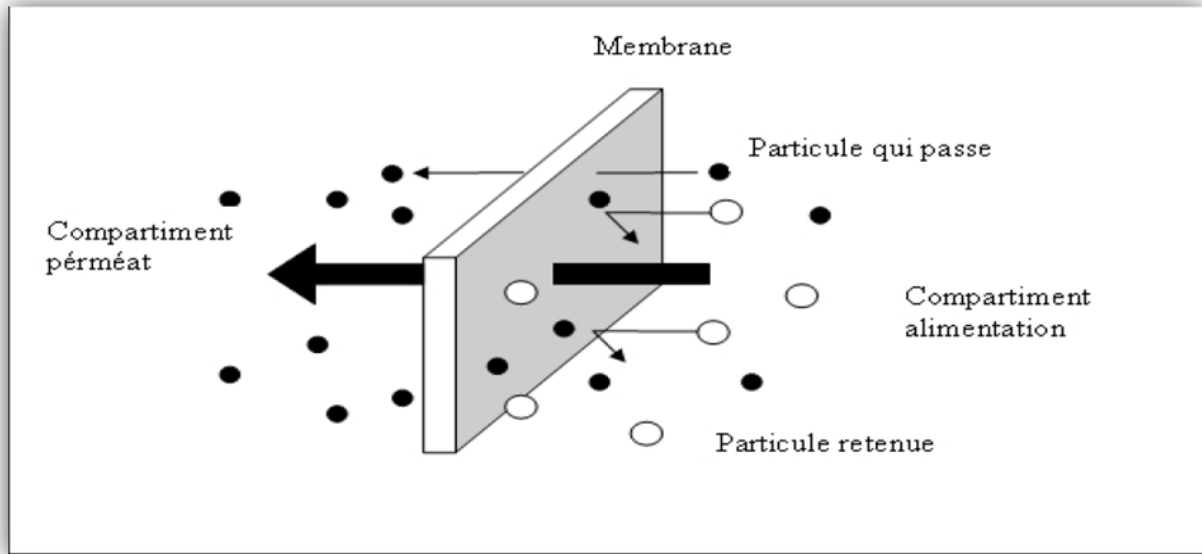


Figure 12: Membranes d'osmose inverse

Du point de vue classification, il existe une grande diversité des membranes. Elles sont classées par famille selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique. Le tableau 6 résume les avantages et les inconvénients des membranes organiques suivant leur composition:

Tableau 6: Avantages et inconvénients des membranes organiques [5].

Membranes	Avantages	Inconvénient
Acétate de cellulose	Perméabilité élevée Sélectivité élevée Mise en œuvre est relativement aisée Adsorption des protéines faible colmatage moindre	Sensible à la température Sensible au pH Sensible au chlore Sensible au compactage Sensible aux microorganismes
Type Polyamide	Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique.	Grande sensibilité aux oxydants ; Faible perméabilité ; Phénomènes d'adsorption
Type Polysulfone	Bonne stabilité thermique Bonne tenue au pH Résistance au chlore	Sensible au compactage Adsorptions
Matériaux acryliques	Bonne stabilité thermique et chimique Stockage à sec possible	Faible résistance mécanique Pores de diamètres assez élevés

Matériaux fluorés	Bonne stabilité thermique et chimique	Faible perméabilité Microfiltration uniquement
Membranes composites	Bonnes caractéristiques : perméabilité et sélectivité Stabilité de pH 2 à 11 Bonne tenue en température	Mauvaise tenue au chlore

I.7.2.2.5 Modules d'osmose inverse

Les membranes sont intégrées dans des modules qui leur tiennent lieu de support mécanique. Ils doivent tenir aux fortes pressions mises en jeu dans le procédé et être conçus de manière à minimiser la perte de charge, la polarisation de concentration et l'encrassement. Ils doivent de plus être compacts, faciles à installer et avoir un coût le moins élevé possible.

Les modules utilisés dans les procédés membranaires sont de type plans, tubulaires, spiralés ou à fibres creuses [43].

a. Modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides [44].

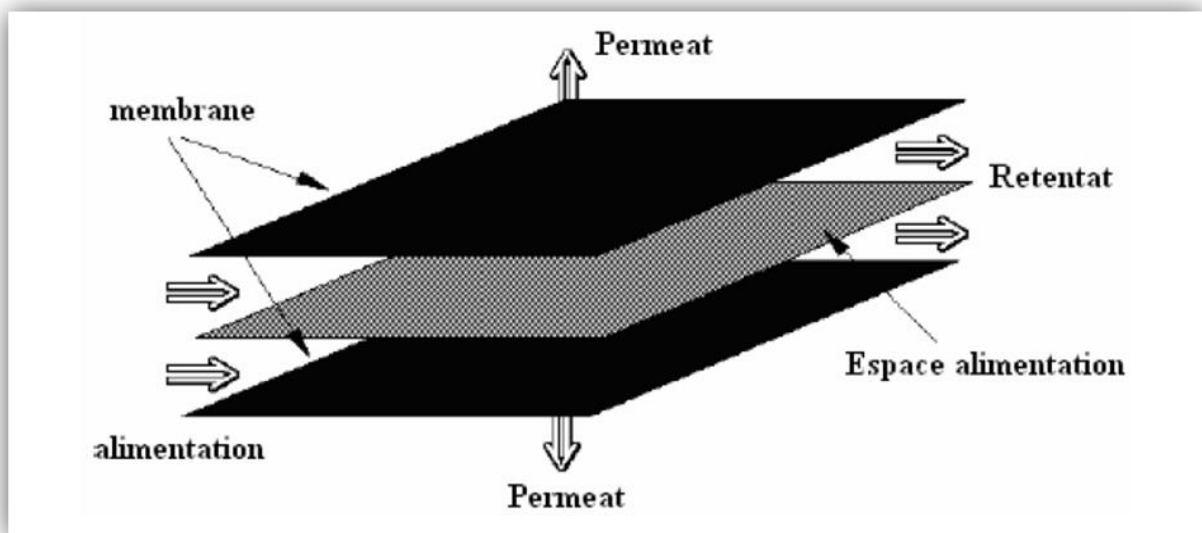


Figure 13: Schéma d'un module plan

b. Modules spiraux

C'est un module particulier de membranes planes qui sont enroulées autour d'un axe creux collecteur de perméat. L'ensemble est introduit dans une enveloppe cylindrique dont les sections donnent accès à l'entrée de l'alimentation et à la sortie du retentât [45].

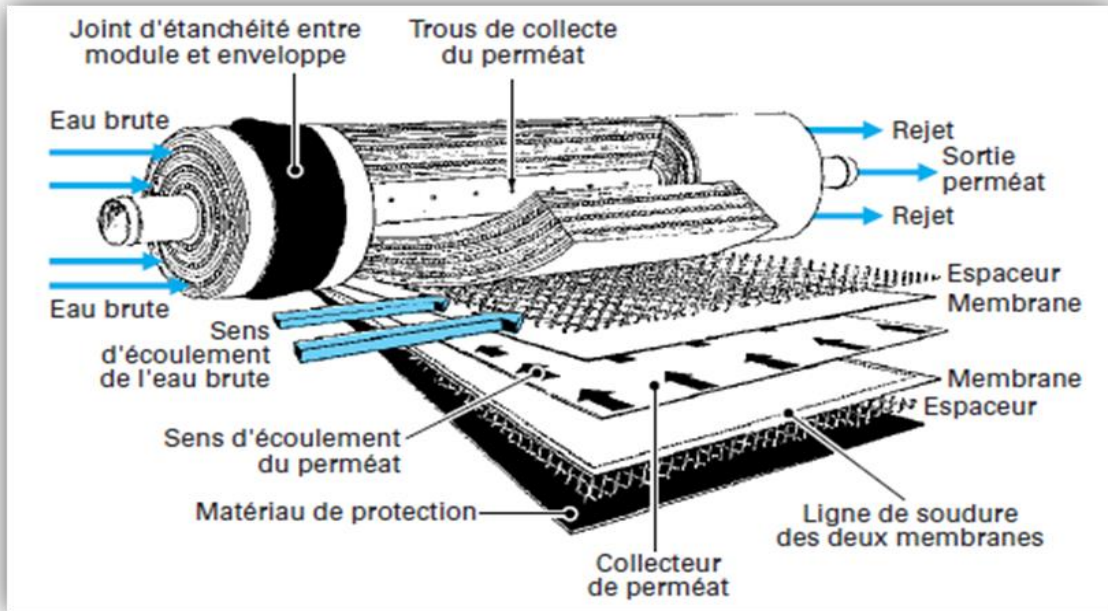


Figure 14: Représentation d'un module spirale [7]

c. Modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel [44].

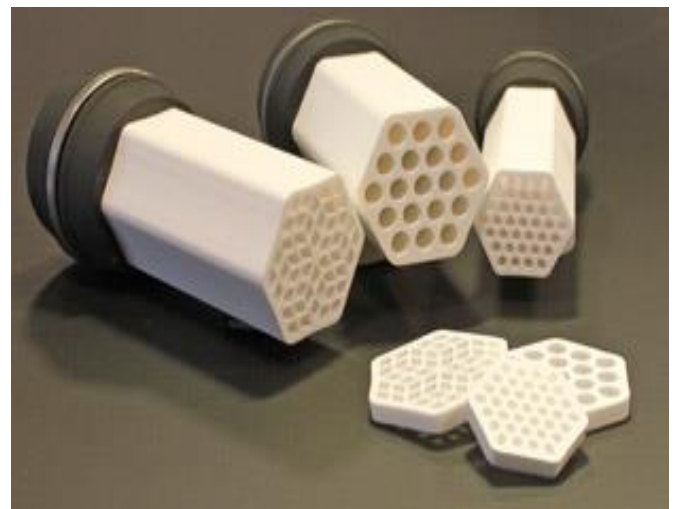
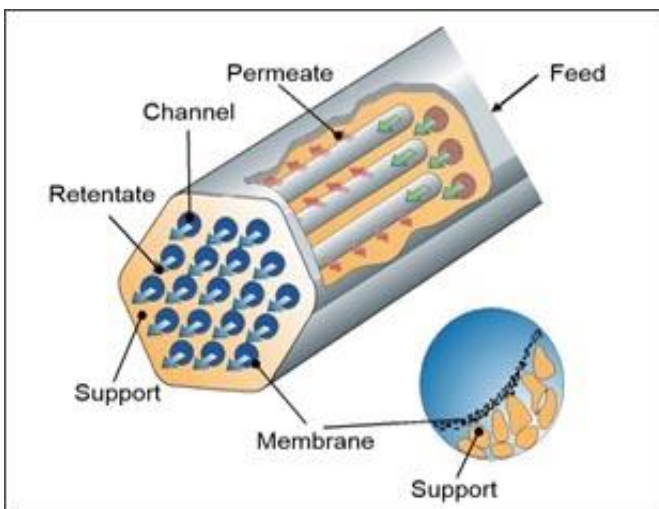


Figure 15 : Structure inverse d'un module tubulaire

d. Modules fibres creuses

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres dont le diamètre est de l'ordre de 1 mm. Les faisceaux ainsi obtenus sont encollés aux extrémités de façon à assurer l'étanchéité entre le compartiment (perméat) et l'alimentation. L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne-externe) ou à l'extérieur (externe-interne) des fibres creuses, selon que la peau active est à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre creuse [45].

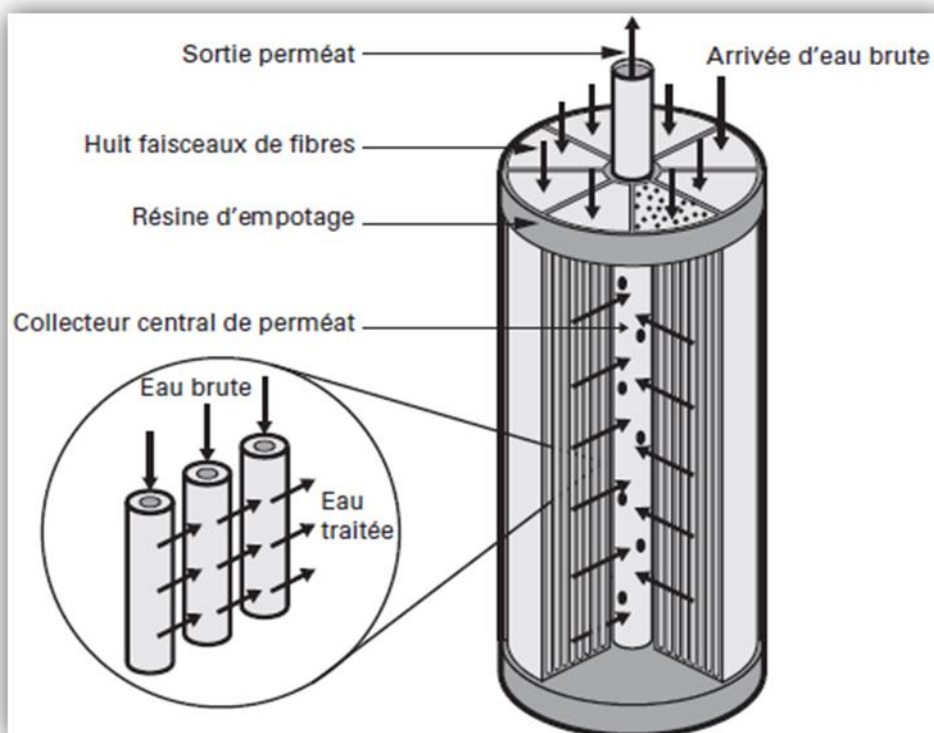


Figure 16: Module à fibres creuses à peau interne

I.7.2.2.6 Avantages et inconvénients des modules d'osmose inverse

Les avantages et les inconvénients des modules d'osmose inverse sont énumérés dans le tableau 7 suivant :

Tableau 7: Avantages et inconvénients des modules d'osmose inverse [5]

Modules	Avantages	Inconvénient
Plans	Système souple et modulable Changement facile des membranes Visualisation du perméat	Système peu compact (100 à 400 m ² /m ³) Investissement relativement élevé
Spirales	Compacité élevée (300 à 1000 m ² /m ³) Faible volume mort Coût d'investissement relativement faible	Sensible au colmatage Difficulté de nettoyage
	Technologie simple	Faible compacité (10 et 300 m ² /m ³)

Tubulaires	Peu traités tous types de fluides (chargés, visqueux) Facilité de nettoyage	Consommation d'énergie élevée Coût élevé
Fibres creuses	Faible volume mort Compacité élevée (15000 m ² /m ³) Faible consommation énergétique Possibilité de nettoyage à contre-courant	Sensibilité de colmatage dû au faible diamètre des fibres Fragiles (Canaux fins)

I.7.2.2.7 Avantages et inconvénients du procédé d'osmose inverse

1) Avantage :

- Faible consommation énergétique : environ 3 à 4 KWh /m³ dans le cas d'eau de mer à 35 g/l, grâce en particulier à la mise en place de système de récupération d'énergie ;
- Investissement plus faible dus en particulier à l'amélioration des performances des membranes ;
- Gamme de capacités disponible commercialement très vaste ;
- Gérer les résidus (concentrât) pour améliorer le bilan environnemental ;
- Maîtriser les phénomènes de colmatage [16].

