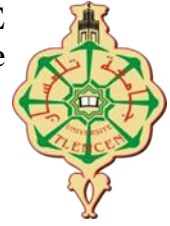




REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID --TLEMEN-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Département d'Ecologie Et Environnement
Laboratoire : Valorisation des actions de l'homme pour la protection de
l'environnement et application en santé publique

Mémoire présenté par

M^{elle} FERHAH Jihane

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

Filière: Hydrobiologie marine et continentale
Spécialité : Sciences de la Mer

Thème :

Fonctionnement d'une station de
dessalement – Impact environnemental

Soutenu le : 25 Juin 2025, devant le jury composé de :

Président: Mr. BOUCHIKHI TANI Zoheir

Professeur Université de Tlemcen

Examineur : Mr. MAHI Abdelhakim

M.C.A Université de Tlemcen

Encadreur: Mr. BENDIMERAD Med. El Amine

M.C.A Université de Tlemcen

Année Universitaire : 2024-2025



Remerciements


*Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers **Dieu Tout-Puissant** qui m'a accordé la santé, la patience et la volonté nécessaire pour mener à bien ce travail.*

*Je souhaite adresser mes plus sincères remerciements à **Monsieur BENDIMERAD M^{ed} El Amine**, mon encadrant à l'université, pour son accompagnement, ses conseils précieux et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je tiens à adresser mes sincères remerciements à **Monsieur BOUCHIKHI TANI Zoheir**, président du jury, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'évaluer ce travail. Sa présence témoigne de l'intérêt qu'il porte à mon mémoire.*

*J'exprime également ma gratitude à **Monsieur MAHI Abdelhakim**, examinateur pour le temps qu'il a bien voulu consacrer à la lecture et à l'évaluation de ce mémoire, ainsi que pour ses remarques et ses conseils enrichissants.*

*Mes remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel de la **station de dessalement de Honaine**, pour leur collaboration, leur gentillesse et leur soutien technique, qui ont grandement facilité mon travail sur le terrain*



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes Parents Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu Leurs procure bonne santé et Longue Vie.

A mes Sœurs et Frère pour leur présence constate, leur encouragement tout au long de ce parcours.

A mes Neveux et Nièces, sources de joie et de tendresse dans ma Vie. Vos sourires et votre innocence m'apportent un bonheur indescriptible.

A mes Amis sincères, compagnons de route, pour vos mots d'encouragement, vos partages surtout Chirani, Z.

A mes camarades, merci pour les beaux moments partagés, pour le soutien, et l'ambiance que nous avons créée ensemble

A Tous mes Cousins, mes Tantes et mes Oncles. Que dieu leur donne une longue et Joyeuse vie

A Tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse ma plus sincère reconnaissance

Merci

Sommaire

Remerciements	II
Dédicaces	III
Sommaire.....	IV
Liste des abréviations	VII
Table des figures	IX
Table des tableaux	XII
Introduction générale.....	10
Chapitre 01 : L'eau, un enjeu vital pour le futur	02
1- Introduction.....	03
2- Cycle de l'eau	03
3- Réparation de l'eau	04
3-1 Dans le monde	04
3-2 L'eau en Afrique.....	04
3-3 Eau en Algérie.....	05
4- Ecosystème aquatique	05
4-1 Ecosystèmes aquatiques continentaux.....	06
4-2 Ecosystèmes marins	06
5- Qualité de l'eau	07
5-1 Qualité de l'eau de mer... ..	07
5-2 Qualité de l'eau potable.....	08
6- Paramètre physiochimiques... ..	10
6-1 La turbidité... ..	10
6-2 Potentiel d'hydrogène « ph »	10
6-3 La température.....	10
6-4 Matières en suspension... ..	10
6-5 Matières organiques dissoutes... ..	11
6-6 Conductivité électrique.....	11
6-7 La dureté totale de l'eau.....	11
6-8 L'alcalinité	12
6-9 Cations et anions	12
7- Paramètres microbiologique	13
Chapitre 02 : Le dessalement comme solution à la crise de l'eau	15
1- Introduction.....	16
2- Définition du dessalement de l'eau de mer.....	16
3- Le dessalement de l'eau dans le monde et en Algérie	16
3-1 Dans le monde... ..	16
3-2 Le dessalement de l'eau dans Algérie	18

Sommaire

4- La saumure.....	21
5- Procédés de dessalement de l'eau	22
5-1 schéma général d'une installation de dessalement.	22
5-2 classification des procédés de dessalement	26
5-3 Le post traitement ou minéralisation.	38
Chapitre 03 : Impact environnemental du dessalement.....	39
1- Introduction.....	40
2- Impacts du captage des eaux de mer.....	40
3- Impacts des rejets de dessalement.....	40
3-1 Effets dus aux produits de la corrosion.	40
3-2 Effets des additifs antitartres.....	41
3-3 Effets des additifs antisalissure	41
3-4 Effets des additifs antimousses.	40
3-5 Effets des rejets de saumures concentrées.	42
3-6 Impacts des rejets de saumures sur l'écosystème marin.	42
3-7 Elimination de la saumure	43
4- Impacts de bruit.....	44
5- Techniques pour minimiser les impacts du dessalement sur l'environnement... 	44
Chapitre 04 : Présentation de la station de dessalement de Honaine et fonctionnement de l'unité d'osmose inverse	46
1- Présentation de la station de dessalement de « Honaine ».....	47
1-1 situation géographique.....	47
1-2 Présentation du promoteur de projet.	47
1-3 Description du fonctionnement de la station.	49
Chapitre 05 : Matériels et méthodes.....	59
1- Contrôle de qualité (les analyses physico-chimiques).....	60
1-1 sites de prélèvement des échantillons	60
1-2 Méthodes d'analyses physico-chimiques	60
1.2.1 Mesure de la température.....	60
1.2.2- Mesure du pH et conductivité.....	61
1.2.3- Mesure de l'indice de colmatage (SDI)	61
1.2.4 Mesure des matières en suspension (MES).....	62
1.2.5- Mesure de la Turbidité.....	63
1.2.6- . Mesure du chlore	63
1.2.7-Mesure de la Dureté Total	64
2- Paramètres hydrauliques.....	65
Résultats et discussions.....	66
1- Introduction	67
2- Performances de traitement et qualité de l'eau	67
2-1 La température.....	67
2-2 Le PH	68
2-3 Matières en suspension (MES).....	68

Sommaire

2-4 La conductivité.....	69
2-5 Dureté.....	70
2-6 Le chlore.....	71
2-7 L'indice de langelier.....	71
3- Performances de fonctionnement hydraulique.....	72
3-1 Taux de conversion.....	72
3-2 Pression différentielle.....	73
3-3 Débit de la saumure et du perméat.....	73
3-4 L'indice de colmatage(SDI).....	74
3-5 Taux de rejet.....	75
4- Analyse des impacts environnementaux de la station de dessalement de Honaine.....	75
Conclusion générale.....	79
Bibliographie.....	81
Annexe.....	90
Abstract... ..	94

Liste des Abréviations

Ph : Potentiel d'hydrogène.

°C : Degré Celsius.

TAC : Titre alcalimétrique complet (mg/l) en CaCO₃

TA : Titre alcalimétrique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

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

MSF : Multi-Stage-Flash distillation

TDS : Total de Sel Dissous (mg/l)

ED : Electrodialyse

OI : Osmose Inverse

HP : Haute pression.

Ppm : Partie par million

NTU : Nephelométric Turbidity Unit.

ZET : la Zone d'Extension Touristique

ADE : Algérienne des eaux.

AEC : Algerian energy company.

SDEM : Station de dessalement d'eau de mer

SDI : L'indice de colmatage SDI

NB : Note bien

°f : Degrés français

MES : Matière en suspension

EDTA : Acide éthylène diamine tétraacétique

LSI : : Indice de Langelier

Y : Taux de conversion (%).

DPD : Diéthyl-Phénylène-Diamine.

Figure	Page
Figure 1 : Cycle de l'eau	03
Figure 2 : Répartition de l'eau dans le monde	04
Figure 3 : zonation dans les océans	07
Figure 4 : Capacités de dessalement dans le monde	17
Figure 5 : Répartition du dessalement dans le monde	18
Figure 6 : Répartition des stations de dessalement d'eau de mer en Algérie	20
Figure 7 : Schéma général d'une installation de dessalement	22
Figure 8 : Prise d'eau de mer directe	22
Figure 9 : Prise d'eau indirecte	23
Figure 10 : Schéma d'un prétraitement	23
Figure 11 : Filtre a cartouche	25
Figure 12 : Distillateur simple effet	26
Figure 13 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets	27
Figure 14 : Distillation par détente successives	28
Figure 15 : Distillation par compression de vapeur	28
Figure 16 : Distillation solaire	29
Figure 17 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse	31
Figure 18 : Module plan	32
Figure 19 : Module tubulaire	32
Figure 20 : Structure interne d'une membrane à spirale	33
Figure 21 : Modules à fibres creuses	34
Figure 22 : Principe de dessalement par l'électrodialyse	37
Figure 23 : Localisation géographique de la commune de Honaine	47
Figure 24 : Photo de la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine	47
Figure 25 : Processus de dessalement de l'eau de mer	49
Figure 26 : la zone de captage	50
Figure 27 : filtres retatifs	50
Figure 28 : les 11 pompes à aspiration à vide	50
Figure 29 : filtres à sables et anthracite	51
Figure 30 : Filtres à cartouches	52
Figure 31 : La zone de production de la SDEM de Honaine	53
Figure 32 : La membrane spirale de l'oi	53
Figure 33 : Un châssis à membrane	53
Figure 34 : pompe à haute pression	54
Figure 35 : Pompe Booster	55
Figure 36 : Schéma de la récupération d'énergie	56
Figure 37 : système de récupération d'énergie contrôlé par honywell	56
Figure 38 : photo de carbonate da calcium	57
Figure 39 : Les réservoirs de co2	57
Figure 40 : Photo du réservoir de re-minéralisation	58
Figure 41 : Rejet de Saumure au Niveau de SDEM HONAINE.	58
Figure 42 : Thermomètre	61
Figure 43 : appareil multi-paramètre	61
Figure 44 : L'étuve.	62
Figure 45 : Balance	62

figure 46 : La membrane filtrante	62
Figure 47 : Turbidimètre	63
Figure 48 : Chloromètre	64
Figure 49 : Pastilles DPD	64
Figure 50 : Diagramme complet du processus de dessalement affiché à la salle de contrôle	65
Figure 51 : schéma de contrôle du chasis	65
Figure 52 : Variation journalière de la température d'eau de mer et de l'eau produite	67
Figure 53 : Variation journalière du pH d'eau de mer et de l'eau produite	68
Figure 54 : Variation journalière des concentrations de MES d'eau de mer alimentant la SDEM de Honaine	69
Figure 55 : Variation journalière de la conductivité d'eau de mer d'eau produite et l'eau de rejet	69
Figure 56 : Variation journalière de la concentration de la dureté au niveau de la station	70
Figure 57 : Variation journalière de la concentration de Cl2 d'eau traitée	71
Figure 58 : Variation journalière de de l'indice de Langelier (LSI) au niveau de la station	71
Figure 59 : Variation du taux de conversion de chaque rack de la SDEM de honaine	72
Figure 60 : la variation journalière de la pression différentielle dans la station de honaine	73
Figure 61 : La variation des débits journaliers de la saumure et du perméat sur une période de dix jours d'un seul chasis	74
Figure 62 : Variation journalière de l'indice de colmatage au niveau de la station	74
Figure 63 : Variation journalière de taux de rejet total de la station	75

Tableau	Page
Tableau 1 : Norme de potabilité décrite par l'OMS sur les sels	09
Tableau 2 : Norme de potabilité définie par l'Algérie sur les sels.	09
Tableau 3 : Classification des eaux selon la conductivité	11
Tableau 4 : Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables.	14
Tableau 5 : Stations de dessalement en Algérie réalisées entre 2005 -2014	19
Tableau 6 : Stations monoblocs de dessalement réalisé en Algérie	20
Tableau 7 : Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure	21
Tableau 8 : Caractéristiques techniques de Station de Dessalement d'eau de mer de Honaine	48
Tableau 9 : Résultats des analyses physico-chimique	77.

Introduction

Introduction générale :

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus essentielles pour l'humanité. Cependant, face à la croissance démographique et aux changements climatiques, la question de l'approvisionnement en eau potable devient de plus en plus complexe dans de nombreuses régions du monde. Dans ce contexte, les stations de dessalement représentent une solution prometteuse pour pallier la pénurie d'eau douce, en transformant l'eau de mer en eau potable. L'Algérie, pays à forte vulnérabilité hydrique en raison de sa répartition climatique inégale et de la faiblesse des précipitations, a adopté depuis plusieurs années une politique volontariste en matière de dessalement. En effet, le pays disposait jusqu'à récemment de quatorze (14) stations de dessalement réparties sur le littoral. Afin de renforcer la résilience face aux périodes de sécheresse récurrentes et de lutter contre la pénurie d'eau dans plusieurs régions, l'année 2025 a été marquée par la mise en service de cinq nouvelles stations de grande capacité. Ces installations visent à assurer une couverture plus large des besoins en eau potable tout en allégeant la pression sur les ressources conventionnelles telles que les barrages et les nappes phréatiques.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le fonctionnement de la station de dessalement de Honaine, en se concentrant sur la technique de l'osmose inverse utilisée pour transformer l'eau de mer en eau potable. Ce travail vise à mettre en lumière l'importance de cette station dans la gestion de l'eau en Algérie, particulièrement face aux défis liés à la sécheresse et à la rareté des ressources en eau, tout en abordant les impacts environnementaux associés à ce processus.

Dans ce travail, nous avons étudié le fonctionnement d'une station de dessalement de l'eau de mer, en particulier la station de dessalement de Honaine. Le Chapitre 1 présente l'importance de l'eau et des ressources en eau, ainsi que les normes de potabilité. Le Chapitre 2 décrit le processus de dessalement et les procédés utilisés, avec un focus sur l'osmose inverse. Le Chapitre 3 traite des impacts environnementaux de cette technologie. Le Chapitre 4 présente la zone d'étude, tandis que le Chapitre 5 détaille les matériels et méthodes utilisés pour l'analyse des résultats, y compris les paramètres physico-chimiques et hydrauliques, avec une interprétation de ces données.

Chapitre 1 :

« L'eau, un enjeu vital

Pour le futur »

1-Introduction :

Gaston Bachelard écrivait en 1942 dans *L'eau et les rêves* « L'eau est un organe du monde » Cette métaphore suggère que l'eau joue un rôle comparable à celui du sang. En effet, elle parcourt les continents à travers un réseau qui rappelle le système circulatoire. Elle hydrate les êtres vivants et leur fournit des ressources essentielles, tout comme le sang transporte les nutriments. Elle emporte avec elle les limons et les déchets, à l'image du sang qui élimine les toxines. Son mouvement suit le rythme des saisons, tout comme le cœur bat pour assurer les apports nécessaires. Cependant, des obstacles tels que les barrages peuvent perturber son écoulement, provoquant des déséquilibres comparables à une embolie. Une surcharge de substances peut également mener à une asphyxie, semblable à une thrombose. L'eau est si omniprésente que de nombreux proverbes et citations s'y réfèrent. Elle semble une ressource anodine... jusqu'à ce qu'elle vienne à manquer : « On ne connaît la valeur de l'eau que lorsque le puits est sec. » (Wever, 2015).

2-Cycle de l'eau :

Ce phénomène naturel permet à l'eau de circuler en circuit fermé depuis des milliards d'années. Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers s'évapore et s'élève dans l'atmosphère, formant des nuages qui se déplacent sous l'action des vents. Avec la gravité, les gouttelettes d'eau s'alourdissent et retombent sous forme de précipitations (pluie, grêle, neige) (figure 1). Ces eaux de pluie s'infiltrent dans le sol, alimentant les nappes phréatiques et rechargeant les cours d'eau, qui finissent par retourner à la mer. Ainsi, l'eau suit un cycle perpétuel : de la mer au ciel, du ciel à la terre, et de la terre à la mer . (Dib, 2021).

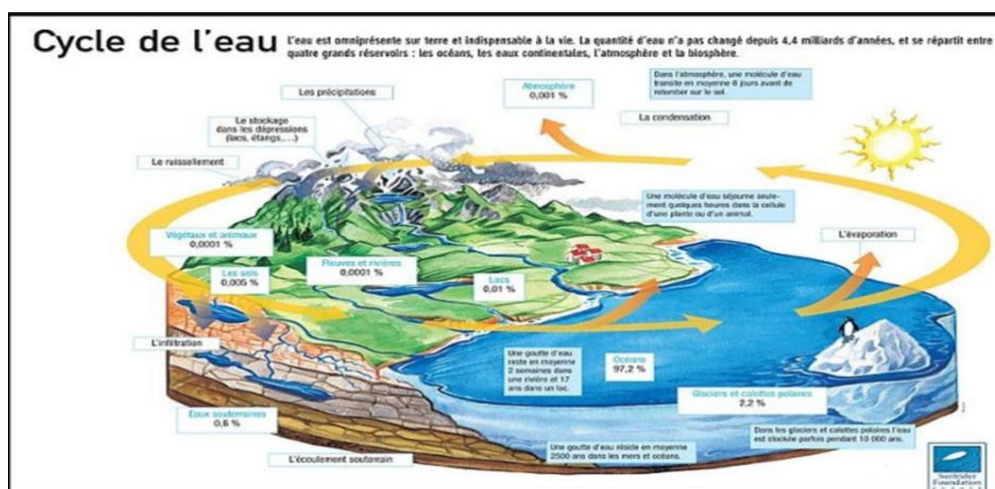


Figure : 1 : Cycle de l'eau (Surfrider foundation , 2010).

3-Répartition de l'eau :

3.1-Dans le monde :

Notre planète est souvent qualifiée de « planète bleue » en raison de la présence massive d'eau, qui recouvre près de 70 % de sa surface, principalement sous forme d'océans. Cependant, l'eau existe aussi sous d'autres formes : liquide, gazeuse (vapeur d'eau) et solide. Sur l'ensemble de l'eau disponible sur Terre, 97,5 % se trouvent dans les mers et océans, tandis que 2,5 % représentent l'eau douce. (Société publique de gestion de l'eau).

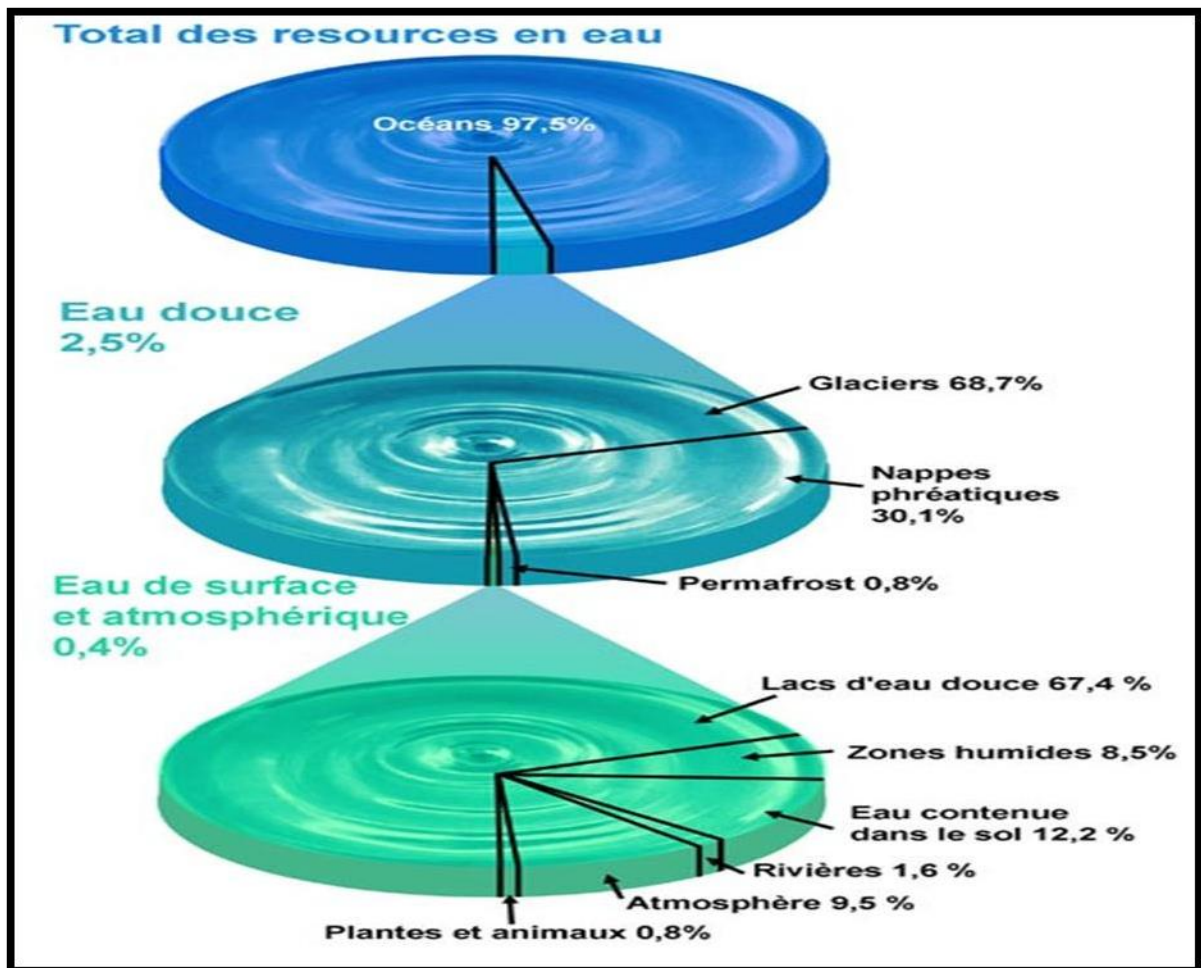


Figure2 : répartition de l'eau dans le monde (WWAP ; 2006)

3.2- L'eau en Afrique :

Les ressources en eau douce de l'Afrique représentent environ 9 % de l'approvisionnement mondial en eau douce, selon les estimations de Gonzalez Sanchez (2020). Toutefois, leur répartition sur le continent est très inégale. En effet, six pays d'Afrique centrale et d'Afrique de l'Ouest concentrent à eux seuls 54 % de ces ressources, tandis que 27 autres pays ;

Parmi les plus touchés par la rareté de l'eau, ne disposent que de 7 % du total (**Bureau régional de l'UNESCO pour l'Afrique de l'Est, 2020**).

En 2017, environ 73 % des habitants de l'Afrique subsaharienne n'avaient pas accès à des services d'eau potable sécurisés (**OMS/UNICEF, 2019**). Cette situation est exacerbée par les disparités dans la répartition des ressources hydriques et l'inégalité d'accès à l'eau propre et potable. Ainsi, 25 pays africains risquent de faire face à des pénuries d'eau dans les années à venir (**PNUE, 2002**).

3.3-Eau en Algérie

En Algérie, l'eau est une ressource particulièrement préoccupante en raison de sa rareté et du développement économique et social désordonné. Cette situation engendre divers problèmes de gestion, tels que des pertes, du gaspillage, un traitement aléatoire, ainsi qu'une dégradation et un manque de protection de la ressource, accentués par des conditions naturelles défavorables.

La complexité de la question de l'eau en Algérie, notamment dans le Nord du pays, s'explique par plusieurs facteurs :

Les caractéristiques naturelles et la répartition de la population : Cette région, qui ne couvre que 7 % de la surface totale du pays (166 721 km²), reçoit pourtant 92 % des écoulements. La zone où la pluviométrie dépasse 700 mm/an ne représente que 30 103 km². De plus, en 1985, seulement 7 % des bassins versants nécessitant une protection contre l'érosion avaient été pris en charge. Par ailleurs, environ 60 % de la population nationale est concentrée dans cette partie du territoire.

Une connaissance imparfaite des ressources hydriques : L'information reste fragmentaire au sein des grandes structures publiques, et le manque de coordination entre elles nuit à une gestion efficace de l'eau. **(Boudjadja et al., 2003)**

4-Ecosysteme aquatique :

Il existe différents types d'écosystèmes aquatiques, qu'ils soient marins ou continentaux. Les océans recouvrent une grande partie de la planète et jouent un rôle clé dans l'équilibre écologique global. Cependant, même s'ils occupent une surface plus réduite, les écosystèmes d'eau douce ont une importance capitale, notamment pour l'écologie des bassins versants et les populations vivant à proximité.

On distingue deux grands types d'écosystèmes aquatiques en fonction de la salinité de l'eau :

- **Les écosystèmes marins**, qui regroupent les mers et océans et sont parfois considérés comme un immense écosystème unique appelé "océan mondial".
- **Les écosystèmes d'eaux douces ou saumâtres**, présents à l'intérieur des terres. (Ramade, 2003)

4.1- Ecosystèmes aquatiques continentaux :

4.1.1-Eaux douces :

Les écosystèmes d'eau douce incluent différents types d'environnements : les ruisseaux, les rivières et les fleuves (qui sont des eaux courantes), les lacs et les étangs (qui sont des eaux calmes), ainsi que les zones humides comme les marécages et les marais.

Chaque type d'écosystème d'eau douce a ses propres conditions et abrite des organismes spécifiques. Même si ces écosystèmes couvrent seulement environ 2 % de la surface de la Terre, ils jouent un rôle essentiel dans le cycle de l'eau. Ce sont principalement des eaux de pluie qui n'ont pas pénétré le sol et qui finissent par se diriger vers l'océan. De plus, les grandes étendues d'eau douce aident à stabiliser les températures, en limitant les variations de chaleur entre le jour et la nuit ou au fil des saisons. Enfin, ces milieux sont des habitats importants pour de nombreuses espèces. (Berg et al., 2015)

4.1.2 -Eaux saumâtres :

L'eau saumâtre est une eau salée, mais non potable, dont la salinité est inférieure à celle de l'eau de mer. En général, sa salinité varie entre 1 et 10 g de sels par litre. Elle peut se présenter sous forme d'eaux de surface, comme des lagunes ou des estuaires, ou sous forme d'eaux souterraines, qui ont absorbé des sels en traversant certains types de sols. La composition de ces eaux dépend donc de la nature des sols qu'elles traversent et de la vitesse à laquelle elles circulent à travers ceux-ci. Parmi les principaux sels dissous dans l'eau saumâtre, on trouve le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl . (Alain ;2006)

4.2- Ecosystèmes marins :

Bien que les lacs et les océans soient similaires à bien des égards, ils présentent aussi de nombreuses différences physiques. Par exemple, même les lacs les plus profonds ne peuvent pas rivaliser avec les abysses de l'océan, qui peuvent plonger à plus de 6 km sous la surface.

Les marées et les courants ont une influence importante sur l'océan. La gravité du soleil et de la lune crée généralement deux marées hautes et deux marées basses chaque jour

Chapitre 01 : l'eau , un enjeu vital pour le futur

le long du littoral. Cependant, la hauteur de ces marées varie en fonction de la saison, de la topographie locale et des phases lunaires (la pleine lune donne lieu aux marées les plus hautes).