2) Inconvénients :

- La membrane n'a une durée de vie que d'environ 3 ans, ce qui veut dire qu'à longue durée une usine dépense énormément en frais d'installations puisque les membranes industrielles sont relativement chères.
- Le rendement n'est pas totale, à la fin de ces procédés, il reste 25 % d'eau non utilisable (il s'agit de la saumure, solution très sel), rejetée alors dans la mer ce qui provoque un réel désastre pour l'écosystème [16].

I.8 Coûts du dessalement

Les coûts du dessalement exprimés en USD/m³ d'eau douce produite dépendent de la technologie, de la taille de l'installation et de la teneur en sel de l'eau traitée. Les technologies membranaires peuvent produire de l'eau de bonne qualité à partir d'eau saumâtre avec un coût de 0,50 USD/m³. Les coûts, toutefois, sont plus élevés pour traiter l'eau de mer, le mètre cube produit a un coût estimé entre 0,5 et 1,1 USD pour l'osmose inverse et entre 0,65 et 1,8 USD pour la distillation. Les technologies thermiques tendent à être plus onéreuses que les technologies membranaires.

Actuellement, les coûts des deux technologies affichent une tendance à la baisse. Elles peuvent bénéficier toutes les deux des économies d'échelle mais les coûts des technologies

membranaires diminuent aussi en raison de leur développement incessant qui conduit à des gains d'efficacité [46].

I.9 Conclusion

Le dessalement est l'une des solutions éprouvées et sûres, maîtrisées techniquement, pour la mobilisation des ressources en eaux supplémentaires. L'osmose inverse a connu un développement technologique avec l'apparition sur le marché de membranes en polyamides plus stables et dont la durée de vie est plus importante. Néanmoins, les membranes sont très sensibles, d'où apparaît l'importance d'un prétraitement adéquat qui permet d'allonger la durée de vie de ces membranes en les protégeant et d'assurer l'intégrité du système. Il s'agit d'une technique performante qui peut être utilisée sur une grande plage de concentration; comparé à l'électrodialyse et à la distillation qui sont réservés à des domaines plus spécifiques.

Chapitre II:
Présentation et
description de la
station de dessalement
de Chatt El Hilal

Chapitre II :Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

Chapitre II: Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

II.1 Introduction

A l'ouest du pays, les incertitudes de la météo s'ajoutant à la pression démographique et aux perturbations prévisibles liées au réchauffement climatique font peser sur la disponibilité de l'eau. Devant cette situation de fait, la volonté de l'état s'est appuyée sur l'exploitation des ressources en eau non conventionnelles en recourant au dessalement de l'eau de mer, qui se présente aujourd'hui comme une alternative aux eaux conventionnelles. Le gouvernement a lancé des projets de dessalement d'eau de mer intégrant des usines de différentes capacités tout au long des côtes algériennes. Au Nord-Ouest Algérien, la Wilaya d'Ain-Temouchent a fait l'objet de l'installation d'une station de dessalement d'eau de mer d'une capacité de production de 200.000.m³/j, assurant l'approvisionnement en eau potable des Wilayas d'Ain-Temouchent et d'Oran.



Figure 17: Photo de la station de dessalement de l'eau de mer de Chatt El Hillel

II.2 Situation géographique

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

La station de dessalement de la plage El Hillel a été implantée à environ 16 km au Nord-Ouest de la ville d'Ain Témouchent. Elle est située dans la région touristique de la plage El Hillel, commune de Sidi Ben Adda. Elle s'étend sur une superficie de 65 700 m² (Figure 18).



Figure 18: Situation géographique de la SDEM de Béni Saf

II.3 Présentation du promoteur de projet

L'usine a été réalisée par une société de projet «Beni Saf Water Company Spa» constituée à partir du consortium GEIDA, de l'ADE et de l'AEC (figure 19). Le groupe GEIDA est un consortium qui a été constitué au début de l'année 2003 à partir de quatre importantes compagnies espagnoles d'études, de construction et d'experts spécialisées dans le développement des infrastructures dans le domaine d'énergie et de l'eau :

- COBRA ;
- BEFESA ;
- CODESA ;
- SADYT.

Sonatrach, la société nationale de pétrole et de gaz d'Algérie et Sonelgaz, la régie de production et de distribution de gaz et d'électricité de l'état Algérien ont été incorporées dans l'AEC en mai 2001, chacune détient 50% du capital-actions d'AEC

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

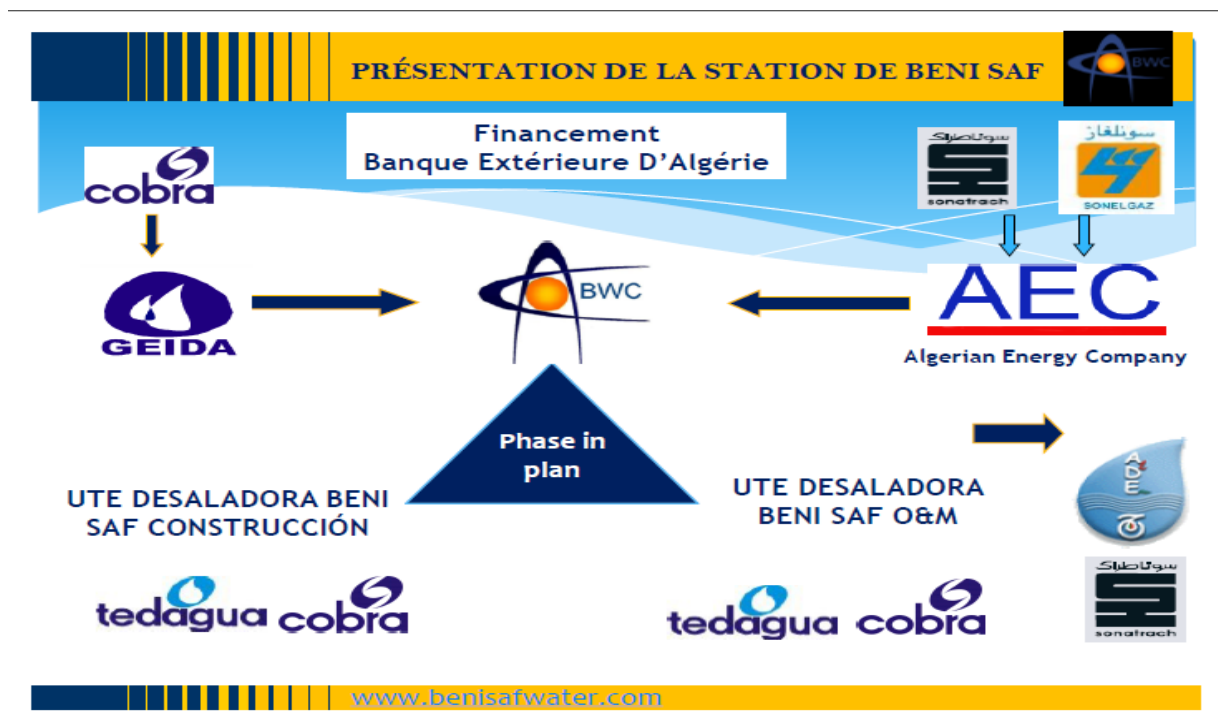


Figure 19: les différents collaborateurs de la station BWC

II.4 Présentation de la station SDEM.BWC

La fiche technique de l'usine de dessalement de Chatt El Hilal est la suivante:

- Surface Totale : 5.12 ha
- Surface Bâtie : 2.68 ha
- Date signature du contrat : 10 Septembre 2005
- Type de Captage d'eau de mer : Emissaire Long de 1000 M /DN 2400 mm
- Rejet de Saumure : Emissaire long de 500 M /DN 1800 mm
- Date ouverture du chantier : 01 Août 2006
- Mise en service partielle : 09 Nov 2009
- Mise en service totale : 04 Avril 2010
- Capacité de production : 200.000 M3/jours
- Consommation électrique : 4.15 KW/M3
- Procédé de traitement : Osmose inverse
- Taux de rendement de la station : 75%
- Marque des membranes : Hydranautic
- Nombre de membrane /tube de pression : 7 unité
- Forme : Roulement en spirale

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

- Diamètre : 200 mm
- Montant de l'investissement : 240 M\$
- Prix de l'eau : 0.6994 \$/m³

II.5 Description du fonctionnement de la station

Le procédé utilisé pour le dessalement d'eau de mer à la station de la plage El Hillel est l'osmose inverse.

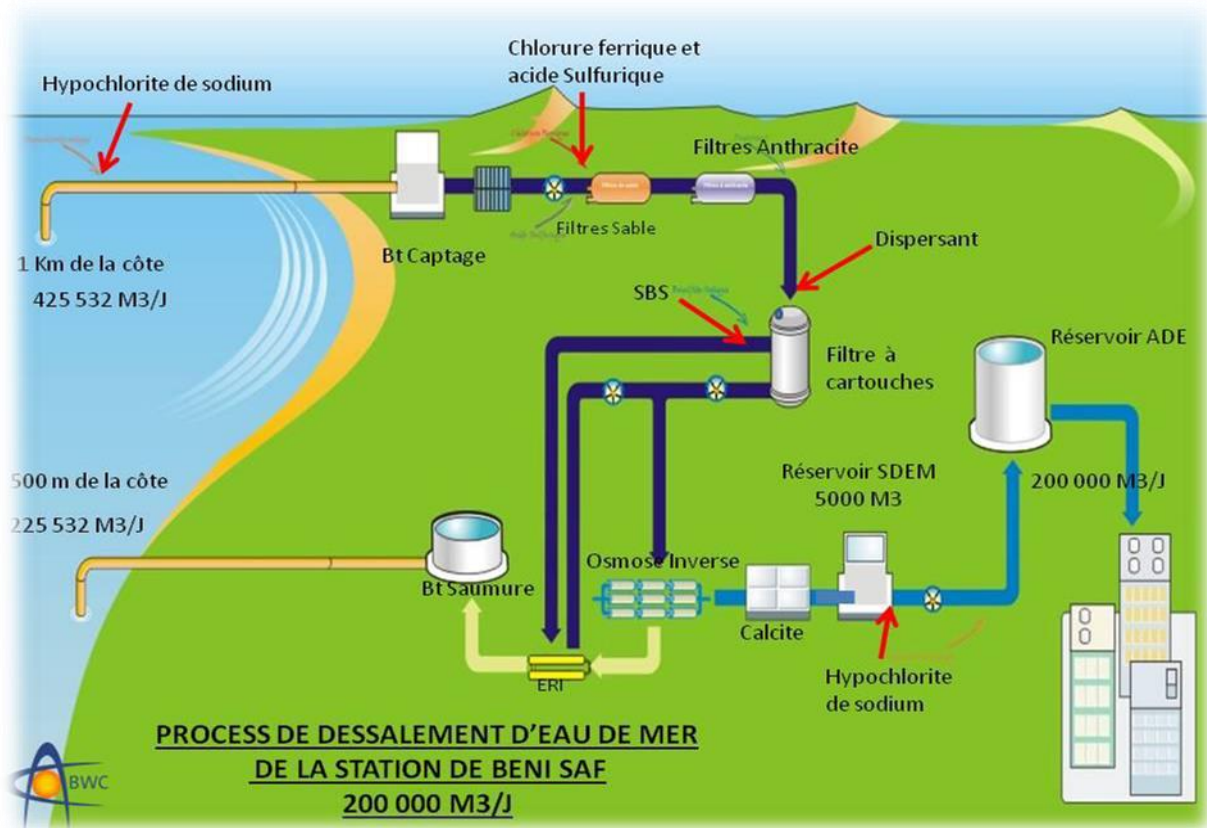


Figure 20: Schéma représentant les procédés de dessalement de la station de dessalement Chatt El Hillel

Les étapes de dessalement selon le schéma précédant (figure 20) sont les suivantes :

- ✓ Captage de l'eau de mer
- ✓ Filtration mécanique
- ✓ Chloration
- ✓ Prétraitement

1. Prétraitement chimique

Traitement par chlorure ferrique (coagulation) :

Traitement par acide sulfurique (neutralisation du pH)

L'injection de bisulfite sodique (neutralisation du chlore libre)

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

Dosage d'anti incrustant

2. Prétraitement physique

Filtration à sable

Filtration anthracite

Filtration à cartouches

✓ Osmose inverse

✓ Post traitement :

Reminéralisation

Désinfection finale

II.5.1 captage d'eau de mer :

La première étape du procédé de dessalement est le captage de l'eau de mer. Elle consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement. Cette eau doit être bonne du point de vu matières en suspension pour le fonctionnement de la station.

Le système de captage (figure 21) est ouvert, l'eau de mer est captée à partir d'un (1 km) de la côte grâce à un émissaire en PEHD DN 2400 mm. A l'extrémité de l'émissaire, une tour de 10 m de hauteur est érigée sur un fond à 18 m pour capter une eau plus ou moins propre. L'eau est véhiculée à l'intérieur de la conduite par gravité avec une vitesse d'écoulement inférieure à 1 m/s.

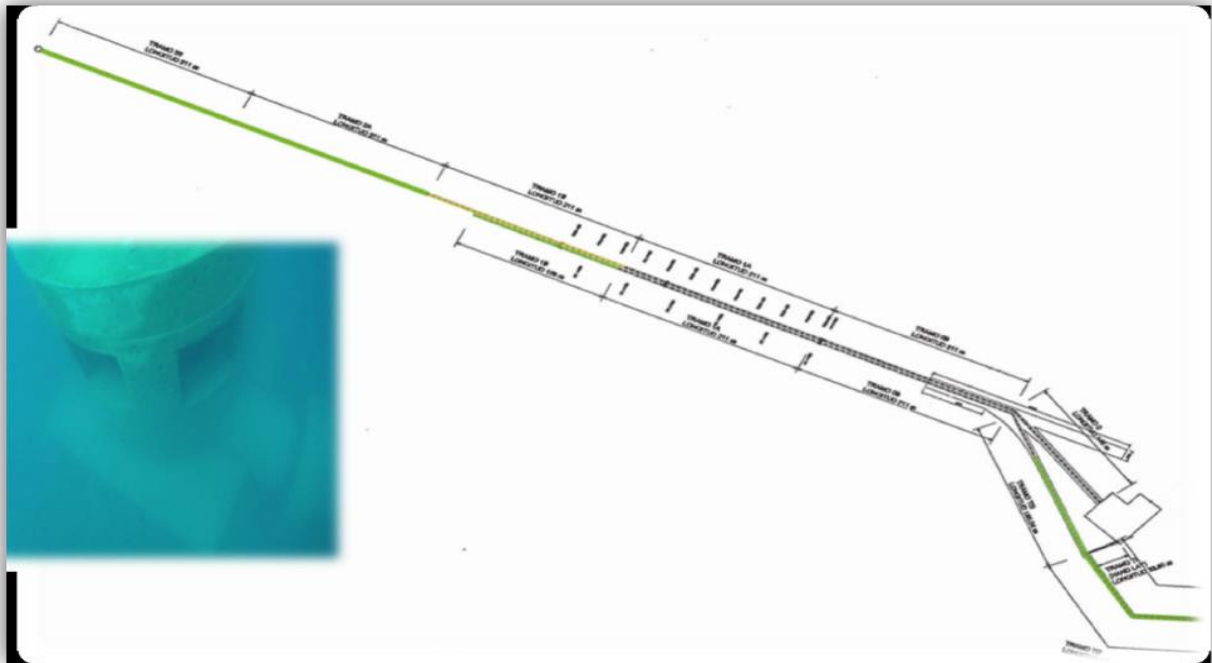


Figure 21: Schéma représentant l'émissaire de captage

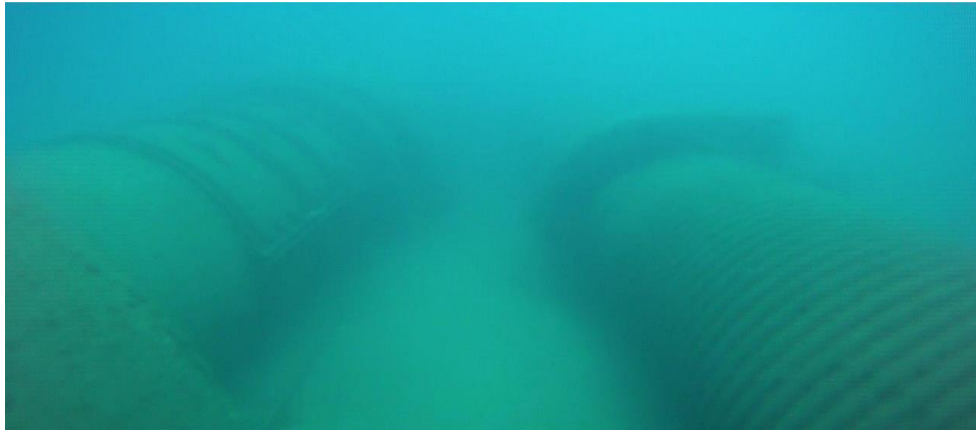


Figure 22: Tuyaux de captage de l'eau de mer pour la station

II.5.1.1 Filtration mécanique :

Cette étape du traitement consiste à faire passer l'eau à travers deux gros dégrilleurs pour empêcher le passage des grandes particules contenues dans l'eau de mer tels que les poissons, les débris et les algues...etc., et deux filtres rotatifs (figure 23) dont les mailles sont plus fines que celles du dégrilleurs (400 microns) permet le retrait des petites particules comme le sable. Cette filtration d'eau permet d'assurer une entrée en eau moins chargée en débris marine et homogène.



Figure 23: Filtres rotatifs

II.5.1.2 Chloration

Injecté L'hypochlorite de sodium au niveau de la station de captage pour assurer sa désinfection et réduire la croissance biologique dans l'eau. A l'aide de deux citernes de NaOCl d'une capacité de 125 m³ pour chacune (figure 24). En raison de sa forte nature oxydante, les

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

ingénieurs de la station de dessalement de la plage el Hillel ont jugés prudent d'annuler cette injection pour ne pas atteindre l'étape de l'osmose inverse car il détruit les membranes.



Figure 24: Citernes d'Hypochlorite de sodium

II.5.2 Pompage de l'eau de mer

L'épine dorsale de la SDEM est la station de pompage de l'eau de mer du captage vers la zone de production, Cette dernière contient un bassin d'aspiration d'eau de mer avec un total de 11 pompes centrifuges horizontales (Sulzer), 10 pompes en service et une en « stand by » (10+1) pendant le fonctionnement normal, un système d'amorçage des pompes à vide composé de 2 compresseurs d'air. Chaque pompe offre un débit d'un refoulement de 1800 m³/h d'eau de mer par aspiration à vide avec une pression de 6 bars aussi deux réservoirs anti- coup de bélier (figure 25).

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal



Figure 25: pompes de pompage et bassin de stockage

II.5.3 . Prétraitement de l'eau de mer

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

Il y'a deux types de pré-traitements : Physiques et chimiques

II.5.3.1 Prétraitement chimique

II.5.3.1.1 *Traitement par chlorure ferrique (coagulation)*

Le chlorure ferrique a le but de l'élimination des matières en suspension et les matières colloïdales présentes dans l'eau de mer, L'injection ce fait à partir de deux citernes de FeCl_3 d'une capacité de 60 m^3 chacune.

II.5.3.1.2 *Traitement par acide sulfurique (neutralisation du pH)*

En aval des filtres à sable au niveau du tuyau principal qui alimente ces filtres un traitement à l'acide sulfurique est effectué, pour but d'ajuster le pH de l'eau de mer et d'éviter les précipitations de carbonates et bicarbonates, ainsi qu'à générer le CO_2 suffisant pour la reminéralisation d'eau produite dans la tour de calcite.

II.5.3.1.3 *Injection de Meta bisulfite sodique (neutralisation du chlore libre)*

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

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

II.5.3.1.4 Dosage d'anti incrustant

C'est un dispersant qui est dilué dans deux cuves de dilution et de stockage (une en service et l'autre en réserve). Cet anti incrustant est dosé automatiquement et traverse le collecteur de refoulement.

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

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



Figure 26: Réservoirs des différents dosages chimiques

II.5.3.2 Prétraitement physique

II.5.3.2.1 Filtration à sable :

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide à travers un milieu poreux, dont le but est d'éliminer la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer et, produit une eau filtrée à basse turbidité prête pour l'étape d'osmose inverse. Le milieu filtrant utilisé par cette station est le sable silice bicouche ; un sable grossier au fond du filtre et

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

l'autre du sable plus fin qui occupe la partie supérieure du filtre pour retenir les particules les plus fines, les deux couches de sable font 1.70 m de hauteur.

Le système de filtration de sable est situé en dehors de l'usine. Il est constitué de deux trains de filtrage identiques, chacun ayant la capacité de filtrer 50 % de l'eau nécessaire. Chaque train est constitué de 24 filtres regroupés en 12 modules, chaque module est constitué de deux filtres identiques de 11 m de longueur et 3.7 m de diamètre pour un filtre (figure 27).

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. Le débit requis pour alimenter le système de filtrage à sable est de 18 000 m³/h, avec une vitesse de filtration de l'eau de mer de 9.7 m/h et une pression d'entrée de 6 bars.

II.5.3.2.2 Filtration anthracite :

La filtration anthracite a pour but d'éliminer les concentrations résiduelles d'agents oxydants tels que le chlore et l'ozone, les virus, les matières organiques, et en générale tous les composés qui causent les problèmes du mauvais goût et de la mauvaise odeur dans l'eau. Le système de filtration anthracite se trouve dans le même secteur que le système de filtration précédente. Il est constitué de deux trains de filtrage identiques, chacun comprenant sept modules ou paires de filtres, par conséquent, le système est constitué de 28 filtres au totale (figure 27). Les filtres de ce système recouverts à l'intérieur d'une couche d'anthracite de 1.7 m de hauteur, fonctionnant comme adsorbant avec une plus grande efficacité de rétention des micropolluants. Le débit d'eau filtré nécessaire pour alimenter le système de filtration d'anthracite est de 18000 m³/h, en fonctionnement normal.



Figure 27: zone des filtres à sable et à anthracite

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

Etape de Lavage des filtres :

Les filtres doivent être lavés quand la perte de charge atteint une valeur limite due au colmatage des interstices du lit filtrant par les particules retenues, et ceci par les étapes suivantes :

- **Lavage à l'air** (barbotage) : on retient l'air de la soufflante mais avant d'effectuer le soufflage avec une durée de 10 minutes, il est nécessaire d'abaisser le niveau d'eau. Cette opération a pour but de séparer sa gangue de matière organique et de nettoyer du grain de sable par phénomène d'attrition.
- **Lavage à l'eau** (backwash) : par deux pompes en retient un débit de $1628 \text{ m}^3/\text{h}$ de l'eau saumure afin d'améliorer le lavage par l'inversion du flux de bas en haut avec une durée de 20 minutes (en contre-courant) pour évacuer les matières organiques à l'extérieur du filtre.

II.5.3.2.3 Filtration à cartouches

C'est une microfiltration assurée par des cartouches de polypropylène de 15 micron. Ce système de filtration est constitué de deux lignes de filtration, chacun est formées de dix filtres de forme cylindrique, il est composé de 20 filtres au total, installées en parallèle (figure 28). A l'intérieur de ces filtres est placée une plaque-support soutient des cartouches, chaque filtre contient 380 cartouche. Les cartouches sont de couleur blanche avant d'être utilisé, mais après l'utilisation elles prennent la couleur noire à cause de la salinité de l'eau de mer (35 g/l).

Le rôle de cette filtration est l'élimination des particules de plus petite taille de 5 microns, qui n'ont pas été retenues par les filtres à sable et anthracite, ainsi que la protection des installations des modules d'osmose inverse.

Le débit d'eau filtré qui alimente le système de filtration à cartouches est le débit traité par le système de filtration à sable et anthracite, est de $17\,996 \text{ m}^3/\text{h}$. Contrairement aux filtres à sable et anthracite, ces filtres sont renouvelés périodiquement une fois que la capacité des cartouches a été atteinte, les cartouches doivent être changées.



Figure 28: Filtres à cartouches

II.5.4 L'étape d'osmose inverse

II.5.4.1 Installation de l'osmose inverse

Les équipements suivants sont l'installation d'osmose inverse à la station de plage El Hillel

- ✓ Pompe à haute pression
- ✓ Pompe à basse pression
- ✓ Système de récupération d'énergie
- ✓ Unité d'osmose inverse
- ✓ Bâtiment de production
- ✓ Réservoir de l'eau dessalée ;
- ✓ Système de nettoyage des membranes d'osmose inverse.

II.5.4.1.1 Pompe à haute pression (HP)

Avant l'entrer dans les membranes d'osmose inverse, l'eau de mer clarifiée et pressurisée au moyen de la pompe à haute pression de type SULZER. Elle permet de fournir une pression jusqu'à 66 bars en vue d'alimenter l'osmose inverse, en fonction de la température et de la salinité de l'eau. Chaque train d'osmose inverse est équipé d'une pompe centrifuge de haute pression généralement 10 pompes au totale.



Figure 29: Photo d'une pompe à haute pression

II.5.4.1.2 *Pompe à basse pression (booster) :*

Cette pompe a pour but d'augmenter la pression de l'eau de mer provenant du système de récupération d'énergie (ERI) avant l'arrivée du flux d'eau de mer provenant de la pompe centrifuge de haute pression.



Figure 30: Pompe booster.

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

II.5.4.1.3 *Système de récupération d'énergie*

Il y'a 22 récupérateurs d'énergie par unité de système d'osmose inverse de la station Il est de type ERI model PX-220 (the pressure Exchanger), qui permet de récupérer 95 % de l'énergie du rejet de saumure (figure 31).



Figure 31: Les récupérateurs d'énergie (ERI) d'un module d'OI de le SDEM

II.5.4.1.4 *Unité de l'osmose inverse :*

Dix (10) unités d'osmose inverse sont installées de production de 20 000 m³/j chacune. Chaque unité est constituée de 256 tubes à pression, 1792 membranes dans chaque unité, soit 7 membranes dans chaque tube à pression (figure 32).

Les membranes d'OI sont constituées de films de polyamide à enroulement en spirale avec une feuille de séparation entre deux membranes. Cette feuille se comporte comme un canal dans lequel circule l'eau d'alimentation/saumure qui alimente l'élément suivant de membrane à l'intérieur du tube de pression (figure 33).

Le modèle des membranes sélectionné est le SWC5 qui est approprié lorsque le courant d'eau d'alimentation est de l'eau de mer. Son pourcentage de rejet des sels est supérieur à 99,7 %.

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal



Figure 32: Unité d'osmose inverse

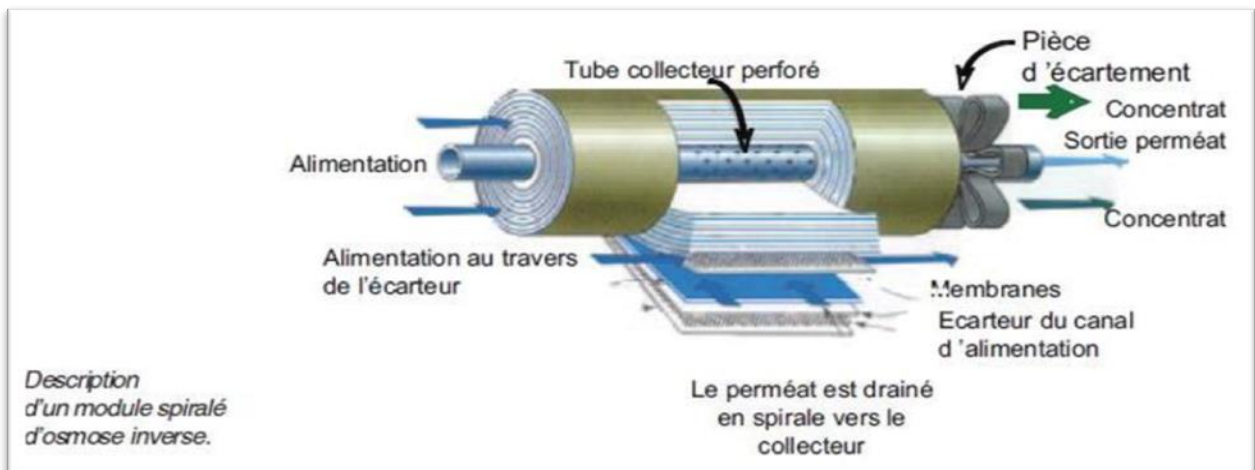


Figure 33: La membrane spirale de l'osmose inverse

II.5.5 Le post traitement

L'eau de perméat est acheminée vers des réservoirs 5 000 m³. Avant la distribution de l'eau dans le réseau public il passe par deux étapes :

- reminéralisation avec CaCO₃ (carbonate de calcium)
- Désinfection finale (Hypochlorite de Sodium)

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

II.5.5.1 Reminéralisation :

Cette opération se fait par l'addition d'une quantité de 30 tonnes de calcite (CaCO_3) (figure 34) dans dix chambres à l'entrée du réservoir d'eau produite pour ajuster la valeur du PH et pour éviter les problèmes liée au CO_2 dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante.



Figure 34: Photo du Calcite

II.5.5.2 Désinfection finale :

Cette opération se fait par l'injection de la solution d'hypochlorite de sodium pour d'éviter le développement des bactéries dans l'eau.

II.6 Caractéristiques de l'eau traitée

Tableau 8: Valeurs garanties pour l'eau de mer traitée par la SDEM Chatt El Hillel

Analyse effectuée	Qualité garantie
pH	8 à 8.5
Alcalinité	65 mg/l de CaCO_3
Dureté	50 à 65 mg/l de CaCO_3
Indice de Langelier	0 à 0.4
Chlore résiduel	0.5 mg/l

II.7 Stockage et le refoulement d'eau au le client

Après le post traitement, l'eau sera conservée dans un réservoir d'une capacité de 5000 m³ qui sert de réservoir d'attente pour prévoir un temps de contact nécessaire à la désinfection avant le pompage de l'eau vers le réseau de distribution (On injecte l'eau de javel).

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

Le système de refoulement d'eau est composé de 11 pompes (10 en service et 1 en stand by), avec un débit de refoulement de 833 m³/h par pompe (8334 m³/h en total) et une pression maximale de refoulement de 30 bars.

II.8 Bâtiment de saumure

Les rejets de saumure sont collectés dans le bassin de saumure (figure 35) avant d'être rejetées à la mer via un émissaire marin de 1800 mm en PEHD à 500 m de la côte.