L'immense environnement marin se divise en plusieurs zones de vie (figure3):

- **Les zones intertidales** : Ces zones sont situées le long du rivage, entre les niveaux des marées hautes et basses, où vivent divers organismes.
- **L'environnement benthique** : Les organismes qui y vivent se trouvent sur les fonds marins ou s'y enterrent.
- **L'environnement pélagique** : Cet environnement se divise en deux domaines selon la profondeur :
 - Le **domaine néritique**, qui concerne les eaux plus profondes proches du rivage.
 - Le **domaine océanique**, qui représente la majeure partie de l'océan. (Berg et al., 2015)

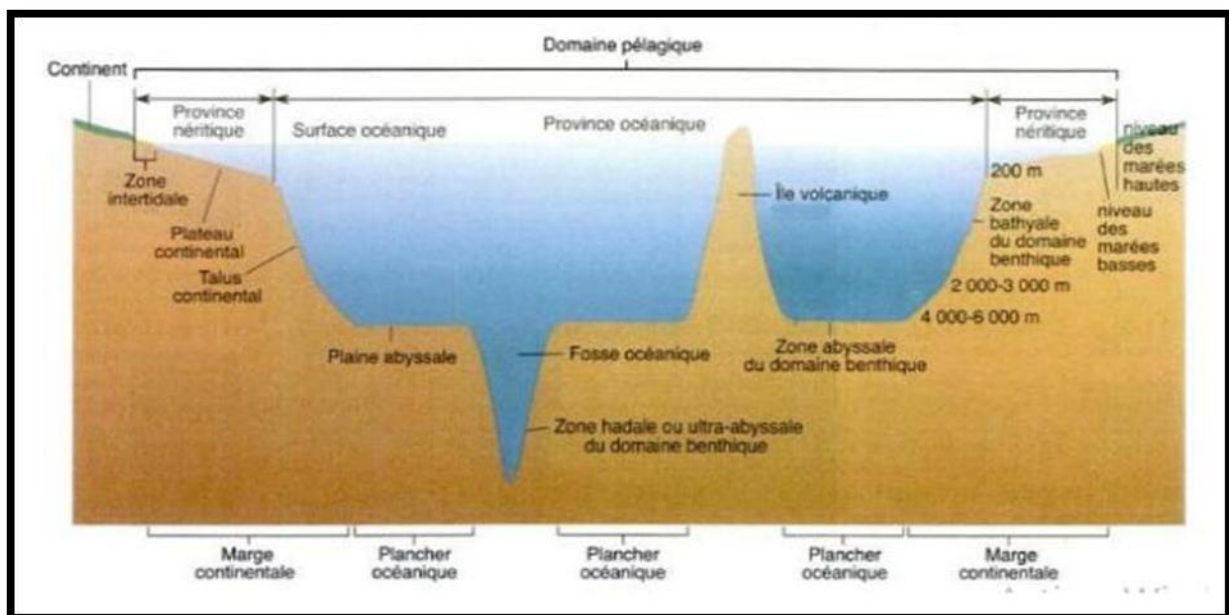


Figure 3 : zonation dans les océans (Berg et al., 2015)

5-Qualité de l'eau :

5.1 – Qualité de l'eau de mer :

L'eau de mer est une solution complexe qui renferme tous les éléments essentiels à la vie, tels que le calcium, le silicium, le carbone, l'azote, le phosphore et des oligo-éléments. Elle contient également des matières organiques, avec une concentration qui varie entre 0,5 et

2 mg, ainsi que des gaz dissous provenant de l'atmosphère. De plus, l'eau de mer est légèrement alcaline, son pH se situant généralement entre 7,5 et 8,4. **(RAPINAT, 1982)**

La principale caractéristique de l'eau de mer est sa salinité, qui correspond à la quantité totale de sels qu'elle contient, notamment le chlorure de sodium, le chlorure de magnésium, les sulfates et les carbonates. En moyenne, la salinité des océans et des mers est d'environ 35 g/L. Cependant, cette valeur peut varier, notamment dans le cas des mers fermées, où la concentration en sel peut être plus élevée ou plus faible. **(HUOT, 2001)**

5.2- Qualité de l'eau potable :

L'eau potable est essentielle à notre santé, mais elle peut être exposée à des risques de pollution tout au long de son parcours. C'est pourquoi elle fait l'objet d'un contrôle strict pour garantir qu'elle est propre à la consommation.

Son traitement passe par plusieurs étapes : captée dans la nature, elle est purifiée pour éliminer les impuretés et les micro-organismes dangereux, puis distribuée à travers un réseau sécurisé jusqu'aux consommateurs. Assurer une eau potable de qualité demande des moyens techniques importants et des normes strictes.

Aujourd'hui, la production d'eau potable et le recyclage des eaux usées sont devenus des processus de haute technologie, notamment dans les pays développés. Les normes de qualité sont de plus en plus sévères, poussées par les avancées scientifiques et les exigences des consommateurs.

Autrefois, on jugeait une eau potable si elle était claire, inodore et sans germes dangereux. Désormais, plus de 60 critères sont pris en compte pour évaluer sa qualité, en fonction des dernières recherches en santé et environnement. Chaque élément présent dans l'eau est contrôlé, et si un paramètre dépasse la limite autorisée (tableau 1,2), l'eau est jugée non conforme et doit être traitée avant d'être consommée. **(Mustapha, 2017).**

Tableau 1 : Norme de potabilité décrite par l'OMS sur les sels (MECHENENE ; 2011)

Paramètres	Normes
Turbidité(NTU)	<1
pH	6,5 _9.5
Dureté totale (mg.l ⁻¹ CaCO ₃)	200
Calcium(mg.l ⁻¹)	-XXXX
Magnésium(mg.l ⁻¹)	0,4
Sodium(mg.l ⁻¹)	200
Chlore(mg.l ⁻¹)	250
Aluminium(mg.l ⁻¹)	0,2
Fer(mg.l ⁻¹)	0,3
Cuivre(mg.l ⁻¹)	1,0
Zinc(mg.l ⁻¹)	3,0
Manganèse(mg.l ⁻¹)	0,1
chloriterésiduel(mg.l ⁻¹)	0,6-1,0
Sulfates(mg.l ⁻¹)	250
Bore(mg.l ⁻¹)	0,5

Tableau 2 : Norme de potabilité définie par l'Algérie sur les sels.
(MECHENENE ; 2011)

Paramètres	Normes
Turbidité(NTU)	1-2
pH	6,5-8.5
Conductivité(μ.s.cm⁻¹)	2800 à25°C
Dureté totale (mg.l⁻¹ CaCO₃)	200
Calcium(mg.l⁻¹)	75-200
Magnésium(mg.l⁻¹)	0,4
Sodium(mg. l⁻¹)	200
Chlore(mg.l⁻¹)	200-500
Aluminium(mg.l⁻¹)	0,2
Fer(mg.l⁻¹)	0,3
Cuivre(mg.l⁻¹)	0,05-1,5
Zinc(mg.l⁻¹)	1-5
Manganèse(mg.l⁻¹)	0,5
Chloriterésiduel(mg.l⁻¹)	-
Sulfates(mg.l⁻¹)	200-400
Bore (mg.l⁻¹)	0,3

6-Paramètres physicochimiques :

6.1-La turbidité :

La turbidité de l'eau est causée par la présence de particules en suspension, en particulier des colloïdes comme les argiles, les limons, les grains de silice et les matières organiques. Les précipitations influencent fortement la turbidité des eaux de surface et souterraines en fonction de leur origine. (SAVARY, 2010).

6.2-Potentiel d'hydrogène « pH » :

L'eau pure est naturellement neutre. Son pH permet de déterminer son acidité ou son alcalinité : un pH inférieur à 7 indique une eau acide, tandis qu'un pH supérieur à 7 signale une eau alcaline. Ce paramètre est essentiel pour évaluer la qualité de l'eau et doit être contrôlé tout au long des processus de traitement. Une eau trop acide (pH inférieur à 7) peut provoquer la corrosion des canalisations en ciment ou en métal, libérant ainsi des substances indésirables comme le plomb et le cuivre. (Rodier ; 2005)

6.3- La température :

La température de l'eau est un facteur qui a un impact direct sur sa densité, sa viscosité et la dissolution des gaz et des sels qu'elle contient. Elle influence aussi les réactions chimiques et biochimiques. Lorsque la température est élevée, elle favorise le développement des micro-organismes et peut altérer les caractéristiques de l'eau en accentuant son goût, son odeur et sa couleur. .(OMS, 1994).

6.4-Matières en suspension :

Les matières en suspension dans l'eau sont des particules qui ne se dissolvent pas et peuvent être filtrées. Elles peuvent être d'origine organique ou minérale et sont un bon indicateur de la pollution de l'eau (Satin et Selmi ; 1999) .Une eau potable ne devrait pas contenir de particules qui peuvent se déposer au fond. Cependant, si leur concentration est très faible, de l'ordre de quelques milligrammes par litre, cela ne pose généralement pas de problème. (Degremont ; 2005).

6.5-Matières organiques dissoutes :

Les eaux naturelles contiennent différentes familles de composés, comme les acides humiques, les acides carboxyliques et les hydrates de carbone acides. On peut les identifier globalement en mesurant leur oxydabilité au permanganate ou leur teneur en carbone organique total. (Sari ; 2014)

6.6-. Conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau mesure sa capacité à conduire l'électricité. Elle est déterminée en mesurant la conductance d'une colonne d'eau placée entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, espacées de 1 cm (Rodier ; 2005) . La conductivité dépend aussi de la température de l'eau et est proportionnelle à sa minéralisation (Mens et Derouane, 2000). L'unité utilisée pour la conductivité est le microsiemens par centimètre (μS/cm). Voici le tableau qui présente les différentes eaux ainsi que leurs conductivités et résistivités. (Gaujour D., 1995)

Tableau 3 : Classification des eaux selon la conductivité (Rodier ; 2005)

Type d'eaux	Conductivité (μS /Cm)	Résistivité
Eau pure	< 23	>30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à 10000
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisation	1000 à 2500	400 à 1000

6.7- La dureté totale de l'eau :

La dureté de l'eau était définie par sa capacité à transformer le savon en un composé insoluble. Aujourd'hui, on la mesure en calculant la quantité d'ions présents dans l'eau, comme le calcium, le magnésium, l'aluminium, le fer, le strontium, etc. Parmi eux, le calcium et le magnésium sont généralement les plus abondants. Étant donné que le calcium est l'un des ions les plus présents, il sert d'indicateur de la dureté de l'eau. C'est pourquoi la dureté est exprimée en fonction de la quantité de carbonate de calcium (CaCO₃) présente, généralement en mg/L ou en ppm. (Louise Guilber)

6.8- 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 provient principalement des hydrogénocarbonates, des carbonates et des hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles, tels que les acides humiques, les phosphates, les citrates et les tartrates, peuvent également être présents et interférer avec la mesure. On utilise deux titres pour mesurer l'alcalinité : le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC). L'unité de mesure est le degré français ($1^{\circ}f = 10 \text{ mg/L}$ de $\text{CaCO}_3 = 0,2$ milliéquivalent/L). (Rodier ;2009)

6.9- 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 essentiel de connaître précisément cette minéralisation en complément des paramètres globaux tels que le « titre » et le « potentiel ». De plus, certains des cations et anions minéraux naturels présents dans les eaux peuvent être indésirables ou toxiques, en fonction de l'usage prévu de l'eau douce (domestique, agricole, industriel, santé, tourisme, refroidissement, etc.). (Rodier ; 2009)

Un ion est un élément chimique portant une charge électrique. On distingue les anions (ions négatifs) et les cations (ions positifs). Un anion est un atome ou une molécule qui a gagné un ou plusieurs électrons, lui conférant une charge négative. À l'inverse, un cation est un atome ou une molécule qui a perdu un ou plusieurs électrons, ce qui lui donne une charge positive. Les sels dissous dans l'eau sont sous forme ionique, et ces ions sont impliqués dans de nombreuses réactions chimiques, notamment au sein des organismes vivants.

- **Le Magnésium (Mg^{2+})** : Le magnésium est un élément chimique dont le symbole est « Mg ». Il provient de divers minerais et est un composant de la chlorophylle. Il joue aussi un rôle dans la dureté de l'eau et se trouve dans la formation des os et des dents, ainsi que dans la fixation du calcium sur les os . (Patel et Romain ; 2013)
- **Les Bicarbonates (HCO_3^-)** : L'ion 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 .
- **Le Chlore (Cl^-)** : En raison de la grande solubilité des sels de chlore dans l'eau, le chlore est fréquemment présent dans les réserves d'eau douce à un taux de 10 à 100 mg/l . (Kemmer ; 1984)

Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents naturellement dans l'environnement. Ils résultent de la nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par des bactéries comme *Nitrosomonas*, puis en nitrates par d'autres bactéries telles que *Nitrobacter* (Santé Canada, 1992). Les nitrates sont très solubles dans l'eau et peuvent facilement migrer vers la nappe phréatique lorsque leur concentration dépasse les besoins de la végétation (Santé Canada, 1992). La toxicité des nitrates provient de leur réduction en nitrites et de la formation de méthémoglobine, ainsi que de leur potentiel à contribuer à la synthèse endogène de composés N-nitrosés.

Les concentrations de nitrates et de nitrites dans l'eau peuvent être exprimées en termes de nitrates (ou nitrites) ou d'azote. Un milligramme de nitrates par litre (mg/l de NO_3) équivaut à 0,226 mg de nitrates sous forme d'azote par litre (mg-N/l). Pour les nitrites, 1 mg/l équivaut à 0,304 mg-N/l. (Groupe scientifique sur l'eau ; 2003)

7-Paramètres microbiologiques :

Le risque microbiologique d'origine hydrique, ou risque infectieux, correspond à la présence de microorganismes pathogènes dans l'eau en quantités supérieures au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on retrouve notamment des virus, des bactéries et des protozoaires. Ce risque dépend à la fois du pouvoir pathogène de ces germes et de la sensibilité de l'hôte à l'infection. Il est important de noter que des procédés de désinfection simples, comme la chloration de l'eau, permettent d'éliminer totalement des maladies telles que le choléra, la dysenterie bacillaire ou encore les fièvres typhoïdes et paratyphoïde. (Leclerc. et Haslay ., 1993)

Chapitre 01 : l'eau , un enjeu vital pour le futur

Tableau 4 : Principales maladies d'origine hydrique et agents microbiologiques responsables. (Leclerc . et Haslay ., 1993)

Origine	Maladies	Agents pathogènes
Parasitaire	Dysenterie amibienne	Entamoeba histolyca
	Gastro-enterites	Giardia lamblia Cryptosporidium parvum
Bactérienne	Fievres typhoïde et paratyphoïde	Salmonella typhi Salmonella paratyphi A et B
	Dysenterie bacillaire	Shigella
	Cholera	Vibrio cholerae
	Gastro-enterites	Escherichia coli enterotoxinogène Campylobacter jejuni Yersinia enterocolitica
Virale	Hépatites A et E	Virus hépatite A et E
	Poliomyélite	Virus poliomyélitique
	Gastro-enterites	Rotavirus Enterovirus Calicivirus Adenovirus...