Figure 35: Bassin de saumure

II.9 Equipements auxiliaires de la station sont

- Equipement de nettoyage des filtres (figure 36)
- Equipement de nettoyage des filtres des membranes
- Le laboratoire: Le laboratoire est équipé des instruments nécessaires à la supervision et au contrôle corrects du procédé. (figure 37)
- Salle de contrôle : Avec un système de contrôle digital (DCS) YOKOGAWA, tous les équipements de la station sont contrôlables à partir de la salle de commande (figure 38)
- Les salles électriques
- Les salles des automates ;
- SNCC: système numérique de contrôle et de commande ;
- Station électrique conçue pour le fonctionnement de la totalité de la SDEM. (deux lignes électriques de 220000 KV) ;
- Deux bâtiments administratifs de R+1 ;

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal

- Un poste d'entrée à la station ;
- Un poste de sécurité ;
- Un post contre incendies ;
- Ateliers de maintenances et réparation mécaniques, électriques et d'instrumentation.



Figure 36: bâtiment de lavage des filtres



Figure 37: le laboratoire de la SDEM Chatt El Hillel

Chapitre II : Présentation et description de la station de dessalement de Chatt El Hilal



Figure 38: la salle de contrôle de la SDEM Chatt El Hilal

II.10 Conclusion :

La station de dessalement de la plage El Hillel fait partie des grandes usines de dessalement en Algérie avec une capacité de production de 200000 m³/jour. En effet, ce projet contribue à résoudre la pénurie des ressources en eau de la wilaya d'Ain Témouchent et ceux de la partie ouest de la wilaya d'Oran. Cette station est basée sur la technique d'osmose inverse qui a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages, et plus performante du point de vue énergétique, avec des filtres à sables et cartouches, intégrant des technologies pionnières, notamment en matière de récupération d'énergie.

PARTIE 02
ETUDE
EXPERIMENTALE

Chapitre III :

Matériel et méthodes

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1 Prélèvement et échantillonnage

III.1.1 Sites de prélèvements

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

La station est équipée de quatre prélèvements d'échantillons d'eau pour les analyses physico-chimiques :

- Eau de mer ;
- Robinet installé à l'entrée des filtres à sable pour mesurer la turbidité, le chlore libre et étalonner les instrumentations ainsi ajuster l'injection du chlore ;
- Robinet installé à l'entrée du module d'osmose inverse après la filtration à cartouche pour mesurer l'indice de colmatage SDI ;
- Robinet installé au niveau de la zone d'expédition de l'eau traitée pour vérifier la qualité de l'eau [47].

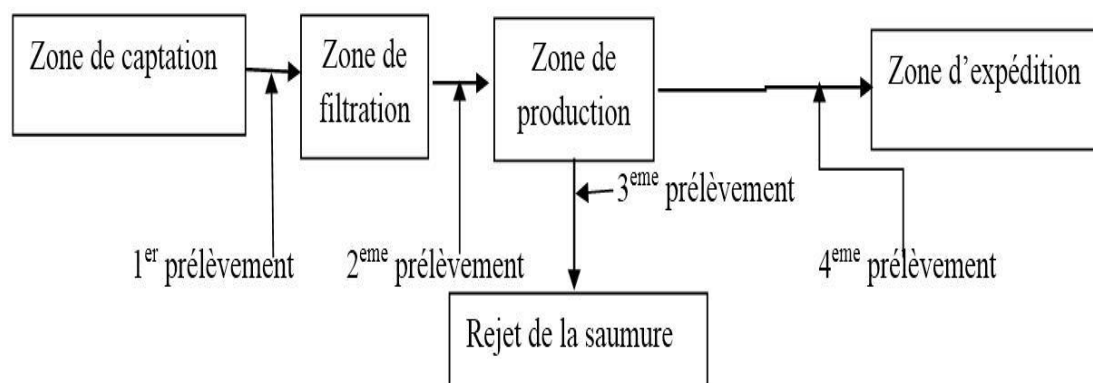


Figure 39: Points de prélèvements [47]

III.1.2 Mode de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau pour l'analyse physico-chimique est comme suit :

- Le matériel du prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière, L'emploi de flacons en verre borosilicaté est conseillé de préférences. Bouchés avec des bouchons en polyéthylènes ou en téflon maintenus pendant 1heure dans de l'eau distillé puis séchés ;
- Ouvrir le robinet à débit maximum pendant 5 à 10 secondes puis de le ramener à un débit moyen pendant 2 minutes ;

Chapitre III :Matériel et méthodes

- Au moment du prélèvement, on a rincé le flacon d'échantillonnage 3 fois avec de l'eau à analyser ;
- 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 ;
- Étiqueter les flacons d'échantillonnage en déterminant le point, la date et l'heure du prélèvement.
- Les échantillons sont transportés dans une glacière isotherme (4°C), et l'analyse est faite le même jour [47].

III.1.3 Analyses physico-chimiques :

III.1.3.1 Mesure du Potentiel d'hydrogène (pH)

- **Mesure du paramètre :**

Dans le laboratoire de la station de plage El Hillel, le pH de l'eau est mesuré à l'aide d'un pH mètre de marque **VWR** (fig. 40). Il permet de mesurer la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence.



Figure 40: pH mètre VWR [47]

- **Mode opératoire :**

1. Allumer le pH mètre.
2. Calibrer le pH mètre avec les solutions tampons (pH=4, pH=7 et pH=10).

3. Rincer l'électrode en verre avec l'eau ultra pure puis avec de l'eau à analyser.
4. Tremper l'électrode en verre dans un bécher de 100 ml rempli d'eau à analyser.
5. Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation de l'électrode d'éliminer les bulles d'air pour ne pas fausser le résultat.
6. Enregistrer la valeur du pH ainsi que celle de la température affichée sur l'écran de l'appareil après la stabilisation du lecteur.
7. Après chaque mesure, rincer l'électrode avec de l'eau ultra pure pour la maintenance.
8. Arrêter l'appareil.
9. Immerger l'électrode dans la solution de la conservation appropriée [47].

III.1.3.2 Mesure de la Température

La température est mesurée au même temps que le pH par l'utilisation de l'appareil pH mètre VWR du laboratoire de la station de dessalement.

III.1.3.3 Mesure de la Turbidité

- **Mesure du paramètre :**

À l'aide d'un turbidimètre model TURB 550IR (fig. 41) La turbidité est mesurée au niveau de laboratoire de la station .D'autres mesures directes sont effectuées par des turbidimètres placés aux points de prélèvements [47].



Figure 41: Turbidimètre TURB 550 IR [47].

- **Matériel et équipements :**
 - Turbidimètre WTW 550 IR ;
 - Cuvettes cylindriques.

- **Procédure analytique :**

1. Allumer le turbidimètre et attendre environ 30 minutes que l'appareil se chauffe ;
2. Mettre de l'échantillon dans l'un des tubes d'essai du turbidimètre ;
3. Rincer deux fois la cuvette de mesure avec un peu d'échantillon ;
4. Verser environ 30 ml d'échantillon à analyser dans la cuvette, la fermer et s'assurer qu'il n'y ait plus de bulles et que l'extérieur soit bien propre ;
5. Introduire la cuvette dans l'appareil et l'aligner ;
6. L'appareil sélectionne automatiquement l'étendue de mesure selon les besoins. Quand il sera stabilisé, faire la lecture. La valeur sera donnée en Unités Néphélométriques de Turbidité (NTU) ;
7. Si l'on souhaite comparer des données, au moment de faire une mesure appuyé sur le bouton « entrée » ;

La donnée sera mémorisée et apparaîtra sur la partie inférieure de l'écran .Au moment de faire la mesure suivante, la valeur actuelle apparaîtra sur la partie supérieure [48].

- **Calibrage :**

1. Allumer le turbidimètre et attendre un temps de chauffe de 30 minutes ;
2. Homogénéiser l'étalon, nettoyer la cellule avec un chiffon pour s'assurer que L'extérieur de la cuvette est bien propre et sec ;
3. Appuyer sur **CAL**. Les indications **Ident** et **Cal** apparaîtront sur l'écran. Sur la partie inférieure de l'écran, il apparaîtra 1000. Ceci est la valeur du premier étalon qu'il faut introduire dans l'appareil ;
4. Aligner la cuvette avec l'appareil et attendre que la lecture soit stabilisée ;
5. Une fois stabilisée, appuyé sur la touche « entrée ». L'indicateur de Store apparaîtra, clignotera pendant environ 3 secondes et la donnée sera mémorisée ;
6. Sur la partie supérieure de l'écran, il apparaîtra 1000 (NTU) et sur la partie inférieure il apparaîtra la valeur de l'étalon suivant 10 ;
7. Introduire la cuvette de 10(NTU) dans l'appareil et refaire les étapes **4** et **5** ;
8. Sur la partie supérieure de l'écran, il apparaîtra 10 (NTU) et sur la partie inférieure 0.02 (NTU) ;
9. Introduire l'étalon de 0.02 NTU et répéter les étapes **4** et **5** une autre fois ;
10. Le calibrage est terminé et l'appareil reviendra automatique au mode de mesure [48].

III.1.3.4 Mesure de la conductivité

- **Mesure du paramètre :**

Au niveau de laboratoire de la station, la conductivité électrique est mesurée par un conductimètre de marque VWA EC300 (fig. 42) .L'unité de la conductivité est $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Ainsi, aux niveaux des points de prélèvement, il y a des conductimètre installées sur site qui mesurent directement la conductivité électrique.



Figure 42: Conductimètre VWA EC 300 [47].

- **Mode opératoire :**

1. Allumer l'appareil du conductimètre.
2. Verser 100 ml d'échantillon dans un bécher propre et sec.
3. Rincer la sonde avec l'eau ultra pure puis avec de l'eau à analyser.
4. Tremper la sonde dans le bécher et essayer éliminé les bulles d'air au cours de la stabilisation de la mesure avec une simple agitation.
5. Lancer le lecteur en appuyant sur EC. Le lecteur prend un peu du temps pour se stabiliser.
6. Noter la valeur de la conductivité affichée sur l'appareil en micro seimes par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
7. Rincer la sonde.
8. Arrêter l'appareil [47].

III.1.3.5 Mesure de l'Alcalinité

- **Mesure du paramètre**

Au niveau du laboratoire d'analyses de la station de dessalement de plage El Hillel, l'alcalinité totale est mesurée par la méthode titrimétrie de HCl en enregistrant la variation du pH lors du dosage [47].

- **Instruments et équipements :**

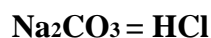
- Matras d'Erlenmeyer 125 ml ;
- Burette graduée.

- **Réactifs :**

- **Phénolphtaléine 1% :** Dissoudre 0,25 g de phénolphtaléine dans 100 ml d'éthanol à 50% ;
- **Bleu de bromophénol 0,04 % :** Dissoudre 0,04 g de bleu de bromophénol dans 15 ml de NaOH et jauger à 100 ml avec de l'eau distillée ;
- **HCl 0.01N:** Diluer 0,83 ml d'HCl à 37% dans de l'eau distillée et jauger à 1000 ml ;
- **Solution de Na₂CO₃ 0.01N:** Sécher Na₂CO₃ à 110°C pendant 2 heures. Dissoudre 0,530 g dans de l'eau distillée et jauger à 1 000 ml.

- **Standardisation d'HCl :**

- Placer 15 ml de la solution de Na₂CO₃ 0.01N dans un matras d'Erlenmeyer de 100 ml et ajouter 3 gouttes de bleu de bromophénol 0,04 %. L'échantillon prend une couleur bleue, titrer avec de l'HCl jusqu'à ce qu'il vire au vert.
- Calculer la normalité :



$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$N_2 = \frac{V_1 \times N_1}{V_2} \quad (3)$$

Où:

V₁= Volume de la solution de Na₂CO₃ ;

N₁= Normalité de la solution de Na₂CO₃ ;

v₂= Volume de l'HCl dépensé dans le titrage ;

N₂= Normalité de l'HCl.

- **Procédure :**

Chapitre III :Matériel et méthodes

1. Placer 5 ml d'échantillon dans un matras d'Erlenmeyer de 100 ml.
2. Ajouter 3 gouttes de phénolphtaléine à 0,25 % ;
3. S'il apparaît une couleur rose, titrer avec HCl 0.01N jusqu'à un virage incolore, coïncidant avec la valeur de pH 8,3. Si la couleur rose n'apparaît pas, inscrire carbonates égal à zéro. Noter le volume (**Volume 1**) ;
4. Ajouter 3 gouttes de bleu de bromophénol à 0,04 % au même matras et une couleur bleue apparaîtra ;
5. Continuer à titrer avec de l'HCl 0.01N jusqu'à l'apparition d'une couleur verte. Le point de virage du titrage coïncidera avec les valeurs de pH entre 4,3 et 4,7. Noter le volume (**Volume 2**)[48].

Tableau 9:Observations lors de titrage d'un échantillon [48].

Titrage	Alc (mg/L CaCO3)
Très bas	< 12.3
Bas	24.6 - 41
Moyen	41 - 98.4
Haut	98.4 - 147.6
Très haut	> 147.6

III.1.3.6 Mesure de la Dureté Total (TH)

Le titre hydrotimétrique ou **dureté totale** de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium. La dureté s'exprime en mg/L de CaCO₃ ou en degrés français [47].

Tableau 10:Classification de l'eau selon la dureté totale [49]

TH en degrés français (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 à plus	Eau très dure

- **Matériels utilisés :**
 - Burette

Chapitre III :Matériel et méthodes

- Matras erlenmeyer 250ml

- **Réactifs :**

- **Solution d'amortissement pH10 :** Dissoudre 6.56 gr. de chlorure d'ammonium (NH₄Cl) et 57 ml d'hydroxyde d'ammonium (NH₃ à 25%).

- **Solution indicatrice du noir d'ériochrome T 1% :** Dissoudre 1gr de noir d'eriochrome T dans 80 ml de triéthanolamine et porter à 100 ml avec de l'eau distillée.

- **- Solution de CaCl₂ 0.01N ou de solution de calcium standard : [47]**

- CaCl₂ : Dissoudre 0.5g de CaCO₃ sec à 100°C pendant 2 heures et le dissoudre dans 10ml de HCl 3N. Jauger à 1000 ml avec de l'eau distillée.
- Calcium standard : peser 1g de CaCO₃ dans un erlenmeyer de 500ml. Dissoudre 0.5g de CaCO₃ sec à 100°C pendant 2 heures et le dissoudre dans 10ml de HCl 3N. Ajouter 200ml d'eau distillée et faire bouillir quelques minutes pour expulser le CO₂. Refroidir et ajouter quelques gouttes d'indicateur rouge de méthyle et ajuster jusqu'à trouver une couleur oranger intermédiaire par ajout de NH₄OH 3N ou HCl 1 :1 comme requis. Diluer jusqu'à 1000 ml avec de l'eau distillée ; 1 ml = 1 mg de CaCO₃

- **Standardisation du EDTA :**

1. Placer 5ml d'échantillon de la solution de CaCl₂ 0.01N dans un matras erlenmeyer de 125ml.

2. Ajouter 5 gouttes de solution de NaOH 4N et un epoinde de spatule d'indicateur murexide.

3. Déterminer la concentration au EDTA jusqu'à un noter un changement de rose en pourpre.

- **Calculs pour la normalité du EDTA :**

$$N_2 = \frac{V_1 \times N_1}{V_2} \quad (4)$$

N₂= Normalité de l'EDTA

V₁= ml de solution de CaCl₂

N₁= Normalité de la solution de CaCl₂

V₂= ml utilisés de la solution de EDTA

- **Mode opératoire :**

Chapitre III :Matériel et méthodes

1. Mesurer 5ml d'échantillon. Si la valeur de l'alcalinité de l'échantillon est supérieure à 300 mg/l, on prendra une dilution de l'échantillon tel que l'alcalinité de celle-ci se situera sur des valeurs inférieures à 300 mg/l.
2. Ajouter 1 ml de buffer pH 10 et 1 ou 2 gouttes de solution indicatrice Noir d'Eriochrome T.
3. Évaluer à l'aide d'une burette remplie à ras de la solution évaluée avec du EDTA 0,02N (0.01M).
4. Le point final de l'évaluation correspondra au moment de passage de la coloration de pourpre à bleu [47].

- **Calculs :**

$$\text{Dureté Totale (mg/l de CaCO}_3\text{)} = \frac{\text{ml utilisés EDTA} \times \text{N EDTA} \times 50.044}{\text{ml d'échantillon.}} \times 1000 \quad (5)$$

- **Échantillon et conservation :**

- Récupérer 100ml de l'échantillon dans un récipient en plastique (polyéthylène ou équivalent) ou en verre.
- Pour sa conservation, ajouter HNO₃ jusqu'à obtenir un PH < 2. La durée maximale conseillée de conservation est de 6 mois [48].

III.1.3.7 Chlore libre, chlore total et chlore combiné :

Le chlore libre est le paramètre indicateur de la concentration en désinfectant (biocide) nécessaire pour maintenir l'eau sans micro-organismes pathogène.

Le chlore résiduel total présent dans l'eau correspondra à la somme du chlore résiduel plus le chlore combiné résiduel.

Le chlore résiduel total correspond à la différence entre la dose de chlore et la demande de chlore.

Le chlore combiné résiduel est la part du chlore résiduel total combiné à des composés azotés, provenant de matière organique pour former des chloramines ou autres.

Détériorer les membranes et dans l'eau traitée en tant qu'agent désinfectant

- **Méthode spectrophotométrique :**

- **Matériel et équipements :**

- Spectrophotomètre Spectroquan Phro 300 ;
- Pipette [48]

Chapitre III :Matériel et méthodes

- **Réactifs :**
 - Kit pour sans Chlore et total 00597 de Merck.
- **Procédure :**
 1. L'échantillon doit se situer sur une valeur du pH entre 4-8.
 2. Pipeter dans une cuvette 5 ml d'échantillon.
 3. Ajouter 1 micro cuillère bleue arasée (sur le couvercle du flacon) de réactif Cl₂-1).
 4. Laisser reposer 3 minutes.
 5. Mesurer sur le photomètre : résultat A (**Chlore libre**).
 6. Dans la même cuvette, ajouter 2 gouttes de réactif Cl₂ -2.Fermer la cuvette et mélanger.
 7. Mesurer l'échantillon sur le photomètre : résultat B (**Chlore total**) [48].

Détermination du chlore combiné :

Pour la détermination du chlore combiné, il est nécessaire de réaliser le chlore libre et le chlore total. Une fois les résultats en main, on procédera à l'opération suivante :

mg/l de Chlore combiné = résultat B (mg/l de chlore total) – résultat A (mg/l de chlore libre)

- **Prélèvement et conservation :**

Analyser les échantillons immédiatement après le prélèvement.
- **Observations :**

Filtrer les échantillons troubles.



Figure 43: Spectrophotomètre

III.1.3.8 Mesure des solides dissous totaux (TDS) :

TDS, signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium et également des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates [47]

Le TDS peut être mesurée par la méthode gravimétrique ou déterminée par calcul

- **Matériels utilisés :**

1. Balance analytique.
2. Pipette (25 ml).
3. Dessiccateur.
4. Étuve de laboratoire.
5. Capsule d'évaporation. Pompe de filtration.
6. Entonnoir Buchner
7. Bécher
8. Pissette.
9. Papier filtre 47 mm (filtre microfibre en verre).

- **Mode opératoire :**

1. Chauffer l'étuve a 180 °C.
2. Homogénéiser l'échantillon avec un agitateur magnétique
3. Mettre un filtre dans l'entonnoir de Buchner et l'humidifier avec un peu d'eau ultra Pure.
4. Filtrer un volume d'échantillon détermine V.
5. Peser et noter le poids d'une capsule d'évaporation vide W2.
6. Verser l'échantillon filtre dans la capsule d'évaporation.
7. Mettre la capsule et le filtrat dans l'étuve pendant deux heures.
8. Après deux heures, faire sortir la capsule et la laisser refroidir dans le dessiccateur.
9. Peser la capsule et noter le poids W1 [47].

- **Expression des résultats :**

Le TDS est calculé selon la formule suivante :

$$\text{TDS mg/L} = [(W1 - W2) / V] * 106 \quad (6)$$

III.1.3.9 Mesure de l'indice de colmatage (SDI)

Le SDI ou indice d'encrassement ou de colmatage des membranes est un procédé pour estimer le degré de blocage ou d'encrassement des membranes dû à la contamination des particules colloïdales qui incluent communément les bactéries, les argiles et le fer. Les produits chimiques utilisés dans le prétraitement comme le chlorure de fer ou les polyélectrolytes peuvent causer un blocage colloïdal.

Selon les équipements de traitement et le type de membranes, des valeurs de SDI ou d'autres sont considérées acceptables. Un SDI 15 inférieur ou égal à 5 pour l'eau d'entrée à l'usine et un SDI 15 inférieur ou égal à 3 pour l'eau d'entrée aux modules d'osmose, sont considérés comme acceptables [47].

- **Instruments et équipements**

- Équipement de SDI
- Membranes de 47 mm de diamètre et pore de 45 microns
- Chronomètre
- Éprouvette graduée de 500 ml

- **Procédure analytique :**

1. Monter le système de mesure comme indiqué sur la figure et mettre en place le régulateur de pression à 2,1 bars.
2. Avant d'installer le filtre Milliporte, passer un échantillon à travers le système de mesure, afin d'éliminer les contaminants qui auraient pu y entrer.
3. Ouvrir le porte-filtres et placer sur sa plaque-support une membrane filtrante avec une sélectivité de 0,45 μm et 47 mm de diamètre. La membrane ne pourra être manipulée qu'avec des pinces à bord lisse pour éviter de la crever. Éviter de toucher la membrane avec les doigts.
4. S'assurer que le joint torique se trouve en bon état et correctement mis en place. Installer de nouveau la moitié supérieure du porte-filtre et fermer de façon à ce qu'elle soit légèrement lâche.
5. Ouvrir le robinet-vanne d'eau et réaliser la première mesure. Simultanément, avec un chronomètre mesurer le temps nécessaire pour recueillir dans l'éprouvette un volume de 500 ml (T_0).
6. 5 (T_5), 10 (T_{10}) et 15 (T_{15}) minutes après avoir commencé l'essai, mesurer de nouveau le temps nécessaire pour recueillir le volume de 500 ml (T_f).
7. Une fois l'essai terminé, la membrane filtrante peut être conservée pour son analyse ou sa comparaison ultérieure [48].



Figure 44:Appareil de détermination de SDI [48].

- **Calculs :**

$$SDI = [(1 - T_o/T_f) \times 100] / T_f \quad (7)$$

Avec :

To : temps initial

Tf : temps final

- **Observations :**

Rincer l'instrument à l'eau douce après l'essai dans le cas où il serait effectué avec de l'eau de mer ou de l'eau très saumâtre afin d'éviter l'endommagement des pièces métalliques de l'instrument.

La pression devra être maintenue à 2,1 bars.

III.1.3.10 Indice de Langelier (LSI)

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité de l'eau est la « méthode de Langelier ». Il a établi un indice, appelé « **indice de saturation** ou **indice de Langelier** ».

L'eau est agressive si cet indice est négatif, elle est calcifiante si l'indice est positif et elle est à l'équilibre calco-carbonique si l'indice de saturation est nul [50].

- **Matériels utilisés :**

Chapitre III :Matériel et méthodes

- PH-mètre
- Conductimètre
- Thermomètre
- Spectrophotomètre DR5000
- Burettes graduées de 25 ml
- Matras d'Erlenmeyer de 100 ml

- **Réactifs**

- HCl 0.01N, phénolphtaléine et bleu de bromophénol pour alcalinité, carbonates et bicarbonates[47].
- EDTA 0.02N, NaOH 4N et Murexide pour calcium

- **Mode opératoire :**

Pour calculer le LSI, il faut déterminer les paramètres suivants :

1. pH. Voir
2. Conductivité.
3. Température.
4. Carbonates et bicarbonates.
5. Calcium

Avec les résultats des paramètres mesurés antérieurement, on calcule :

- ✓ $TDS = \text{Conductivité (us/cm)} * 0,56$
- ✓ $CALCIUM \text{ (mg CaCO}_3\text{/l)} = [\text{Calcium (mg Ca}_{+2}\text{/l)} * 10] / 4,01$
- ✓ $ALCALINITÉ = [(\text{mg HCO}_3\text{-/l)} + 2 * (\text{mg CO}_3\text{/l)} * 10] / 12,2$

Une fois les résultats du TDS, du calcium et de l'alcalinité obtenus, nous pourrions calculer l'indice de Langelier [47]

$$LSI = pH_A - pH_s \quad (8)$$

Où :

pH_A = pH actuel de l'eau

pH_s = pH de saturation ou pH auquel on obtient l'équilibre calco carbonique de l'eau

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

Où :

$$A = (\text{Log [TDS]} - 1) / 10$$

$$B = -13,12 \times \text{Log } (^\circ\text{C} + 273) + 34,55$$

$$C = \text{Log [Ca}_{+2} \text{ comme CaCO}_3]$$

$D = \text{Log} [\text{Alcalinité comme CaCO}_3] \quad [47].$

- Le résultat du calcul de l'indice de Langelier devra se situer entre $\pm 0,5$.

Si $IL = 0$, eau en équilibre chimique

Si $IL < 0$, eau ayant tendance à être corrosive

Si $IL > 0$, eau ayant tendance à être incrustante

III.2 Paramètres hydrauliques

Les différents paramètres hydrauliques (pression, débit...) sont suivis dans la salle de contrôle de la station de Chatt el Hillel par des ingénieurs et des techniciens. Cette salle donne des commandes et des équations à la salle d'osmose inverse



Figure 45: la salle de contrôle de la SDEM de Béni saf [51].

Avec un système de contrôle digital (DCS) YOKOGAWA, tous les équipements de la station sont contrôlables à partir de la salle de commande [51].

Chapitre IV :
Résultats et
interprétations

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV.1 Introduction

Le but de ce chapitre est d'évaluer les performances de fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Chatt El Hilal sur la base de mesures d'une série de paramètres effectuées au niveau de la station.

Les performances de fonctionnement de la SDEM ont été analysées sous deux aspects:

- Performances de traitement et qualité de l'eau.
- Performances de fonctionnement hydraulique.

- **Observations :**

A cause du confinement dû à l'épidémie (COVID 19) et les mesures de sécurité instaurées dans la station, nous n'avons pas pu faire les mesures in situ. On était contraint de travailler sur certaines données qui nous ont été fournies par le responsable de la station. En raison de confidentialité dans la diffusion des données de la station, nous n'avons pas pu obtenir toutes les données nécessaires pour traiter ce chapitre.

IV.2 Performances de traitement et qualité de l'eau

Afin d'évaluer les performances de traitement et qualité de l'eau à la sortie de la station, on va présenter dans ce chapitre, les résultats des mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau qui ont été faites à l'entrée et à la sortie de la station sur une période de 07 jours.

Cette présentation nous permet d'évaluer la qualité de l'eau produite au niveau de la station de dessalement de « Chatt El Hilal ».

Les paramètres discutés sont: la température, le pH, la conductivité électrique, la dureté, le total de sel dissous (TDS), l'alcalinité, l'indice de Langelier, le chlore libre et la turbidité.

IV.2.1 La température :

La température de l'eau est une qualité importante dans les paramètres environnementaux. La figure 46 montre la variation de ce paramètre dans l'eau produite durant la période d'étude.

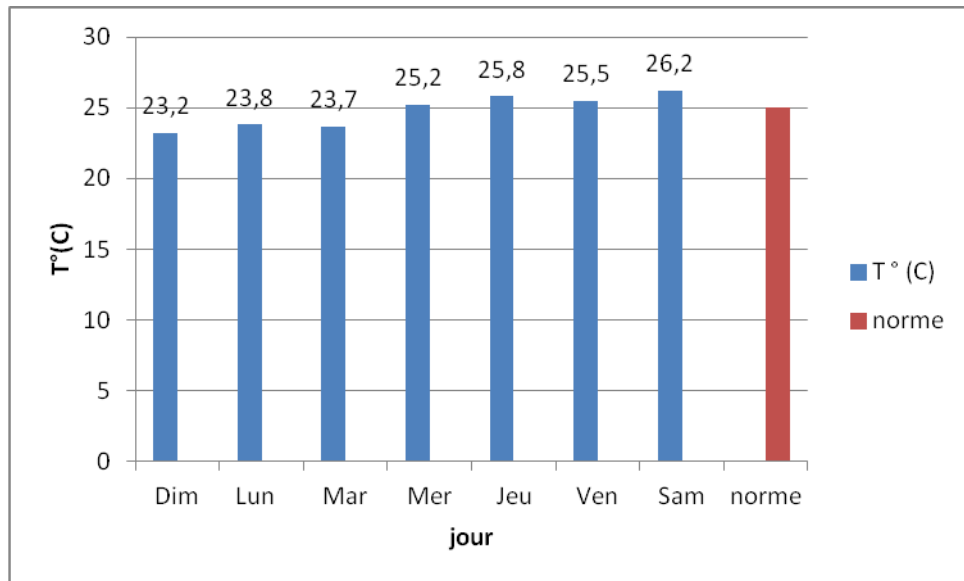


Figure 46: Variation journalière de la température d'eau produite (perméat) durant la période d'étude.

Selon la figure 46, la température de l'eau produite est variable entre 23.2 et 26.2 °C (soit une moyenne de 24.77°C). La température de l'eau est conforme aux normes Algérienne qui fixent une valeur maximale de la température pour l'eau potable 25°C [52].

IV.2.2 Le pH

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de "pH" permet de mesurer la concentration en ions H⁺ de l'eau et révèle l'acidité ou la basicité de cette eau. La figure 47 donne la variation du pH de l'eau produite par la station durant la période de cette étude.