Chapitre 2 :
Le dessalement
comme solution
à la crise de l'eau

Introduction :

Dans de nombreuses régions du monde, les ressources en eau douce sont inexistantes ou insuffisantes face à la croissance démographique et au développement industriel. Le dessalement de l'eau permet d'obtenir de l'eau potable ou douce à partir d'eau saumâtre ou d'eau de mer (Maurel, 2006). Cette solution peut aider à pallier la pénurie d'eau et ainsi favoriser l'amélioration des conditions de vie ainsi que le développement des secteurs qui en dépendent (Brahimi et Hamdi ; 2010).

Il existe plusieurs technologies pour dessaler l'eau, certaines plus coûteuses que d'autres, mais toutes restent très énergivores. Les méthodes les plus couramment utilisées sont la distillation et l'osmose inverse, qui sont exploitées à l'échelle industrielle depuis de nombreuses années (Maurel, 2006).

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

Le dessalement de l'eau, aussi appelé dessalage, est un procédé qui permet d'éliminer le sel de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable après traitement. La déminéralisation, quant à elle, consiste à retirer les sels dissous dans l'eau et à éliminer l'excès d'ions responsables d'une minéralisation excessive. Cette élimination peut être réalisée grâce à différents procédés de traitement, visant à extraire les principaux éléments de la solution saline, notamment les sulfates, les chlorures et divers ions halogènes. (MORVAN G. 2006)

3- Le dessalement de l'eau dans le monde et en Algérie :

3.1-dans le monde :

Le recours au dessalement de l'eau de mer devient de plus en plus nécessaire à travers le monde, et de nombreux pays adoptent cette technique à un rythme croissant. Aujourd'hui, la production mondiale d'eau douce issue des eaux saumâtres ou salées dépasse 25 millions de m³ par jour.

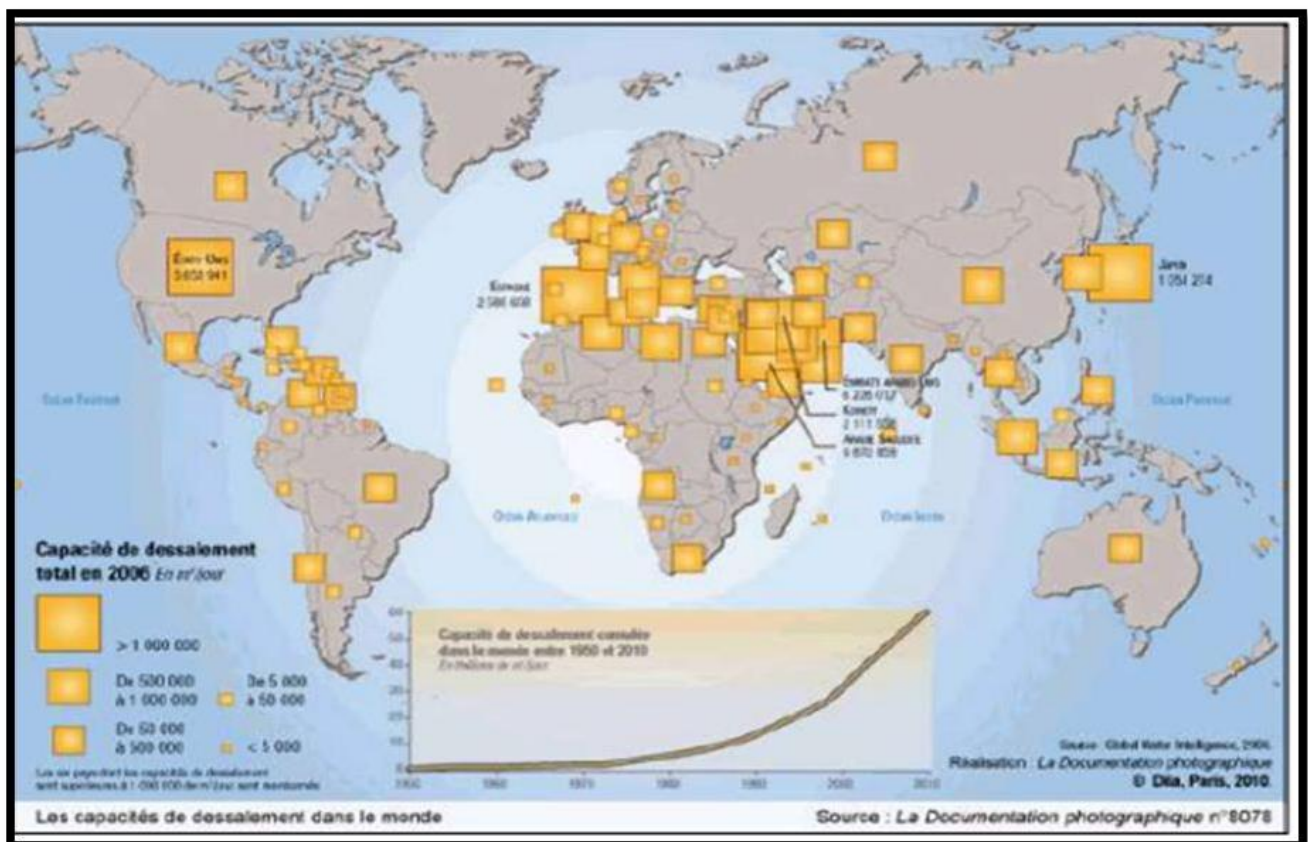
Parmi les principaux pays ayant adopté cette technologie pour la production d'eau douce, on retrouve l'Arabie Saoudite (25 %), les États-Unis (15 %), les Émirats Arabes Unis (10 %) et le Koweït (5 %) (PATRICK D. 2003). La capacité installée de dessalement augmente chaque année de plus de 10 % en moyenne. Actuellement, plus de 15 000 unités de dessalement réparties dans 120 pays produisent environ 40 millions de m³ par jour, dont les trois quarts proviennent de l'eau de mer et un quart des eaux saumâtres. Sur cette production, 75 % sont

Chapitre 02 : le dessalement comme solution à la crise de l'eau

destinés à la consommation humaine et 25 % à des usages industriels ou agricoles. Il est à noter que la capacité mondiale de production d'eau potable est d'environ 500 millions de m³ par jour (PATIER & BLANCHON ;2010).

La répartition des usines de dessalement dépend de trois facteurs : la pénurie d'eau due à un climat aride, la proximité de la mer et une faible altitude, ainsi que la capacité financière à supporter un coût énergétique élevé, ce qui exclut en grande partie les régions les plus pauvres (SAL J., 2012). En Méditerranée, les besoins en eau ne cessent de croître de manière alarmante, tant pour le présent que pour l'avenir. Le dessalement constitue depuis longtemps une source essentielle d'approvisionnement en eau dans certaines zones méditerranéennes, où le climat est chaud, les précipitations sont faibles et irrégulières, et les ressources en eau ne suffisent pas à couvrir les besoins en période de forte demande (ATHENES. (2001). L'Algérie et l'Espagne ont fait le choix clair d'investir dans cette solution pour pallier leur déficit en eau. Aujourd'hui, la région méditerranéenne représente environ un quart de la capacité mondiale de dessalement et, d'ici 2030, elle pourrait atteindre les niveaux actuels de production mondiale, soit environ 30 à 40 millions de m³ par jour (BOYE H., 2008)

La figure (4) ci-dessous représente la capacité du dessalement dans le monde



La figure (5) ci-dessous représente la répartition du dessalement dans le monde.

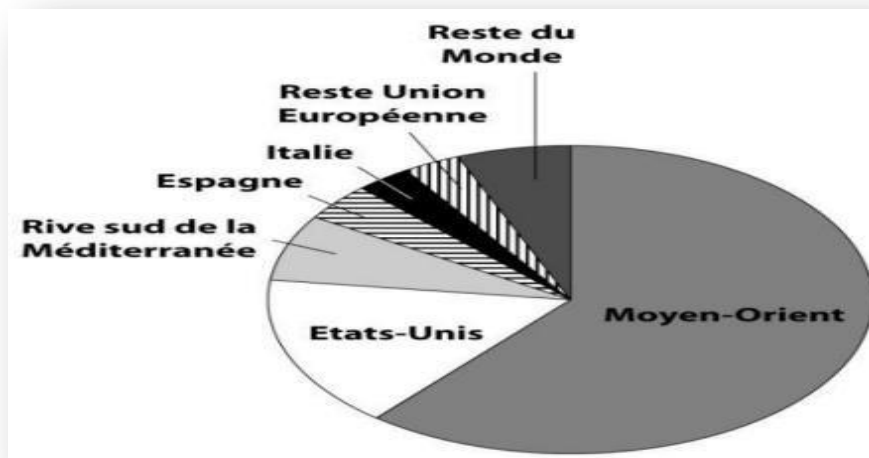


Figure 5: Répartition du dessalement dans le monde (SAL J., 2012)

3.2- Le dessalement de l'eau en Algérie :

Comme d'autres pays méditerranéens, l'Algérie est confrontée à d'importants défis en matière de gestion de l'eau. La forte concentration de population sur le littoral, les disparités entre les zones rurales et urbaines, les périodes de sécheresse récurrentes et l'augmentation de la pollution fragilisent un équilibre déjà précaire en matière d'approvisionnement en eau (BEN BELKACEM et, BELAID 2013)

Ces dernières années, la crise des ressources hydriques, qui a menacé l'alimentation en eau potable dans plusieurs régions du pays, a renforcé l'intérêt de l'Algérie pour le dessalement. Le projet de dessalement de l'eau de mer s'inscrit ainsi dans un programme d'urgence mis en place par le gouvernement afin de remédier durablement à ce déficit en ressources (BEN BELKACEM et, BELAID 2013)

Dès 1964, trois petites unités de dessalement d'une capacité de 8 m³/h chacune ont été installées au complexe de gaz liquéfié d'Arzew, une ville côtière de l'ouest du pays. Le procédé utilisé était la distillation à effets multiples (MED). En 1969, une autre installation a été mise en place à Arzew avec une capacité de production de 4 560 m³/j, utilisant cette fois le procédé de distillation flash multi-étages (MSF). D'autres unités ont ensuite été mises en service pour répondre aux besoins en eau de haute pureté des complexes de production d'électricité (comme celui de Cap Djinet, à l'est d'Alger) ainsi que des industries de liquéfaction à Arzew et Skikda (AMITOUCHE M., 2016).

Chapitre 02 : le dessalement comme solution à la crise de l'eau

En février 2019, le ministre algérien des Ressources en eau a déclaré que l'eau dessalée représentait environ 17 % de l'eau distribuée dans le pays, soit l'équivalent de 1,36 million de m³ par jour (AYAD et BENSAOULA 2019).

Dans le cadre du renforcement de l'approvisionnement en eau potable, l'Algérie a lancé plusieurs projets de dessalement d'eau de mer. Cinq nouvelles stations, d'une capacité totale de 1,5 million de m³/j, sont actuellement en construction à Tipasa, El Tarf, Béjaïa, Boumerdès et Oran. Leur mise en service progressive débutera en février 2025 et permettra de couvrir environ 42 % des besoins en eau potable des populations concernées. Ces initiatives s'inscrivent dans une stratégie plus large visant à assurer la sécurité hydrique du pays face aux défis climatiques.

a-les stations de dessalement :

Le tableau 5 ci-dessous et la figure 6 présentent la répartition des stations de dessalement en Algérie

Tableau 5 : Stations de dessalement en Algérie réalisées entre 2005 -2014 (Algerian of Water, 2012)

N°	Station	wilaya	Capacité m ³ /j	Mise en Service
01	Kahrama Arzew	Oran	90.000	2005
02	Hamma	Alger	200.000	2007
03	Skikda	Skikda	100.000	2007
04	Beni Saf	Ain Timouchent	200.000	2007
05	Mostaganem	Mostaganem	200.000	2008
06	Douaouda	Alger Ouest	100.000	2008
07	Souk Tlata	Tlemcen	200.000	2011
08	Honain	Tlemcen	200.000	2012
09	Cap Blanc	Oran	200.000	2008
10	El-Taref	El-Taref	50.000	2008
11	Ténès	Chlef	200.000	2008
12	Magtaâ	Mostaganem	500.000	2014
13	Oued Sebt	Tipaza	100.000	2009
14	Cap Djenet	Alger Est	100.000	2011
Total		14 stations	2 400 000	



Figure 6 : Répartition des stations de dessalement d'eau de mer en Algérie (KETTAB ;2015)

b-stations monoblocs :

Les stations monoblocs, d'une capacité de 2500 m³/j, sont installées à petite échelle. En Algérie, 23 stations ont été mises en place, offrant une capacité totale de 57 500 m³/j, réparties sur 8 wilayas. Ce projet a été divisé en deux marchés, avec 8 stations, d'une capacité de 22 500 m³/j, réalisées sur 5 sites par l'entreprise allemande LINDE- KCA (Algerian of Water)

Tableau 6 : Stations monoblocs de dessalement réalisé en Algérie (Algerian of Water)

N°	Wilaya	Site	Commune	Capacité (m ³ /j)
01	Tlemcen	Ghazaouet	Ghazaouet	2 500
02		Ghazaouet II	Ghazaouet	2 500
03	Tipaza	Bou-Ismaïl	Bou-Ismaïl	5 000
04	Alger	Champ de tir	Zeralda	2 500
05		Champ de tir 2	Zeralda	2 500
06		Palme Beach	Staouali	2 500
07		La Fontaine	Ain Benian	2 500
08		La Fontaine	Ain Benian	2 500
Total	8 stations			22500

4- . La saumure :

La saumure est un sous-produit inévitable du dessalement, contenant notamment les résidus des produits chimiques utilisés lors du prétraitement. Elle est généralement rejetée dans le milieu marin.