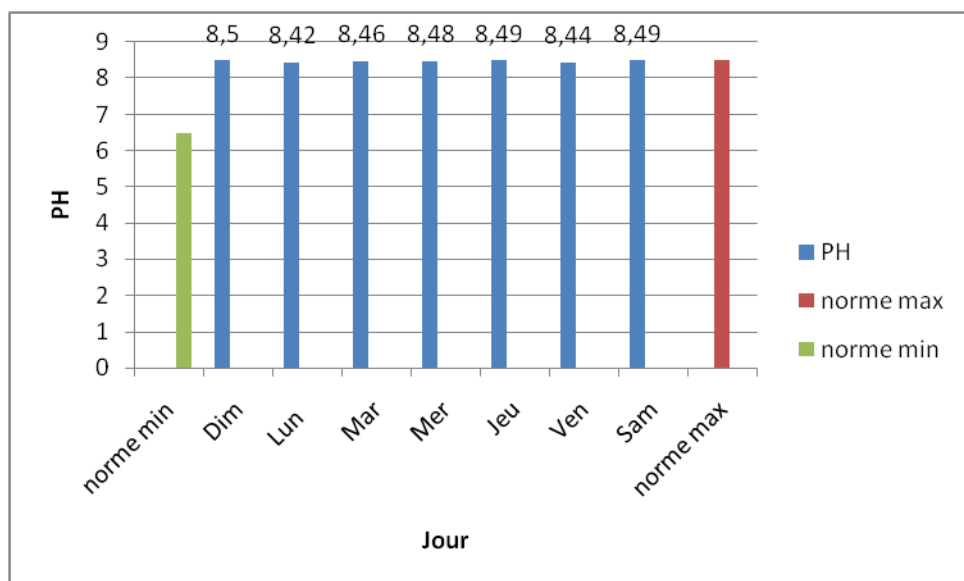


Figure 47 : Variation journalière du pH de l'eau produite durant les 7 jours de l'étude

Les résultats du pH des eaux traitées ont donnés des valeurs de $pH_{min} = 8.42$ et $pH_{max} = 8.5$ (soit un pH moy = 8.47). Ces résultats sont conformes aux valeurs limites des normes Algériennes (6.5/8.5) et aux normes indiquées dans le contrat de la station (8/8.5) [52].

IV.2.3 La conductivité électrique

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique, La mesure de ce paramètre permet donc d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau. La figure 48 donne la variation de la conductivité de l'eau produite durant la période d'étude.

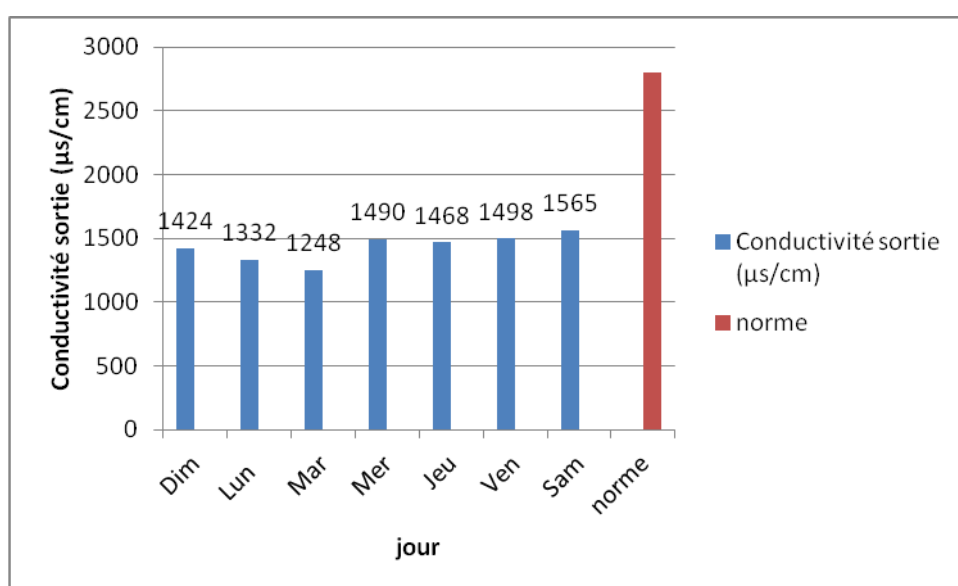


Figure 48: Variation journalière de la conductivité d'eau à la sortie de la station durant la période d'étude.

L'eau de mer prétraitée présente une valeur moyenne de conductivité de 50440 $\mu S/cm$. Après passage de l'eau à travers les membranes d'osmose inverse, la conductivité de l'eau produite a baissée pour atteindre une valeur comprise entre 1248 $\mu S/cm$ et 1565 $\mu S/cm$ avec une valeur moyenne de 1432.14 $\mu S/cm$. Ces valeurs sont largement inférieures à la valeur limite par les normes Algérienne qui est égale à 2800 $\mu S/cm$ [52].

IV.2.4 La dureté

La dureté d'une eau traduit sa teneur globale en ions calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}). La figure 49 donne la variation de la dureté de l'eau produite par la station pendant les 7 jours d'étude.

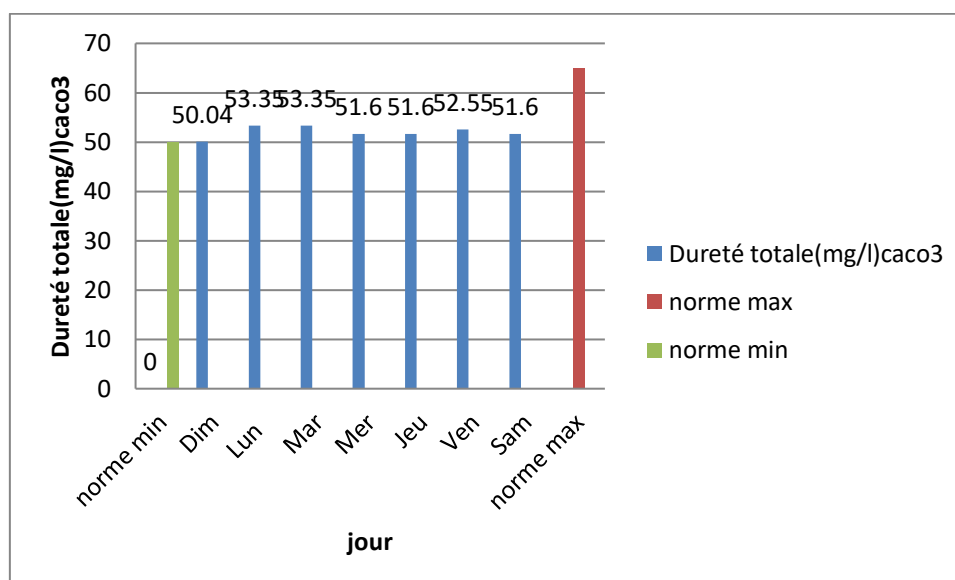


Figure 49: Variation journalière de la concentration de la dureté de l'eau produite au niveau de la station de Chatt El Hillal durant la période des 07 jours

D'après la figure 49, les valeurs de la dureté de l'eau produite par la station sont comprises entre 50.04 mg/l et 53.35 mg/l de CaCO_3 avec une valeur moyenne de 52.01 mg/l de CaCO_3 . Ces valeurs sont conformes aux normes Algériennes (50 à 65 mg/l de CaCO_3). Cette eau est classée dans les catégories des eaux douces [52].

IV.2.5 Le total de sel dissous (TDS)

La figure 50 présente la variation de la concentration du total des sels dissous (TDS) contenus dans l'eau produite (perméat) pendant la période d'étude.

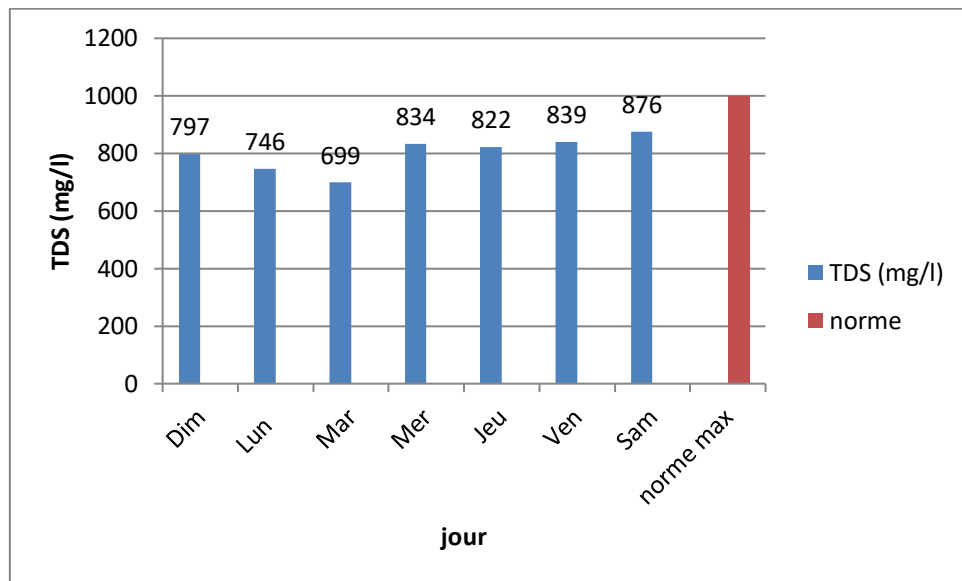


Figure 50: Variation journalière de la concentration du TDS dans l'eau produite durant la période d'étude.

Les résultats obtenus ont montrés que le taux du TDS varie entre 699 et 876 mg/l, soit une valeur moyenne de 801.85 mg/l.

Les valeurs du TDS ne sont pas conformes aux normes Algériennes Souhaitable qui sont de 150 à 500 mg/l dans les eaux traitées par dessalement [52].

Mais ça ne dépose pas des problèmes de potabilité car ces valeurs ne dépassent pas 1000 mg/l (valeur critique).

IV.2.6 L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau est sa capacité à résister aux attaques acides et elle est donc liée à son contenu en substances à caractère basique. La figure 51 présente la variation de la concentration de l'alcalinité de l'eau traitée pendant les 7 jours de l'étude.

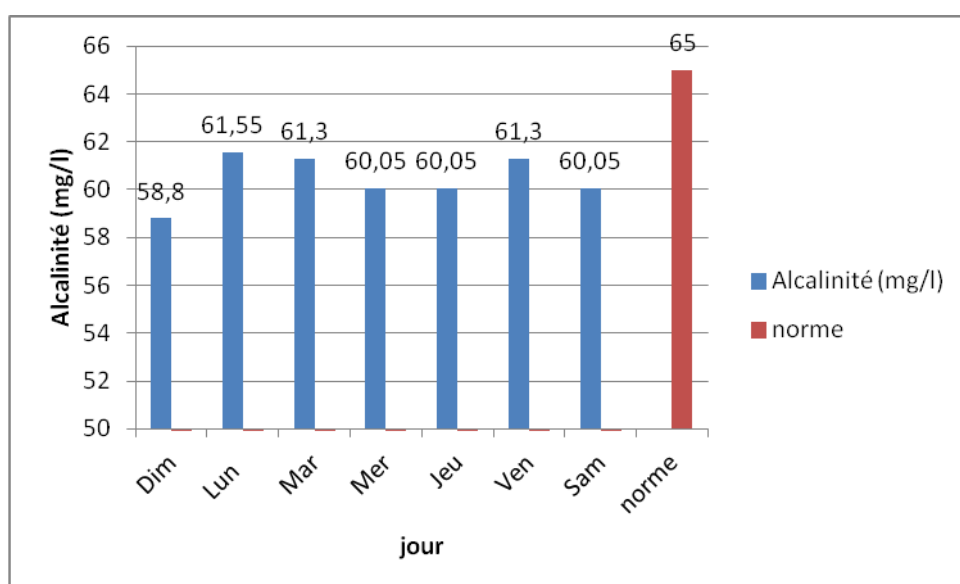


Figure 51: Variation journalière des concentrations de l'alcalinité de l'eau produite au niveau de la station durant les 7 jours d'étude.

Les valeurs de l'alcalinité enregistrée durant ces jours de mesures sont comprises entre 58.8 mg/l CaCO_3 et 61.55 mg/l CaCO_2 (soit une valeur moyenne de 60.44 mg/l CaCO_3).

Les valeurs de l'alcalinité sont conformes aux normes Algériennes des eaux dessalées (65 mg/L en CaCO_3) [52].

IV.2.7 L'indice de Langelier

L'indice de Langelier est une évaluation globale de la qualité de l'eau pour déterminer si l'eau est corrosive ou s'il y aura formation de Tartre. La figure 52 présente les valeurs de l'indice de Langelier (LSI) observés sur l'eau produite par la station durant les jours des mesures.

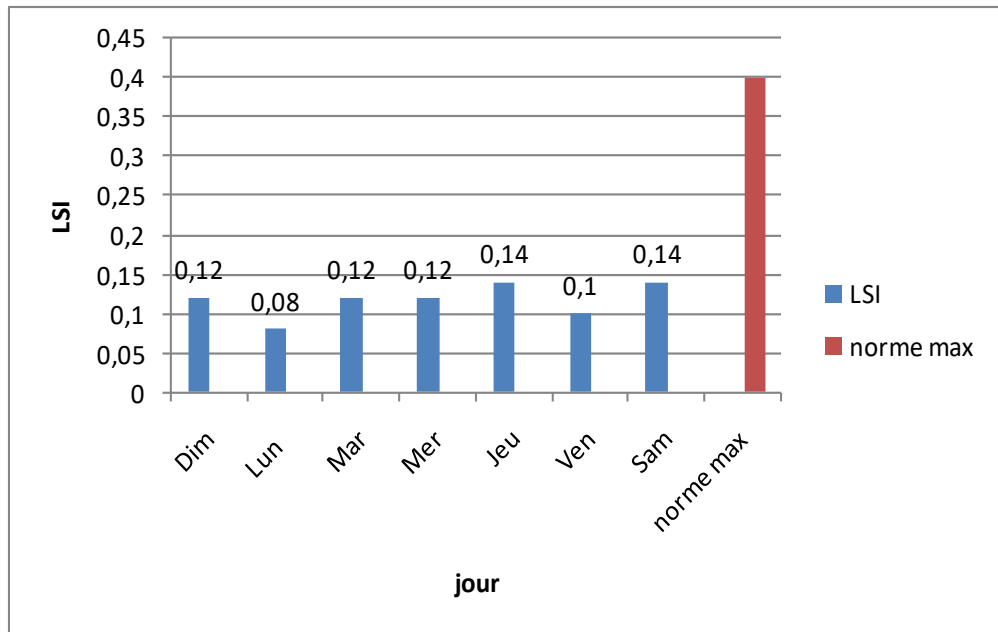


Figure 52: Variation journalière de l'indice de Langelier (LSI) durant les 7 jours de mesure

En examinant les résultats obtenus dans la figure 52, on remarque que les valeurs de l'indice de Langelier oscillent entre 0.08 et 0.14 et sont toujours dans les normes fixées par la station (entre 0 et 0.4). L'eau produite par la station est conforme à l'usage alimentaire.

IV.2.8 Le chlore libre

Le chlore est l'un des réactifs le plus utilisé lors de la désinfection. La figure 53 présente la concentration du chlore libre dans l'eau traitée mesurée durant les 7 jours de mesure.