La composition des eaux résiduaires issues des usines de dessalement dépend de plusieurs facteurs, tels que la qualité de l'eau d'alimentation, le niveau de pureté recherché pour l'eau douce produite et la technologie de dessalement employée. Toutefois, ces rejets ne se limitent pas à la saumure concentrée. Ils incluent également des désinfectants, des agents antisalissures (antifouling), ainsi que des eaux chaudes et divers effluents aqueux, comme les distillats et les condensats d'éjecteur. .(**Dawoud et Al ;2012**)

Le tableau 7 ci-dessous présente les principales caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer et de la saumure.

Tableau 7 : Caractéristiques principales de l'eau de mer et saumure(Khaldi ; 2018)

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)	14,200	22,412
Sulfates (g/l)	3,7	2,573
TA (°F)	0	0
TAC (°F)	13	28

5- Procédés de dessalement de l'eau :

5.1- Schéma général d'une installation de dessalement :

Le processus de dessalement de l'eau de mer se compose de quatre étapes principales. La prise d'eau de mer

- Le prétraitement de l'eau
- L'application des différentes méthodes de dessalement
- Le post-traitement ou la minéralisation

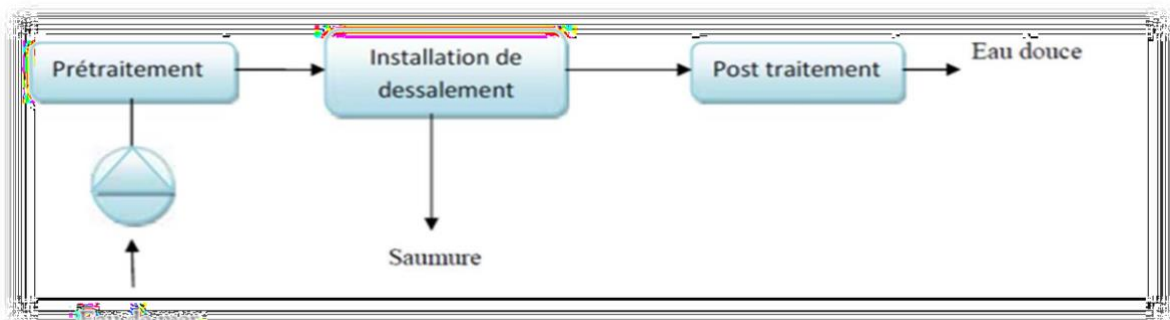


Figure 7: Schéma général d'une installation de dessalement (MAUREL ; 2006)

5.1.1- Captation d'eau de mer :

Cette étape consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement. Il est essentiel que l'eau prélevée soit de bonne qualité, avec une faible teneur en matières en suspension. Sont utilisés dans cette étape deux types de technologies (Abderrazak ;2014) :

a- Prise d'eau directe :

La prise d'eau de surface (directe) : L'eau peut être prélevée directement en surface, en pleine mer, ce captage doit se faire en zone profonde, à bonne distance de la côte, afin de limiter les risques de pollution et l'impact des courants marins (MAUREL, 2006).



Figure 8 : Prise d'eau de mer directe (Missimer et al : 2015)

b- Prise d'eau indirecte :

Les forages côtiers peuvent être réalisés de manière verticale ou sous forme de galeries horizontales. Cette méthode permet d'obtenir une eau de très bonne qualité, avec une composition stable et peu de variations. (MAUREL, 2006).

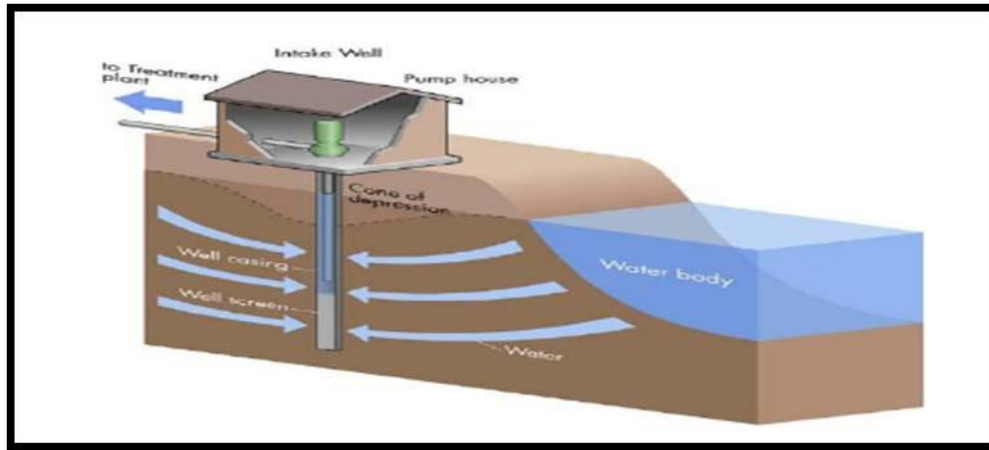


Figure 9 : Prise d'eau indirecte (à travers un forage côtier). (Thomas et al ;2015)

5.1.2-Le prétraitement :

Avant l'osmose inverse, un prétraitement de l'eau de mer est indispensable, car les membranes utilisées sont très sensibles au colmatage. Pour assurer leur bon fonctionnement sur le long terme, il est essentiel que l'eau qui les traverse soit de bonne qualité.

Ce prétraitement peut être de deux types :

- **Physique** : il repose sur l'utilisation de préfiltres mécaniques, de filtres à cartouche, ainsi que de systèmes de filtration à sable ou par membranes.
- **Chimique** : il consiste à ajouter des produits comme des inhibiteurs d'entartrage, des coagulants, des désinfectants ou encore des polyélectrolytes afin d'améliorer la qualité de l'eau et de protéger les membranes. (TANSAKUL, 2009).

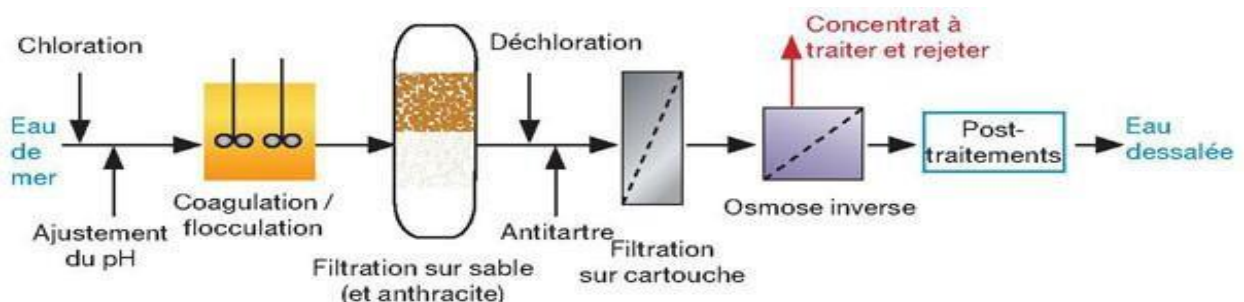


Figure 10 : Schéma d'un prétraitement. (Al-Karaghoulie, Kazmerski;2013)

a- Préfiltration grossière :

La préfiltration grossière a pour principal objectif d'éliminer les gros débris susceptibles d'endommager les équipements et de diminuer l'efficacité du traitement de l'eau.

(FELLAH 1 ;2012)

b- Chloration :

La chloration est une étape essentielle pour désinfecter l'eau et empêcher la formation de biofilms qui pourraient encrasser les membranes (biocolmatage). Le chlore est généralement ajouté sous forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de dichlore gazeux (Cl₂), qui réagit avec l'eau pour produire de l'acide hypochloreux (HOCl) :

Réactions chimiques :

- $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$ (I.1)
- $\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{NaOH}$ (I.2)

Dans l'eau, l'acide hypochloreux se dissocie en ions hydrogène (H⁺) et hypochlorite (OCl⁻) :

- $\text{HOCl} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OCl}^-$ (I.3)

L'ensemble de ces éléments (Cl₂, NaOCl, HOCl et OCl⁻) constitue le chlore résiduel libre. Pour éviter le colmatage des membranes, il est nécessaire de maintenir une concentration en chlore résiduel libre comprise entre 0,5 et 1,0 mg/L tout au long du processus de prétraitement. (FELLAH 1 ;2012)

c- Ajustement du pH :

L'ajout d'un acide, comme l'acide sulfurique (H₂SO₄), est indispensable pour prévenir la formation de tartre causée par le carbonate de calcium (CaCO₃). (FELLAH 1 ;2012)

d- La coagulation :

La coagulation est un phénomène qui se produit lorsqu'un produit chimique, en l'occurrence le **chlorure de fer (FeCl₃)**, est ajouté à l'eau. Ce processus permet de **neutraliser les charges électriques** des particules en suspension, d'augmenter leur vitesse de déplacement et de renforcer les collisions entre elles. Cela conduit à la formation de **flocs**, des amas suffisamment gros pour être retenus par le filtre. (Anna Cescon, Jia-Qian Jiang ;2020)

e- La floculation :

La floculation est un processus d'agitation douce qui facilite l'agglomération des particules en macro-flocs, suffisamment grands pour se déposer au fond ou être filtrés de la solution.

L'efficacité de la floculation dépend de la capacité des flocs à se former correctement. Cependant, ces derniers ne sont pas toujours idéaux pour la décantation et la filtration.

C'est pourquoi divers agents chimiques, comme les polymères ou l'hypochlorite de sodium (NaClO), peuvent être ajoutés pour améliorer leur formation et leur densité. Toutefois, leur efficacité peut varier, n'apportant pas toujours une amélioration significative à la sédimentation ou à la formation des floes. (Anna Cescon, Jia-Qian Jiang ;2020)

f- Filtration sur sable :

Le filtre à deux plans a un film épais d'antracite, entre 1,25 et 2,5 mm, sur une couche de sable fin et marbré, entre 1 et 1,5 mm. Ces plans ont aussi du gravier pour plus de force. Le filtre a six vannes à air. L'antracite est plus brut que le sable fin et garde plus de saleté. Avec des grands volumes de filtrage, ce filtre à deux plans nettoie aussi très bien les particules. Pour garder son travail au top, il a un système de lavage à l'envers qui prend de l'air et de l'eau. (Fella M et Ihcene B ;2022)

g- La déchloration :

La déchloration et la prévention du tartre sont des étapes indispensables pour préserver les membranes d'osmose inverse. Le chlore résiduel doit être éliminé, car il peut les détériorer avec le temps. D'après certains fournisseurs, une exposition prolongée (entre 200 et 1 000 heures) à une concentration de 1 mg/L de chlore résiduel libre peut entraîner leur dégradation, en particulier pour les membranes composites. Ce phénomène est accentué dans des conditions alcalines et à des températures élevées. Pour éviter ces dommages, on utilise généralement du métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), un produit efficace et économique pour neutraliser le chlore. (DANIS P., 2003)

h- Filtration à cartouche :

Le filtre à cartouche est un cylindre équipé d'une cartouche filtrante, fermée par un couvercle qui permet un accès facile pour l'entretien ou le remplacement. Ces cartouches, fabriquées en fibre végétale ou en matière synthétique, sont conçues avec des plis en étoile pour maximiser la surface de filtration sans encombrer l'espace. Plus les plis sont serrés, plus le filtre est efficace.(figure 8). (Fella M et Ihcene B ;2022)



Figure 11: Filtre à cartouche (Fella M et Ihcene B ;2022)

5.2-Classification des procédés de dessalement :

Plusieurs méthodes existent pour séparer l'eau de mer en eau douce, contenant une faible concentration en sels dissous, et en une solution concentrée en sels. Ces procédés peuvent être classés en trois grandes catégories :

Les procédés de changement de phase : telles que la distillation, congélation

Les procédés membranaires : comme l'osmose inverse et électrodialyse

Les procédés chimiques : comme échange d'ions,

5.2.1- Les procédés de changement de phase :

5.2.1.1- la distillation :

a- Distillation à simple effet :

Son fonctionnement repose sur un principe simple qui imite le cycle naturel de l'eau (voir la figure 9) :

1. Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage chauffe l'eau de mer jusqu'à ébullition.
2. La vapeur générée se condense au contact d'un second serpentin traversé par de l'eau de mer froide.
3. Une électropompe extrait d'un côté l'eau douce condensée et de l'autre la saumure, qui est l'eau de mer restante, désormais plus concentrée en sel. (Danis P.,2003)

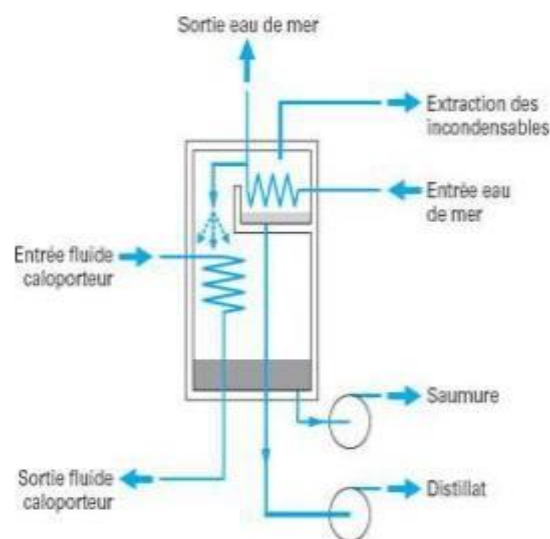


Figure 12: Distillateur simple effet (Danis P.,2003)

b- distillation à multiple effet :

Dans ce procédé, la chaleur nécessaire à une unité de distillation à effets multiples sert uniquement à réchauffer l'appoint d'eau de mer dans le premier effet et à vaporiser la production de cet effet. La vapeur produite dans la première chambre d'évaporation se condense et transfère sa chaleur au faisceau de chauffe d'une seconde chambre, fonctionnant à une pression et une température plus basses, et ainsi de suite. (Akili D. Khawaji et al ;2008)

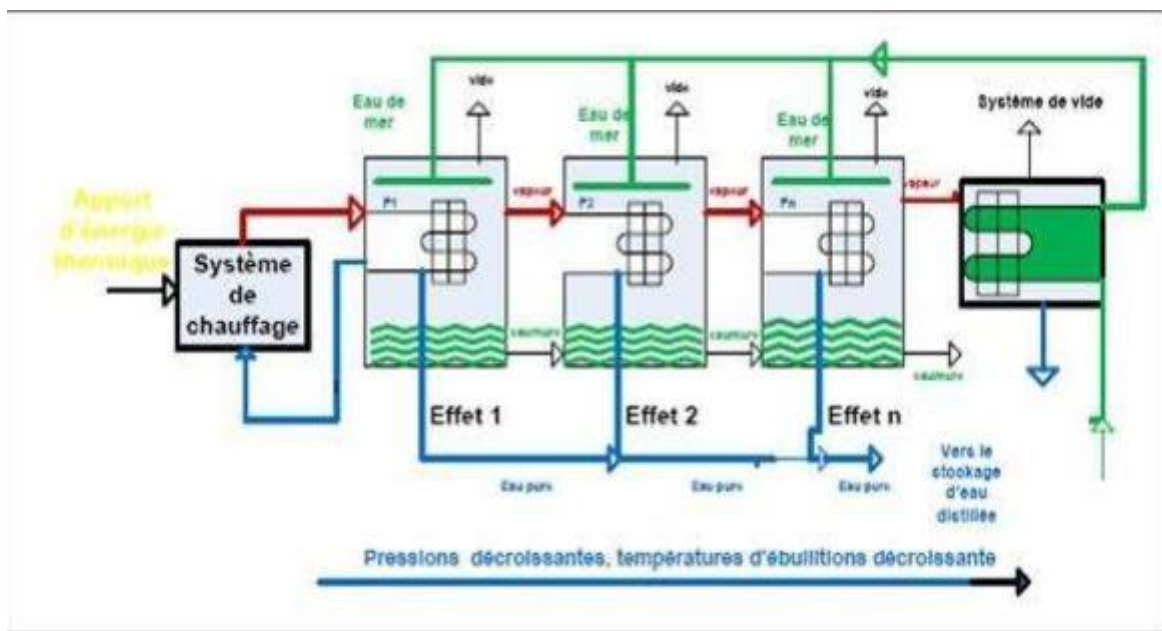


Figure 13 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) (BEI ERE, 2009-2010)

c- Distillation par détente successives (multi-stage flash) :

Également appelé "multi-flash", ce procédé s'est partiellement développé à partir des années 1960 en réponse aux problèmes d'entartrage des surfaces d'échange des évaporateurs utilisés dans la distillation à effets multiples.

L'eau de mer circule d'abord à l'intérieur des condenseurs, en passant de la cellule la plus froide à la plus chaude. Au fil de son parcours à travers les différentes cellules, sa température augmente progressivement de t_0 à $(t_0 + \Delta t)$. Une fois arrivée dans la cellule la plus chaude, où règne une température t , une première détente a lieu, produisant de la vapeur. Cette vapeur est ensuite transférée à la cellule suivante, où se produit une deuxième détente. Ce cycle se répète jusqu'à la cellule la plus froide. À la sortie de cette dernière, on obtient une saumure et un distillat, tous deux à la température t . (Akili D. Khawaji et al ;2008)

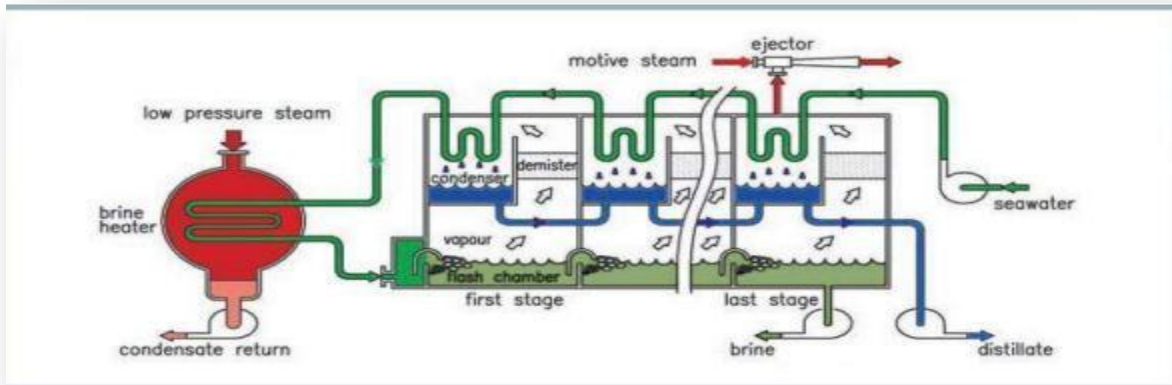


Figure14 : Distillation par détente successives (HABET I ; 2010)

d- Distillation par compression de vapeur :

L'eau à dessaler est chauffée jusqu'à ébullition dans une enceinte isolée. La vapeur qui s'en dégage est aspirée par un compresseur, qui en augmente la température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte, où elle cède sa chaleur à l'eau salée, entraînant ainsi son évaporation.

Par exemple, l'eau de mer s'évapore à 90°C sous une pression de 0,7 bar. La vapeur obtenue est ensuite comprimée jusqu'à une pression de 1 bar absolu, puis envoyée dans le faisceau de chauffe du bouilleur. Là, elle se refroidit à pression constante et se condense, libérant la chaleur nécessaire pour faire bouillir l'eau de mer. (Akili D. Khawaji et all ;2008)

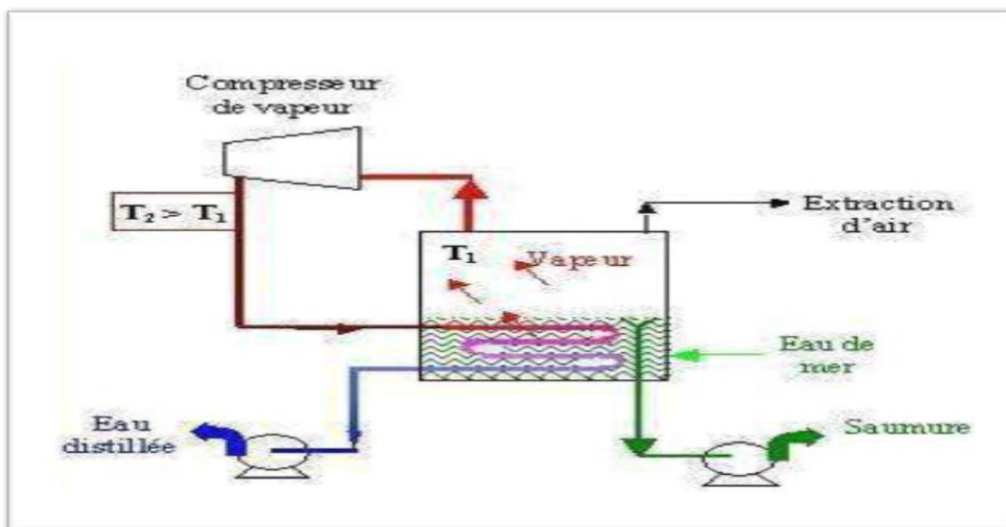


Figure 15 : Distillation par compression de vapeur (Viviane R ;2003)

e- Distillation solaire :

Chapitre 02 : le dessalement comme solution à la crise de l'eau

La distillation solaire est principalement utilisée pour produire de petites quantités d'eau douce. Un évaporateur solaire est composé d'un bac destiné à contenir l'eau salée à évaporer et à absorber l'énergie solaire, d'une toiture en verre ou en plastique, ainsi que de rigoles pour recueillir l'eau douce obtenue. L'énergie solaire, sous forme de rayonnement de faible longueur d'onde, traverse la toiture en verre et est en grande partie absorbée par l'eau et le fond du bac, où elle est transformée en chaleur. En revanche, le rayonnement de grande longueur d'onde émis par l'eau et le bac ne peut pas traverser la toiture en verre. Cette dernière, refroidie par l'air et le vent, joue alors le rôle de condenseur. Dans ce procédé, la température de l'eau dépasse rarement les 70°C . (**Maurel. A ; 2006**)

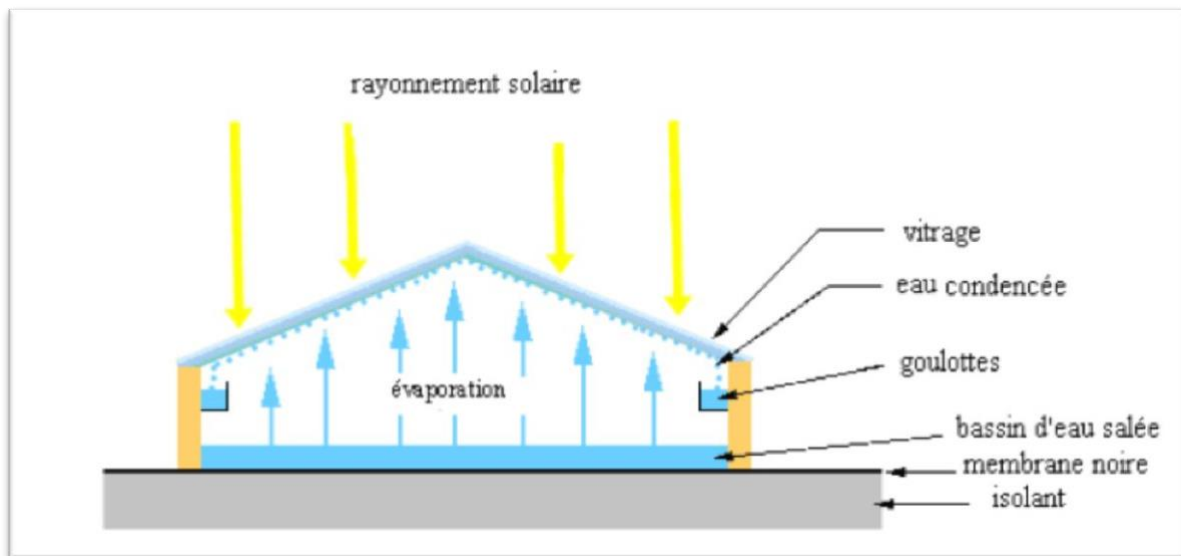


Figure 16 : Distillation solaire (Sadi A., 2000)

✚ Avantages et inconvénients de distillation :

Les avantages :

- ✓ Insensibilité aux variations de la qualité de l'eau brute.
- ✓ Adapté aux grandes capacités de production d'eau.
- ✓ Fonctionnement relativement simple.
- ✓ Eau produite avec une faible teneur en solides dissous (TDS), idéale pour les besoins industriels. .(**KARABI N et GUENNOUN K ;2019**)

Les inconvénients :

- ✓ Un taux de conversion bas (inférieur à 35 %).
- ✓ Une consommation d'énergie spécifique relativement élevée (8 à 25 kW/m³ selon le procédé).
- ✓ Une flexibilité limitée face aux variations de la demande en eau.

- ✓ Un coût d'investissement élevé. (KARABI N et GUENNOUN K ;2019)

5.2.1.2- Le dessalement par congélation :

Le dessalement par congélation repose sur le passage de l'eau de mer de l'état liquide à l'état solide. Selon les principes de la thermodynamique, la glace formée est pure et peut être séparée de la solution saline, puis fondue pour obtenir de l'eau douce. Cependant, en pratique, la glace peut être contaminée par les sels lors de la congélation pour des raisons cinétiques, ainsi que par la saumure pendant la séparation. Le procédé doit donc limiter au maximum cette contamination. (MANDRI Y. 2011).

✚ Avantages et les inconvénients de congélation ;

. Les avantages :

- ✓ Pas besoin d'un prétraitement intensif de l'eau de mer.
- ✓ Faible consommation d'énergie.
- ✓ Moins de problèmes de corrosion par rapport aux procédés de distillation, grâce aux basses températures de fonctionnement.

Les inconvénients :

- ✓ Cette technique est généralement plus coûteuse que l'évaporation de l'eau, car l'énergie nécessaire pour congeler l'eau est plus chère que celle utilisée pour son évaporation.
- ✓ La séparation des cristaux de glace et de la saumure pose une difficulté majeure, nécessitant des opérations complexes en raison de la présence d'une fine couche de saumure adhérent aux cristaux. (MANDRI Y. 2011)

5.2.2-Les procédés membranaires :

Les membranes peuvent différencier et séparer sélectivement l'eau et les sels. En exploitant cette capacité de différentes manières, deux procédés de dessalement par membrane ont été développés et sont disponibles sur le marché . L'électrodialyse (ED) utilise un potentiel électrique pour déplacer sélectivement les sels à travers une membrane, permettant ainsi d'obtenir de l'eau douce en sortie. L'osmose inverse (OI) est un processus sous pression, où la pression appliquée permet à l'eau douce de traverser une membrane tandis que les sels restent dans la solution de saumure. (HABET I ; 2010)

5.2.2.1-Dessalement par osmose inverse :

a- L'Osmose :

L'osmose est un processus naturel où l'eau traverse une membrane semi-perméable, allant d'une solution à faible concentration de solides dissous vers une solution à concentration plus élevée. Cette membrane permet le passage de l'eau et de certains ions, mais bloque la plupart des solides dissous. (Kucera, Jane ;2015)

b- Osmose inverse ;

L'osmose inverse est un processus où une pression, supérieure à la pression osmotique, est appliquée sur une solution à haute concentration. Cette pression force l'eau à traverser la membrane dans le sens opposé à l'osmose naturelle. L'eau pure est ainsi extraite du compartiment contenant la solution concentrée, tandis que les solides dissous restent de l'autre côté de la membrane. (Kucera, Jane ;2015)

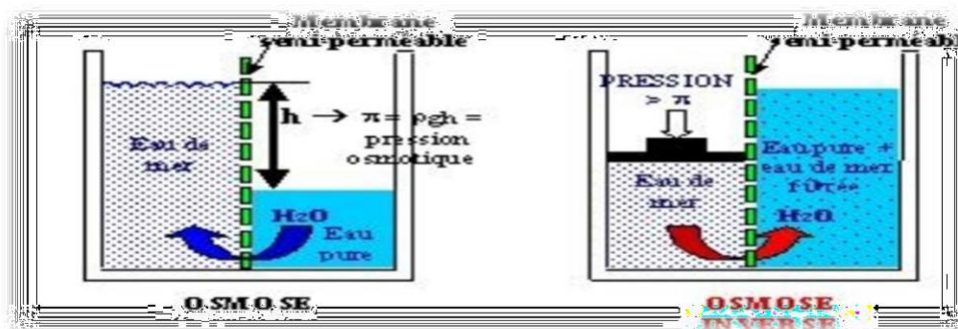


Figure 17 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse (HABET I ; 2010)

c- Schéma général d'une installation d'osmose inverse :

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

- La membrane proprement dite
- Le module
- La pompe haute pression (HP)
- Le système de récupération d'énergie (Abderrazak A ;2014)

d- Membranes d'osmose inverse :

Une membrane est une interface physique de faible épaisseur qui contrôle le transfert des substances chimiques entre deux milieux. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, avec une composition et une structure uniformes, ou bien hétérogène, contenant des pores de dimensions définies ou des couches superposées (ARZATE, 2008).