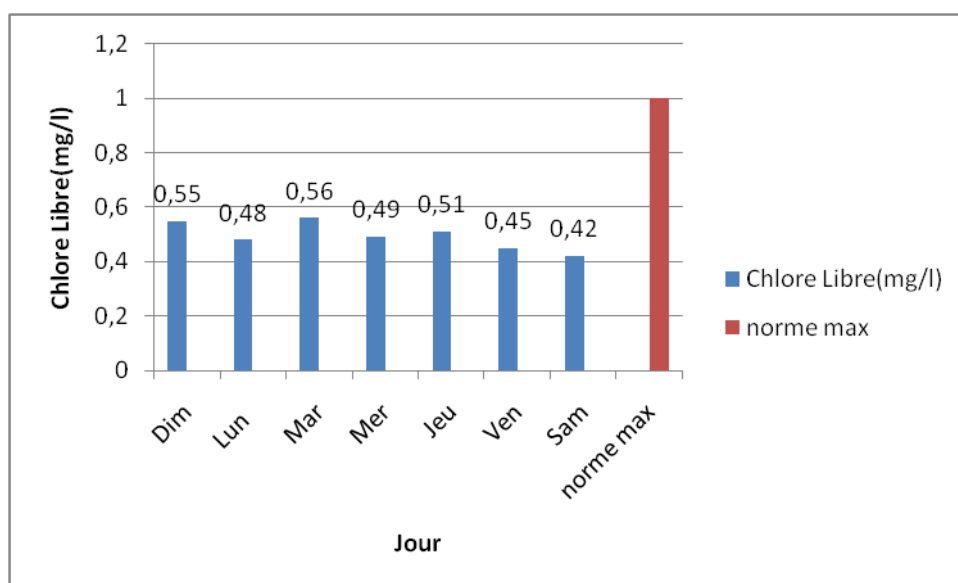


Figure 53: Variation journalière de la concentration du chlore libre dans l'eau traitée durant les 7 jours de l'étude

D'après les valeurs indiquées sur la figure 53, on voit que les concentrations du chlore libre dans l'eau produite par la station sont comprises entre 0.42 mg/l et 0.56 mg/l et ne dépassent pas la norme Algérienne (1 mg/l) [52].

IV.2.9 La turbidité

La turbidité est une caractéristique optique de l'eau. La figure 54 donne la variation de la turbidité de l'eau produite par la station pendant les 5 jours de mesures.

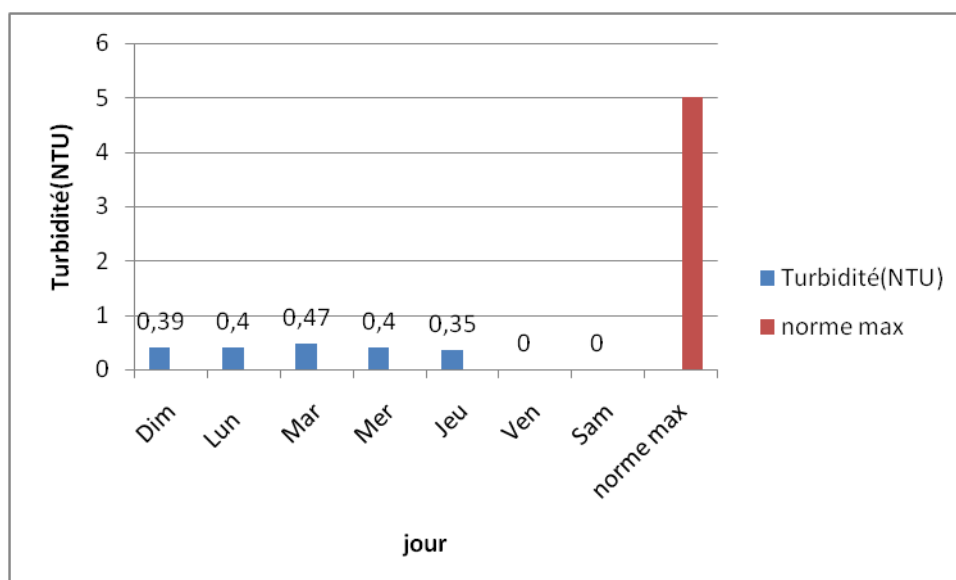


Figure 54: Variation journalière de la concentration de la turbidité au niveau de la station durant les 5 jours de mesure.

Les valeurs de la turbidité sont proches de zéro. La norme Algérienne fixe une valeur maximale de 5 NTU pour l'eau potable [52].

IV.3 Performances de fonctionnement hydraulique

Les paramètres discutés dans ce paragraphe sont:

- Le taux de conversion ;
- L'indice de colmatage (SDI) et
- Le débit instantané de chaque rack

IV.3.1 Taux de conversion

Le taux de conversion (Y) est le quotient du débit de l'eau de perméat produit sur le débit de l'eau d'alimentation. Il est donné par la formule suivante :

$$Y (\%) = \frac{Q_{\text{perméat}}}{Q_{\text{alimentation}}} \quad (9)$$

La SDEM de Chatt el Hillal compte 10 racks. La figure 55 donne la variation du taux de conversion pour chaque rack :

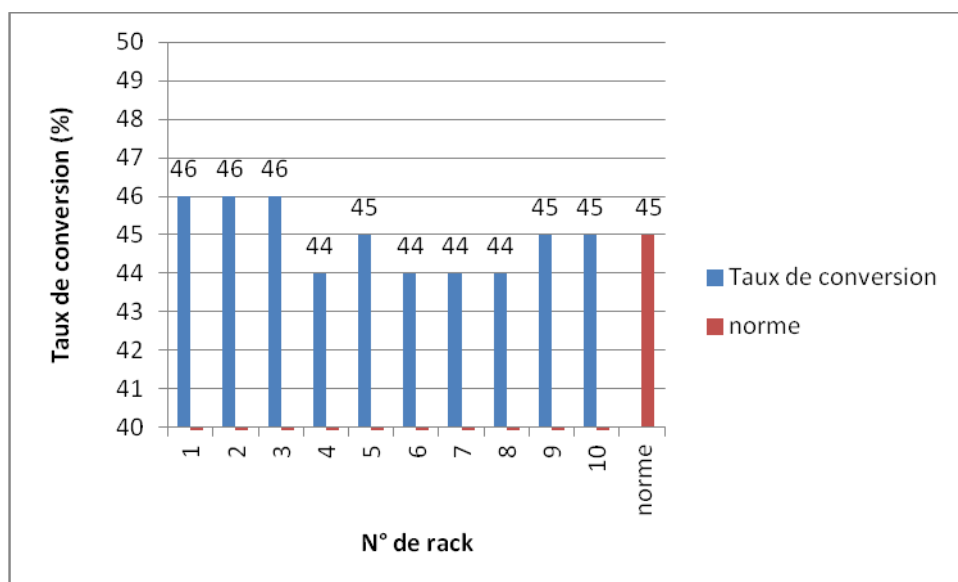


Figure 55: Variation du taux de conversion de chaque rack de la SDEM de Chatt El Hillal

D'après les résultats indiqués sur la figure 55, on remarque que le taux de conversion des 10 racks est presque constant (45 ± 1) %. Cette valeur est conforme à la consigne fixée par la station 45 %.

IV.3.2 L'indice de colmatage SDI

L'indice de colmatage (SDI) est un indicateur de la concentration de solides ou de particules en suspension dans l'eau. C'est un paramètre important pour le fonctionnement des osmoseurs. La figure 56 donne la variation de L'indice de colmatage (SDI) pendant 5 jours de mesures.

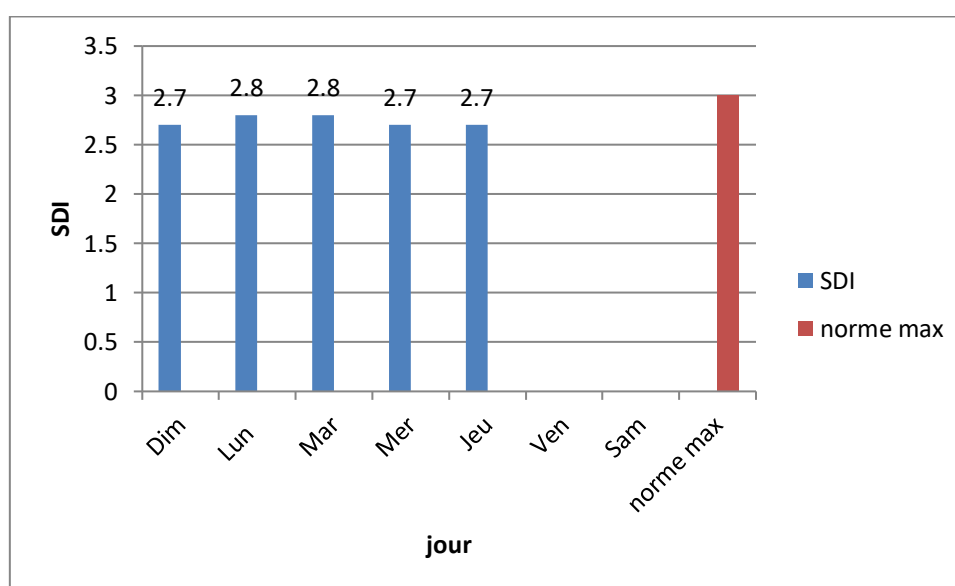


Figure 56: Variation journalière de l'indice de colmatage des membranes mesuré sur une période de 5 jours.

Selon la figure 56, les valeurs de l'indice de colmatage des membranes varient entre 2.7 et 2.8 et sont toujours inférieures à 3 ($SDI < 3$ fixé par la station). Ces chiffres signifient que les membranes fonctionnent dans de meilleures conditions.

IV.3.3 La variation de débit instantané pour chaque rack :

La figure 57 donne la variation de débit instantané pour chaque rack :

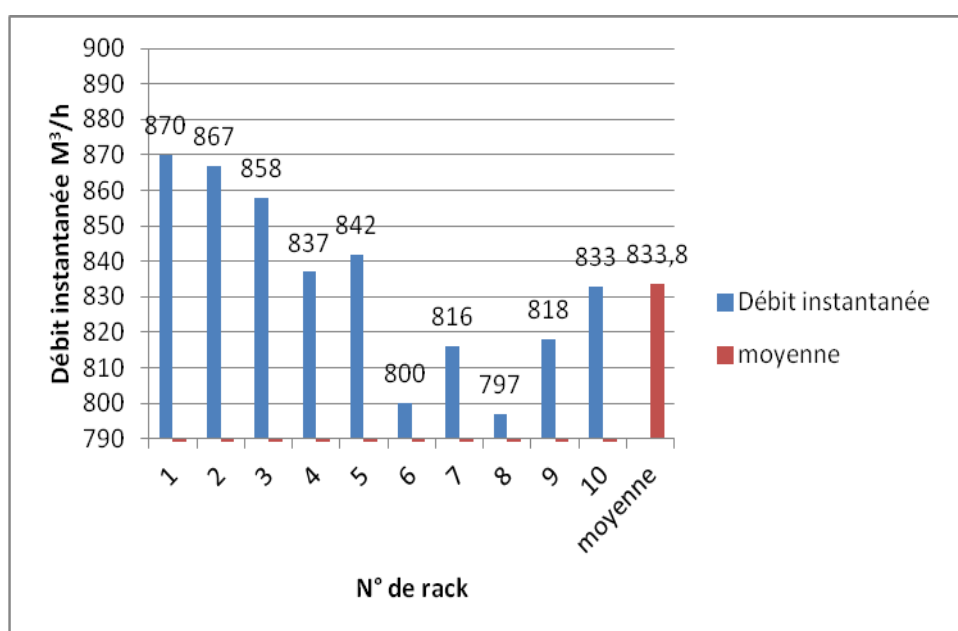


Figure 57: Variation du débit instantané pour chaque rack.

Le débit horaire fourni par les racks oscille de 797 à 870 m³/h soit une moyenne de 833,8 m³/h ce qui permet d'assurer une production journalier d'eau traitée de 200 000 m³/j. Ces chiffres confirment les performances de fonctionnement de la station.

N.B :

Par manque des données les paramètres discutés précédemment ne sont pas tous les paramètre effectué dans la station.

IV.4 Conclusion

- Les analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau traitée par la SDEM de Chatt El Hillal montrent que les valeurs du pH sont comprises entre 8.42 et 8.52, la conductivité électrique varie de 1248 à 1565 μ S/cm. La dureté de l'eau produite varie de 50.04 à 53.35 mg/l de CaCO₃ et l'indice de Langelier varie de 0.08 et 0.14. Quant aux concentrations du chlore, elles sont comprises entre 0.42 à 0.56 mg/l. L'ensemble des paramètres discutés sont conformes aux normes Algériennes.

- Les paramètres de fonctionnement hydrauliques montrent que le taux de conversion (45 %) est pratiquement constant et assurée par la station. L'indice de colmatage des membranes varient entre 2.7 et 2.8 qui inférieur à 3 (SDI <3). La moyenne de débit instantané des 10 racks est 833.8 m³/h ce qui assure une production journalière de 200 000 m³/j.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le dessalement d'eau de mer présente une solution alternative pour pallier le manque d'eau dans certaines régions du monde où la ressource en eau devient rare et avec le développement technologique l'osmose inverse prend de l'avance sur les autres techniques de dessalement.

La station de dessalement de Chatt El Hillel fait partie des grandes usines de dessalement en Algérie avec une capacité de production de 200 000 m³/j. En effet, ce projet contribue à résoudre la pénurie des ressources en eau de la wilaya d'Ain Témouchent et une partie de la wilaya d'Oran en eau potable. Cette station est basée sur la technique d'osmose inverse qui a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages, il est relativement simple (une pompe haute pression) et plus performant du point de vue énergétique, avec des filtres à sables et cartouches, outre une récupération de l'énergie du concentrât.

Notre travail est destiné à l'étude de performance de fonctionnement hydraulique et la qualité de l'eau traitée au niveau de la Station de dessalement de Chatt El Hillel. En fin de cette étude on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les paramètres organoleptiques de l'eau dessalée par la station sont en accord avec les normes de consommation algérienne
- Les analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau montrent les résultats suivants :
 - ✓ Les mesures du pH compris entre 8.42 et 8.5 elles sont conformes aux normes Algériennes.
 - ✓ Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 1248 µS/cm et 1565 µS/cm, elles sont conformes à celles des normes algériennes.
 - ✓ La dureté de l'eau produite varie de 50.04 à 53.35 mg/l de CaCO₃ .donc l'eau est de nature douce.
 - ✓ La valeur de l'indice de Langelier varie entre 0.08 et 0.14 et sont toujours en rapport avec les valeurs fixées par la station (entre 0 et 0.4).
 - ✓ Les concentrations du chlore sont comprises entre 0.42 à 0.56 et répondent à la norme algérienne (< 1 mg/l);
- Les paramètres de fonctionnement hydrauliques montrent que :
 - ✓ Le taux de conversion 45 % est garanti par la station.
 - ✓ - L'indice de colmatage des membranes varient entre 2.7 et 2.8 qui est inférieur à 3 (SDI <3). Donc les membranes fonctionnent correctement.

Conclusion Générale

- ✓ La moyenne de débit instantané des 10 racks est 833.8 m³/h qui assure une production journalière de 200 000 m³/j.

D'après les résultats des analyses effectuées, nous pouvons dire que l'eau de dessalement de la station Chatt El Hillel est une eau de bonne qualité et ne présente aucun danger pour la consommation humaine.

Bibliographie

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] F. MUSSEAU, (2007) «Article,URL <http://eau.apinc.org/spip.php?article510>», Libération du 8 Aout,
- [2] DUNGLAS J., (2014) « Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau », rapport de travail Académie d'agriculture de France.
- [3]RAPINAT M. (1982). «L'eau. Presse universitaire de France».1re édition : 1982 ISBN 2130375626.127 p.
- [4]HUOT A. (2010). « Eau et santé. La revue Biocontact», n°200.
- [5]MAUREL A. (2006), «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Ed. Tec et Doc», 2^{ème} éd, Lavoisier, Paris.
- [6] MORVAN G. (2006). « Les techniques de potabilisation de l'eau, dessalination, dessalement, traitement de l'eau saumâtre».
- [7] PATRICK D. (2003). « Dessalement de l'eau de mer. Revue Techniques de l'ingénieur
- [8] PATIER X. & BLANCHON D. (2010). « Documentation photographiques». 8078. L'Eau, une ressource menacée La documentation Française. Paris. 63p.
- [9] SAL J., (2012) « Le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir ? », Revista de Geografia e Ordenamento do Território, N°1 (Junho). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. P 237 à P 262.
- [10] ATHENES. (2001) ; « Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens, évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure. Programme des nations unies pour l'environnement.
- [11] BOYE H., (2008) : « Eau, énergie dessalement et changement climatique en méditerrané. Plan bleu centre d'activité régional, conseil général de l'environnement et du développement durable ».
- [12]BEN BELKACEM M, BELAID M A (2013) ; « Contribution a l'étude de regeneration des membranes et des filtres a laine d'une station de dessalement de l'eau de mer» ; Mémoire de Master, Université de TIZI-OUZOU, Département Chimie.
- [13] AMITOUCHE M., (2016) : « Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur », Thèse de Doctorat en sciences en Hydraulique, université de BISKRA
- [14] AYAD A, BENSAOULA M, (2019) ; « Etude des performances de fonctionnement d'une station de dessalement d'eau : cas de la SDEM de Honaine» ; Mémoire de Master, Université de Tlemcen, Département Hydraulique.

Références bibliographiques

- [15] BENSALÉM M, (2012) ; « Impact des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral cas de la station Souk Thlata »; Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et environnement, Université Abou Bekr Belkaid , Tlemcen.
- [16] KAMECHE H, MADANI Kh(2017) ; «Gestion de la saumure de dessalement- cas de la station de Cap-Djinet-(W)- Boumerdes» Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara, Boumerdes Département de Génie des Procédés .
- [17]. N. NOUREDDINE (2008); «Etude d'impact des rejets des eaux de la station de dessalement de Brédéah sur l'environnement» ; Mémoire de Magister .Université d'Oran es-sénia Algérie.
- [18] M.SEBKI et I. AISSAOUI (2016) ; « Etude paramétrique pour le dimensionnement du diffuseur de saumure de la méga station de dessalement de Magtâa » ; mémoire fin d'étude Ecole Nationale Polytechnique.
- [19] J.JAIME SADHWANI, JOSE M.VEZA, S.CARMELO;(2005); « Case studies on environmental impact of seawater Desalination » ; Desalination Vol.185.
- [20] Aquaportail, (02/12/2019); «Définition de eau potable» Disponible sur :<https://www.aquaportail.com/definition-7160-eau-potable.html>. [Consulté le 24/02/2020].
- [21] MAIGA A, S, (2005) «Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako: évaluation saisonnière», thèse doctorat en pharmacie.
- [22] MONIQUE H (1991) «Les eaux naturelles et les eaux de consommation », Saint Laurent.
- [23] SAVARY P, (2010) « Guide des analyses de la qualité de l'eau », Edition territoriale, P75.
- [24] RODIER J. (1996) : «L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer», 8ème éd. Ed. Dunod, Paris.
- [25] M.HAMED, A.GUETTACHE et L. BOUAMER, (2012) «Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage». Mémoire d'Ingénieur d'état en Biologie. Université de Bechar,
- [26] REJSEK. M. (2002) : «Analyse des eaux, aspect réglementaire et technique», série science et technique de l'environnement, Paris.
- [27] GAUJOUR D., (1995) : « La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire »,2eme édition : Lavoisier, P 49.
- [28] DEVILLERS J., SQUILBIN M., YOURASSOWSKY C. (2005) : «Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface». Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, observation des données de l'environnement L'IBGE: l'eau à bruxelles. Fiche 2.

Références bibliographiques

- [29] GUILBERT. L : « Analyse de la dureté de l'eau », Projets d'Intégration des Sciences et des Technologies en Enseignement au Secondaire.
- [30] DEGREMONT G., (2005) : « Mémento technique de l'eau Tome 1 », édition 10eme : Tec et doc, P3 P 38.
- [31] SARI. H (2014) : « Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source «Attar » (Tlemcen) », Diplôme de master, Sciences des aliments, P14, P19.
- [32] RODIER J, (2009) : « L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer», 9ème édition, Dunod, Paris.
- [33] FELLAH A, (2010) : « Contribution a l'étude des polluants métalliques dans l'eau et les sédiments de l'estuaire de la Tafna (Rachgoune, Tlemcen) », magister en chimie. Université de Tlemcen.
- [34] C.HASLAY. et H. LECLERC (1993) : «Microbiologie des eaux d'alimentation». Technique et documentation. Lavoisier édition, Paris.
- [35] BOUCHAKOUR .N, SADOK. A, (2017) : «Impact environnemental de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès (wilaya de Chlef) » Mémoire de Master, Université de Abderrahmane Mira- Bejaia, Département des Mines et géologie.
- [36] Royaume du Maroc Conseil Régional de Tourisme Région Guelmim Es Smara .Réf : 3_tata_15_6Titre : le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres
- [37] Le magazine de la chronique scientifique N°4 / Juillet-Août 2005 / Recherche & Développement «Le dessalement de l'eau de mer»
- [38] Fedali saida modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas coût pour les communautés rurales: thèse magister université Batna 2008.
- [39] Baker, R.W., 1991. Membrane Separation Systems: Recent Developments and Future Directions. Noyes Data Corporation.
- [40] AIMAR P., BACCHIN P., MAUREL A. (2010) Filtration membranaire (OI, NF, UF, MFT). *Techniques de l'ingénieur*. J 2 789
- [41] BANDELIER Philippe ; «Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres» ; Article: 121 janv-2017.
- [42] Bilel FATHALLI ; «influence des paramètres opératoires sur les performances d'un système de dessalement par osmose inverse» ; Ecole Nationale des Ingénieurs de Tunis ; 2010/2011 .
- [43] J. K. Liou, Géométrie des modules in: Les séparations par membrane dans les procédés de l'industrie alimentaire. G. Daufin, F. René, P. Aimar ,3Paris, Lavoisier - Tec & Doc: 41-56, 1998.

Références bibliographiques

- [44] BERLAN J M & JUERY C. (2002). Le procédé membranaire pour le traitement de l'eau. Office international de l'eau (SNIDE). Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales. Direction de l'espace rurale et du foret, France.
- [45] EL KHABBAZE H. (2008). Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nano filtration et d'osmose inverse. Chimie. Thèse de doctorat. Université Mohamed v AGDAL faculté des sciences rabat, Maroc.
- [46] MORSLI Mebarka Soumia ; « Impact des Arrêts Techniques de L'usine de Dessalement de L'eau de Mer sur L'entreprise et L'environnement» ; mémoire de magister ; université d'Oran 2013.
- [47] MOHAMMEDI HANANE & SABRI FATIMA 2018 «Suivi de la qualité physico-chimique des eaux de la station de Dessalement de plage el hillel BWC» Mémoire de fin d'études Présenté pour l'obtention du grade De Master Académique, Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD – TLEMCEN
- [48] FERHI Zahra & BENKHOUEANE Amina 2019 «L'influence de concentration de sel sur la qualité de l'eau traitée par les membranes d'osmose inverse» Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de MASTER En : Hydraulique UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD – TLEMCEN
- [49] BERNE F. et CORDONNIER J., (1991), 'Traitement des eaux. Edition : Tec.
- [50] RODIER J., (2005). L'analyse de l'eau. 8^{ème} ED, Dunob).
- [51] Mostefaoui Leïla (2016) « Dessalement d'eau de mer par osmose inverse, fonctionnement et effets des paramètres sur le rendement» PROJET DE FIN D'ETUDES Pour l'obtention du diplôme de Master en : Hydraulique, Universitaire BELHADJ Bouchaib d'Ain-Temouchent
- [52] La norme algérienne de potabilité de l'eau de consommation (journal officiel de la république algérienne 9mars 2014).
- 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.

Références bibliographiques

WEBOGRAPHIE

- [A] : <http://dessalementunisie.e-monsite.com/pages/sous-partie/1-la-distillation-1.html>
- [B] : <http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0910/bei/beiere/groupe2/node/75.html>
- [C] : <http://www.lycee-kerichen.org/dossiers/ProjetInde/page5.html>
- [D] : <http://tpedessalement77.e-monsite.com/pages/1-electrolyse.html>
- [E] : https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich9_2.htm
- [F] : <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/fr/Treatment/Membrane-Processes-technologies.html>

ANNEXES

Annexes

Annexe A : Valeurs limites des paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine

7 Jomada El Oula 1435 9 mars 2014		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 13		15
ANNEXE				
Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine				
Tableau 1 : paramètres avec valeurs limites				
GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES	
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2	
	Ammonium	mg/l	0,5	
	Baryum	mg/l	0,7	
	Bore	mg/l	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux déssalées ou déminéralisées : 1,3	
	Fluorures	mg/l	1,5	
	Nitrates	mg/l	50	
	Nitrites	mg/l	0,2	
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5	
	Acrylamide	µg/l	0,5	
	Antimoine	µg/l	20	
	Argent	µg/l	100	
	Arsenic	µg/l	10	
	Cadmium	µg/l	3	
	Chrome total	µg/l	50	
	Cuivre	mg/l	2	
	Cyanures	µg/l	70	
	Mercure	µg/l	6	
	Nickel	µg/l	70	
	Plomb	µg/l	10	
	Sélénium	µg/l	10	
	Zinc	mg/l	5	
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2	
	Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (1,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01	
Benzène	µg/l	10		
Toluène	µg/l	700		
Ethylbenzène	µg/l	300		

Annexe B : Les valeurs limites des paramètres organoleptiques et physico-chimique de l'eau de consommation

7 Jomada El Oula 1435 9 mars 2014		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 13		17
Tableau 2				
Paramètres avec valeurs indicatives				
GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES	
Paramètres Organoleptiques	couleur	mg/l platine	15	
	Turbidité	NTU	5	
	Odeur à 25 °C	Taux dilution	4	
	Saveur à 25 °C	Taux dilution	4	
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux déssalées ou déminéralisées (valeur minimale)	
	Calcium	mg/l	200	
	Chlorure	mg/l	500	
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9	
	Conductivité à 20 °C	µS/cm	2800	
	Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500	
	Fer total	mg/l	0,3	
	Manganèse	µg/l	50	
	Phosphore	mg/l	5	
	Potassium	mg/l	12	
	Sodium	mg/l	200	
	Sulfates	mg/l	400	
Température	°C	25		

Annexes

ANNEXE 03 : Les valeurs limitent de qualité de l'eau de mer de la station de dessalement de plage El Hillel :

paramètre	Unités	valeurs limites
Température	°C	/
pH	/	6,5-8,5
Matière en suspension	mg/l	35
phosphore total	mg/l de P2O5	10
DBO5	mg/l d'O2	35
DCO	mg/l d'O2	120
Fluor	mg/l	15
Fer (Fe)	mg/l de fe	3
Zinc (Zn)	mg/l de Zn	3
Cuivre	mg/l de Cu	0,5
Aluminium (Al)	mg/l	35
Cadmium	mg/l	0,2
Cyanures	mg/l	0,1
Manganèse (Mn)	mg/l	1
Indice de phénols	mg/l	0,3
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Chrome	mg/l	0,5

ANNEXE 04 : Les normes de contrôle de la station de dessalement de plage El Hillel :

Paramètre	Unité	Qualité garantie
pH	/	8 à 8,5
Alcalinité	ppm CaCo3	65
Dureté	ppm CaCo3	50 à 65
Indice de langelier		0 à 0,4
Chlore libre	ppm	0,5

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à évaluer les performances de fonctionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Chatt El Hillel qui est située au niveau de la Wilaya de Ain Témouchent sur la base de données qui nous ont été fournies par la station sur des mesures effectuées sur les paramètres hydrauliques et physico-chimiques de l'eau produite. Cette station utilise comme procédés de dessalement celui de l'osmose inverse (OI). Les résultats obtenus sur 7 jours de mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée montrent que la qualité physico-chimique de l'eau produite est conforme aux normes Algériennes de potabilité: un pH compris entre 8.42 et 8.5 et une dureté < 60 mg/l de CaCO₃ Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 1248 µS/cm et 1565 µS/cm et sont largement inférieures à 2800 µS/cm limite admissible pour l'eau de consommation. Les paramètres hydrauliques discutés montrent les bonnes performances de la station en matière de fonctionnement et de production d'eau dessalée journalière: Taux de conversion moyen de 45 %, indice de colmatage SDI < 3, un débit moyen horaire autour de 8338 m³/h et une pression de refoulement de la pompe HP < 70 bars.

Mots clés :

Station de dessalement, Chatt El Hillel, osmose inverse, paramètres hydrauliques, paramètres physico-chimiques de l'eau, normes de potabilité.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the operational performance of the seawater desalination plant in Shatt Al-Hilil located in the state of Ain Temouchent on the basis of data provided to us by the station on the measurements made on the hydraulic and physical-chemical parameters of the produced water. This plant uses reverse osmosis (RO) as a desalination process. The results obtained over 7 days of measurements of the physicochemical parameters of the treated water show that the physicochemical quality of the water produced complies with Algerian standards of drinkability: a pH between 8.42 and 8.5 and a hardness <60 mg / l of CaCO₃ The values of the electrical conductivity vary between 1248 µS / cm and 1565 µS / cm and are well below the 2800 µS / cm admissible limit for drinking water. The hydraulic parameters discussed show the good performances of the station in terms of operation and production of daily desalinated water: Average conversion rate of 45%, SDI clogging index <3, an hourly average flow rate around 8338 m³ / h and a delivery pressure of the HP pump <70 bars.

Keys words:

Desalination plant, Chatt El Hillel, reverse osmosis, hydraulic parameters, physicochemical parameters of the water, drinking standards.

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم الأداء التشغيلي لمحطة تحلية مياه البحر في شاط الهليل الواقعة بولاية عين تموشنت على أساس البيانات المقدمة إلينا من قبل محطة على القياسات التي أجريت على المعلمات الهيدروليكية والفيزيائية الكيميائية للمياه المنتجة. تستخدم هذه المحطة التناضح العكسي (RO) كعملية تحلية.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها على مدى 7 أيام من القياسات الفيزيائية والكيميائية للمياه المعالجة أن الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه المنتجة تتوافق مع المعايير الجزائرية لقابلية الشرب: درجة حموضة بين 8.42 و 8.5 و صلابة >60 mg / l of CaCO₃ تختلف قيم التوصيل الكهربائي بين 1248 µS / cm و 1565 µS / cm وهي أقل بكثير من الحد المسموح به 2800 µS / cm لمياه الشرب. توضح المعلمات الهيدروليكية التي تمت مناقشتها الأداء الجيد للمحطة من حيث تشغيل وإنتاج المياه المحلاة يوميًا: متوسط معدل التحويل 45٪ ، مؤشر انسداد SDI >3 ، متوسط معدل التدفق بالساعة حوالي 8338 متر مكعب / ساعة و ضغط توصيل مضخة HP >70 بار

الكلمات المفتاحية:

محطة تحلية مياه ، شط الهليل ، التناضح العكسي ، المعايير الهيدروليكية ، المعايير الفيزيائية والكيميائية للمياه ، معايير الشرب .