Du point de vue de la classification, il existe une grande diversité de membranes. Elles sont classées en familles selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique. (abderrazak A ;2014)

e- Modules d'osmose inverse :

Pour être utilisées, les membranes doivent être installées dans des supports appelés modules. Une structure capable de résister à la pression est toujours nécessaire (abderrazak A ;2014)

. Il existe quatre types de modules :

+ Modules plans :

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles, avec des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides (BERLAND &JUERY, 2002)

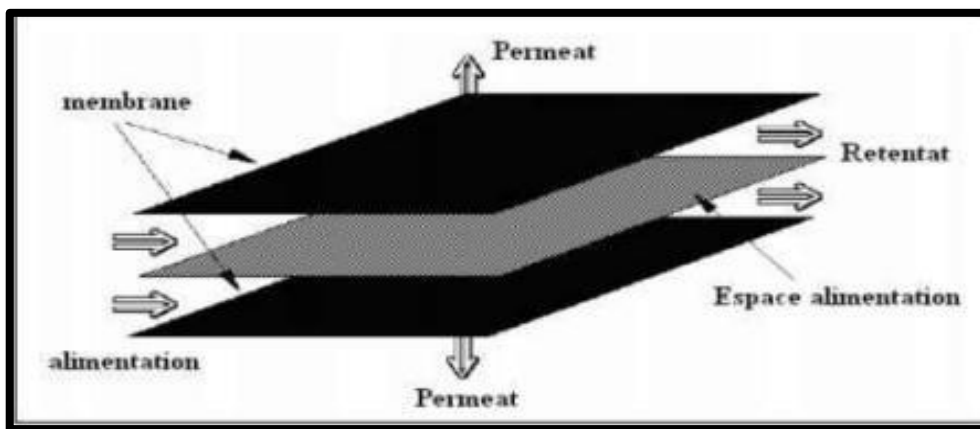


Figure18 : Module plan (DAHMANI .T ;2017)

+ Modules tubulaires :

Un module tubulaire est composé de plusieurs tubes, disposés en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes, tandis que l'eau filtrée est récupérée à l'extérieur. Ces tubes servent de canaux pour un écoulement tangentiel. (BERLAND &JUERY, 2002).

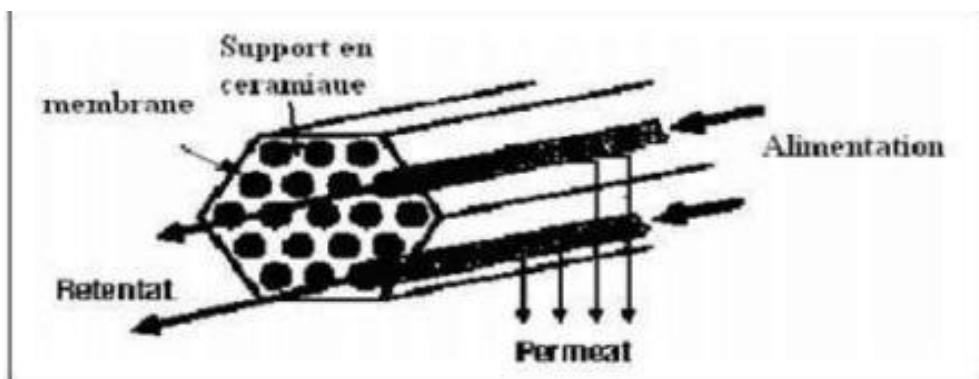


Figure19 : Module tubulaire (DAHMANI .T ;2017)

✚ Modules spirales :

C'est un module spécifique composé de membranes planes enroulées autour d'un axe creux qui collecte le perméat. L'ensemble est placé dans une enveloppe cylindrique, avec des ouvertures permettant l'entrée de l'alimentation et la sortie du rétentat. (ELKHABBAZE, 2008).

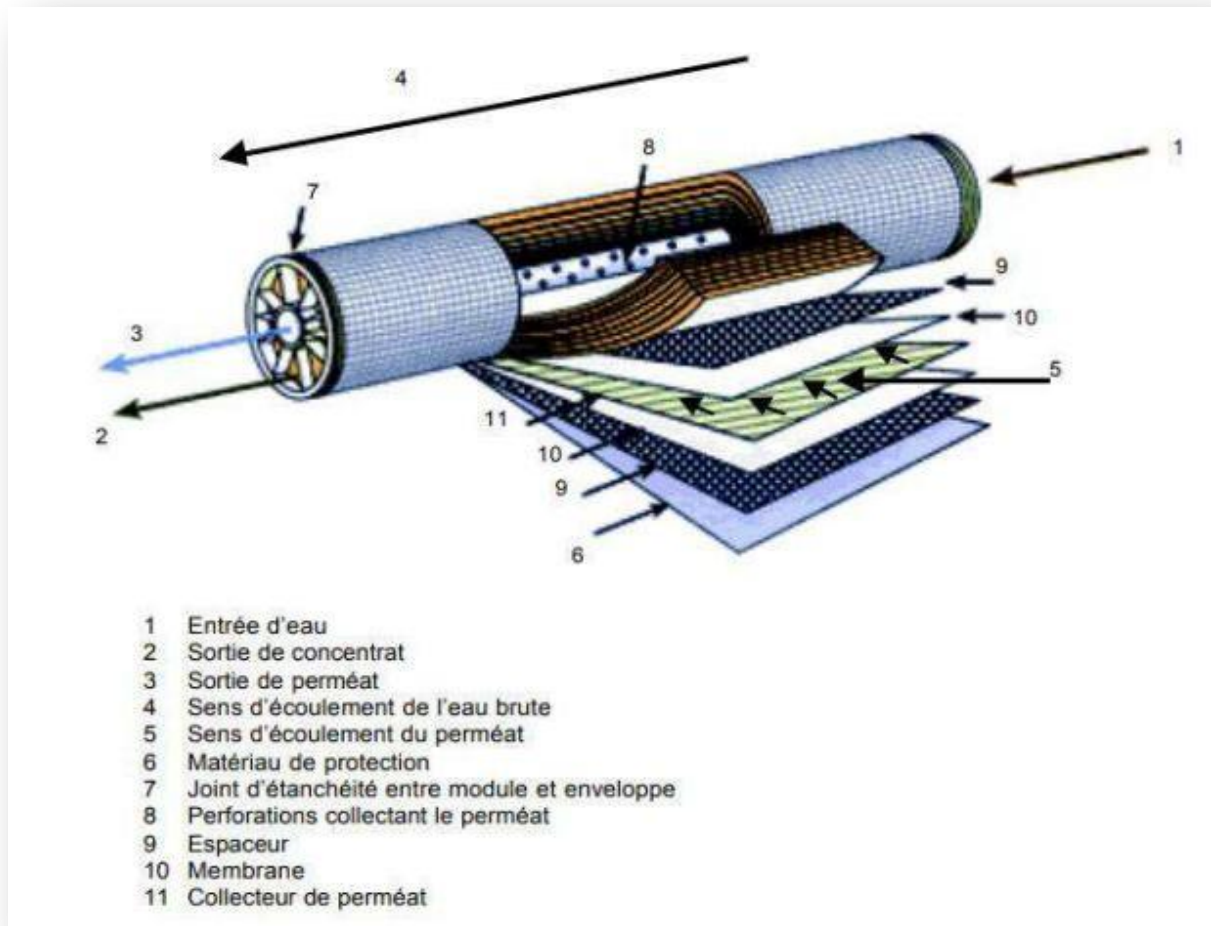


Figure 20 : Structure interne d'une membrane à spirale (DAHMANI .T ; 2017)

✚ Modules à fibres creuses :

Ils contiennent plusieurs milliers de fibres d'environ 1 mm de diamètre. Ces faisceaux sont collés aux extrémités pour garantir l'étanchéité entre le compartiment du 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 se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre. (ELKHABBAZE, 2008)

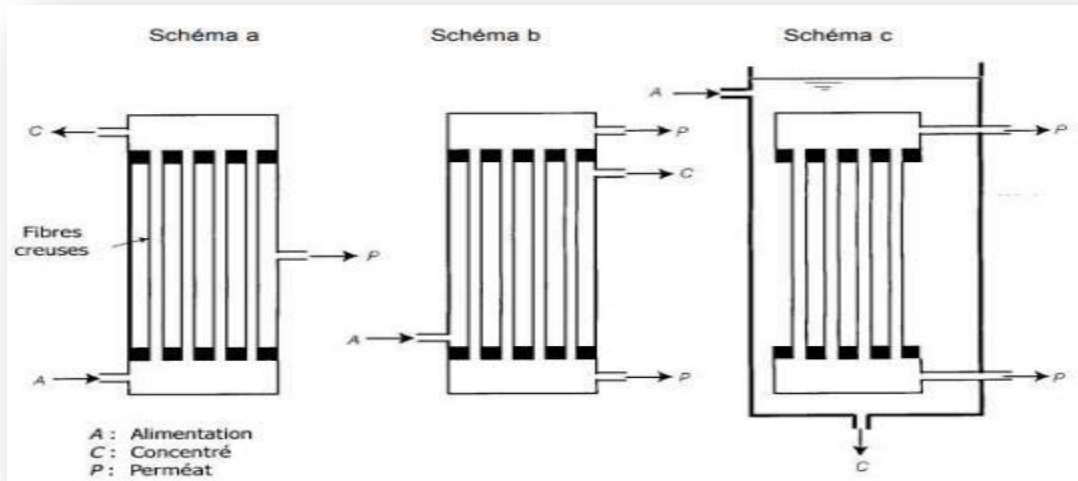


Figure 21 : Modules à fibres creuses (DAHMANI.T ; 2017)

f- Colmatage des membranes et leur nettoyage :

Le colmatage, c'est l'ensemble des phénomènes qui modifient les capacités de filtration d'une membrane, à l'exception de la compaction et des changements chimiques. Cela peut être causé par des phénomènes physiques, chimiques ou biologiques qui se produisent à l'interface entre la membrane et la solution, ou à l'intérieur des pores. Le résultat, c'est une obstruction des pores, ce qui réduit la perméabilité et la sélectivité de la membrane. (AMOURA et TOUMI ;2020)

Dans le cas de l'OI, le phénomène de colmatage peut être classifié en 4 catégories :

Colmatage par entartrage :

L'entartrage sur une membrane est surtout causé par le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, ce qui entraîne une sursaturation et une augmentation rapide de la vitesse de déposition. Des sels en excès vont précipiter sur la surface de la membrane, formant une fine couche qui bloque le transfert des matières à travers la membrane. Les dépôts de tartre les plus fréquents dans le dessalement comprennent du carbonate de calcium, du sulfate de calcium, de l'hydroxyde de magnésium et des dépôts de silice. (AMOURA et TOUMI ;2020)

Colmatage par dépôt :

Le colmatage d'une membrane peut être dû soit à l'obstruction des pores à l'intérieur de la membrane (blocage des pores), soit à un dépôt de matières à la surface de la membrane par convection. (AMOURA et TOUMI ;2020)

Colmatage par adsorption :

L'adsorption est un phénomène irréversible causé par les interactions physico-chimiques entre le soluté et la membrane. Cela se traduit par la formation d'une ou plusieurs couches moléculaires à la surface de la membrane et/ou à l'intérieur des pores. C'est un type de colmatage irréversible, ce qui signifie que son élimination nécessite un lavage chimique spécifique. .(AMOURA et TOUMI ;2020)

Le bio-colmatage :

Toutes les eaux de mer contiennent des microorganismes comme des bactéries, des algues, des virus, etc. Ces microorganismes produisent des substances polymériques extracellulaires qui se fixent à la surface de la membrane et entraînent la formation d'un biofilm. En osmose inverse, le colmatage par biofilm est un phénomène majeur. .(AMOURA et TOUMI ;2020)

Le nettoyage des membranes a pour objectif de réduire le colmatage irréversible de la perméabilité et, ainsi, de prolonger leur durée de vie. Les principales techniques de nettoyage sont :

- ✓ **Le nettoyage mécanique** : rapide mais partiel, il consiste à décoller et enlever la matière accumulée sur la membrane à l'aide de forces mécaniques.
- ✓ **Le nettoyage chimique** : il nécessite un arrêt périodique de la production et engendre des coûts pour les solutions de lavage et le traitement des effluents. Il inclut un lavage acide et basique suivi de phases de rinçage.
- ✓ **Le nettoyage enzymatique** : c'est une alternative aux traitements chimiques. Il est utile pour les membranes sensibles aux réactifs chimiques, aux variations de pH ou de température élevées, ainsi que pour les cas de colmatage avancé. (ARZATE, 2008).

g- Pompe haute-pression HP et système de récupération d'énergie :

Les pompes haute-pression utilisées pour alimenter les modules d'osmose inverse dans le dessalement de l'eau de mer, ainsi que les systèmes de récupération d'énergie hydraulique du concentrât qui leur sont associés, sont des éléments clés dans la conception des usines de dessalement. Elles sont importantes aussi bien pour l'investissement que pour l'énergie électrique requise pour leur fonctionnement. Les pompes haute-pression des membranes d'osmose doivent garantir un débit d'eau à une pression donnée tout en minimisant la consommation d'énergie. (CORSIN & CEDRIC, 2003).

h- Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse:

Les avantages :

- ✓ Un taux de conversion élevé (plus de 55%) ;
- ✓ Une faible consommation spécifique d'énergie (3 à 5 kWh/m³) ;
- ✓ Une bonne flexibilité face aux variations de la demande en eau ;
- ✓ Un coût d'investissement relativement bas ;
- ✓ Un temps de mise en œuvre réduit. (Sigg et al ;2000)

Les inconvénients :

Malgré les avantages, il y a aussi des inconvénients, tels que :

- ✓ La sensibilité aux variations de la qualité de l'eau brute, en particulier aux pollutions ;
- ✓ La nécessité d'un personnel qualifié ;
- ✓ Une exploitation relativement complexe, surtout pour le prétraitement ;
- ✓ Un coût de maintenance élevé, dû à la nécessité de renouveler les membranes, dont la durée de vie ne dépasse généralement pas 7 ans. (Sigg et al ;2000)

5.2.2.2-électrodialyses :

L'électrodialyse (E.D) est un procédé de séparation électrochimique dans lequel les ions sont transférés d'une solution moins concentrée vers une autre solution plus concentrée sous l'effet d'un courant électrique continu. Pour bien comprendre ce procédé, il est essentiel de saisir l'impact qu'un courant continu peut avoir sur une solution ionique. Imaginez un réservoir rectangulaire, avec une électrode à chaque extrémité, rempli d'une solution de chlorure de sodium (NaCl). (Luis et Talavera ;2009).

a-Principe électrodialyses :

L'électrodialyse est une méthode de séparation où des espèces ionisées, qu'elles soient minérales ou organiques (comme des sels, acides ou bases), sont transportées à travers des membranes ioniques sous l'effet d'un champ électrique. Lorsqu'une solution ionisée est envoyée dans les compartiments séparés par ces membranes, les cations migrent vers la cathode (-) et les anions vers l'anode (+), en traversant respectivement les membranes cationiques (C) et anioniques (A). Grâce à l'agencement alterné des membranes, les ions capables de traverser les membranes cationiques sont arrêtés par les membranes anioniques, et vice versa. Cela entraîne une augmentation de la concentration dans les compartiments de même charge (concentrat) et une diminution dans les compartiments adjacents (diluât). Pour chaque Faraday (96 490 coulombs) traversant l'appareil, N/2 équivalents-grammes de sel sont

séparés, N étant le nombre total de compartiments, à l'exception de ceux contenant les électrodes. (HABET I ;2010)

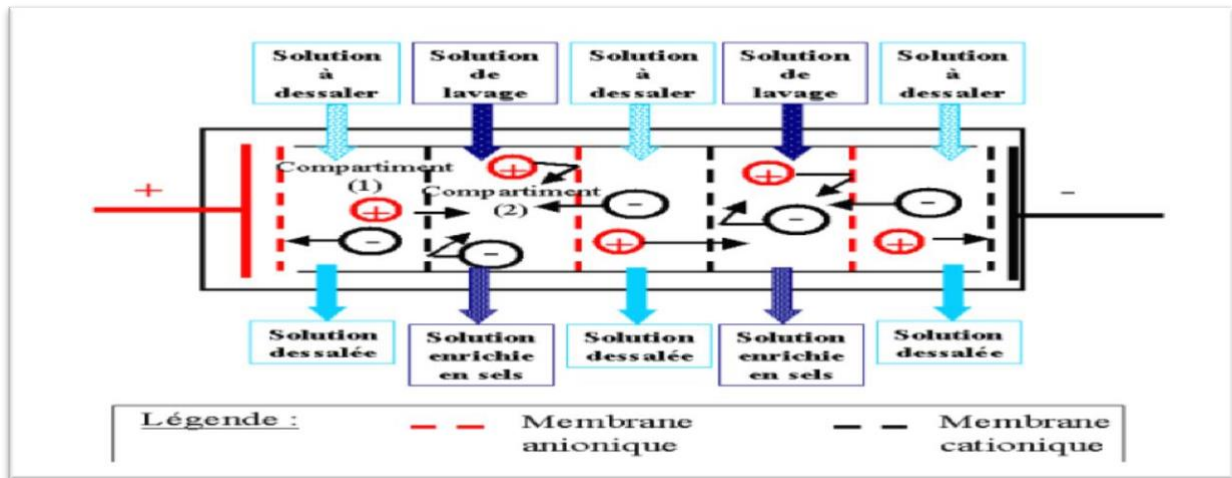


Figure 22 : Principe de dessalement par l'électrodialyse (Anonyme, 2012)

b- Avantages et inconvénients :

- Ce procédé a pour avantage d'être très pratique et adapté au dessalement en laboratoire à petite échelle pour les eaux saumâtres, un mélange d'eau douce et d'eau de mer qui se situe à l'embouchure des fleuves et qui est moins salée que l'eau de mer.
- L'inconvénient est que cette technique consomme énormément d'énergie électrique et ne peut dessaler que les eaux saumâtres dont la concentration totale de sels dissous est généralement comprise entre 1 et 10 g/l, alors qu'elle est en moyenne de 35 g/l pour l'eau de mer. (AYAD et BENSAOULA ;2019)

5.2.3- procédés chimiques :

5.2.3.1- Echangeurs d'ions :

L'échange d'ions est une technologie idéale pour éliminer certains contaminants spécifiques de l'eau potable. Comparé à d'autres méthodes, il est très sélectif, ce qui permet de cibler des substances comme la dureté, les nitrates, le bore, les matières organiques naturelles, les perchlorates, les chromates, l'uranium, et plusieurs autres métaux. Cette méthode est largement utilisée à grande échelle pour ces applications. (A.M. Helal; 2004)

a- Application en dessalement :

La déminéralisation de l'eau par échange d'ions se fait en faisant circuler de l'eau à travers des réservoirs contenant des résines cationiques et/ou anioniques. La résine cationique échange chaque cation (ions chargés positivement) contre un cation d'hydrogène. La résine anionique, quant à elle, échange chaque anion (ions chargés négativement) contre un anion d'oxygène. Les atomes d'hydrogène et d'oxygène, qui leur manquent des électrons, se

Chapitre 02 : le dessalement comme solution à la crise de l'eau

recombinent et finissent par se lier pour former des molécules d'eau. (S. Lattemann , T.Höpner, 2008)

b- Les Avantages et les Inconvénients :

<i>les Avantages</i>	les Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Élimine les ions dissous.• Régénération des résines par ionisation, utilisant des acides et des bases.• Solution rentable pour la purification de l'eau. <p>(A. Maurel, 2006)</p>	<ul style="list-style-type: none">• N'élimine pas efficacement les bactéries, les composés organiques, les particules ou les pyrogènes.• Capacité limitée : une fois que tous les sites d'ions sont occupés, les ions ne sont plus retenus.• Les lits ionisés à régénération chimique peuvent produire des composés organiques et des particules.• Les résines à usage simple nécessitent une eau prétraitée de bonne qualité pour obtenir des résultats efficaces et économiques. (A. Maurel, 2006)

5.3- Le post traitement ou minéralisation :

En général, l'étape de poste traitement comporte deux phases principales : l'ajustement de pH et la chloration :

a- L'ajustement de pH :

L'eau produite par l'un des procédés de dessalement est agressive, car son pH est inférieur au pH de saturation. Pour corriger ce pH, on utilise une solution alcaline, et ce processus se fait automatiquement en fonction du pH de l'eau. (CHENAOUI, 2010).

b- La chloration :

Il est essentiel d'assurer une étape de désinfection pour prévenir toute contamination et le développement biologique. Parmi les nombreuses méthodes de désinfection de l'eau, la plus courante est la chloration, qui consiste à utiliser une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel). La chloration permet de détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau et de protéger celle-ci contre toute nouvelle contamination durant son transport ou son stockage. (TAHRAOUI et al., 2010).

Chapitre 3 :
Impact
Environnemental
Du
Dessalement

1-Introduction :

Le dessalement de l'eau de mer a des impacts sur l'environnement, affectant principalement le milieu marin, ainsi que la faune et la flore aquatiques. Ces impacts proviennent du rejet de saumure produit lors du dessalement, ainsi que des produits chimiques utilisés pour nettoyer les modules d'osmose inverse. (UNEP ;2001)

2- Impacts du captage des eaux de mer :

Les usines de dessalement de l'eau de mer disposent de dispositifs d'admission situés au large, leur permettant de prélever de grandes quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Ce processus peut avoir des impacts sur la flore et la faune de la zone concernée.

Pour limiter ces effets, des tambours tamiseurs sont généralement placés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher l'entrée de débris flottants, d'organismes marins de grande taille et d'autres matières dans le circuit de prétraitement de l'usine. En général, ces tamis ont un maillage d'environ 5 mm, ce qui empêche la plupart des poissons et autres organismes marins de passer. Cependant, le prélèvement de l'eau entraîne deux impacts potentiels : d'une part, les poissons peuvent heurter les tambours tamiseurs, et d'autre part, certains biotes peuvent être entraînés dans le circuit d'alimentation en eau.

Il est bien connu que le prélèvement et le tamisage de grands volumes d'eau provoquent des collisions entre les poissons et les tambours, entraînant des blessures telles que l'écaillage, des troubles comme la désorientation, ainsi qu'une augmentation du taux de mortalité due aux maladies et à une vulnérabilité accrue face aux prédateurs.

De plus, bien que le maillage des tambours empêche l'entrée des poissons et des invertébrés de grande taille, il n'élimine pas le risque pour le phytoplancton et le zooplancton, qui restent particulièrement exposés à cette filtration. Les principaux impacts associés au passage dans les circuits de prétraitement et de dessalement dépendent largement des techniques utilisées, comme l'Osмосe Inverse (OI) ou le Multi Stage Flash (MSF). Ces procédés impliquent des activités telles que la chloration, les lésions de cisaillement et les changements brusques de pression, qui affectent les organismes entraînés dans le circuit. Cela entraîne une diminution du renouvellement des populations dans les habitats naturels et une baisse de la productivité globale de l'écosystème. (LARBI N et SAADAOUIS ; 2019)

3- impacts des rejets de dessalement :

3.1- Effets dus aux produits de la corrosion :

Chapitre 03 : impact Environnemental du dessalement

Les unités de dessalement rejettent certains éléments qui peuvent être dangereux pour les organismes des estuaires en raison de leur toxicité. Parmi eux, on trouve :

- **Les traces de métaux** : le nickel (Ni), le molybdène (Mo), le fer (Fe), le chrome (Cr) et le zinc (Zn) proviennent de la dissolution des tuyaux, des systèmes de refroidissement et d'autres composants métalliques utilisés dans le processus. Ces métaux provoquent du stress chez les organismes aquatiques, avec un impact encore plus important sur les habitats benthiques, qui accumulent davantage ces éléments. **(Hoepner, 2003)**
- **Le cuivre** : à forte concentration, le cuivre est très toxique. Il empêche le bon fonctionnement de certaines enzymes, ce qui peut entraîner la mort de nombreuses espèces sensibles. Chez le phytoplancton, il bloque la photosynthèse, limite l'absorption et l'assimilation des nitrates et empêche l'adsorption du silicate. Chez les poissons vivant en estuaire, il peut provoquer des changements dans leur physiologie, leur reproduction et leur développement. **(Rashad, 2007)**
- **Le fer** : présent dans certains additifs utilisés lors du dessalement, il peut, en présence d'une forte salinité, augmenter la turbidité de l'eau, ce qui risque de perturber la photosynthèse. **(Rashad, 2007)**

3.2- Effets dus aux additifs antitartres :

Les produits utilisés pour lutter contre l'entartrage sont principalement des phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer Méditerranée, leur rejet peut avoir des conséquences importantes, comme la prolifération d'algues microscopiques et macroscopiques. Ces dernières années, les polymères de l'acide maléique sont devenus les agents antitartre les plus couramment utilisés, car ils permettent de limiter les effets de l'eutrophisation. **(Hoepner, 2003)**

3.3- Effets des additifs antisalissure :

Le chlore est un agent antisalissure à large spectre, mais lorsqu'il est rejeté avec la saumure, il peut avoir des effets importants sur le milieu marin. Il provoque des impacts biologiques en raison de son action stérilisante et des effets chimiques en halogénant les composés organiques de l'eau de mer. **(Rashad, 2007)**. D'autres agents antisalissure, comme les sels de cuivre, entraînent des rejets de cuivre dans la saumure. Même à de très faibles concentrations (moins de 1 ppm), ce métal peut s'accumuler dans l'environnement et avoir des conséquences. **(Hoepner, 2003)**

3.4- Effets des additifs antimousses :

Les agents antimousses sont des détergents. Ces derniers peuvent avoir des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Cependant, leur impact sur l'écosystème marin n'a pas été étudié, mais il pourrait être négligeable. (Hoepner, 2003)

3.5- Effets des rejets de saumures concentrées :

Une variation de la salinité et/ou de la température due au rejet de saumure peut aussi affecter les habitudes migratoires des poissons le long des côtes. Si certaines espèces perçoivent un changement de salinité ou de température, elles peuvent éviter la zone du panache et s'éloigner vers le large. Cela peut les obliger à parcourir de plus longues distances, à quitter une zone riche en nourriture et à être plus exposées aux prédateurs. L'impact exact de ces changements reste incertain, car la migration des poissons le long des côtes est encore mal connue et la taille du panache pouvant provoquer ces effets n'est pas précisément déterminée. (Lattemann et Hoepner, 2003)

La température des effluents a un effet important sur les propriétés physiques de l'eau de mer et peut en altérer la qualité. Plus la température augmente, plus la solubilité de l'oxygène diminue. Cette élévation de température accélère la respiration des bactéries et peut favoriser un manque d'oxygène (anoxie ou hypoxie), ce qui peut entraîner la disparition de la vie aquatique, notamment en été. (Fernández-Torquemada, 2013) et (UNEP/MAP, 2003)

3.6- Impacts des rejets de saumures sur l'écosystème marin :

L'impact des rejets de saumure est notable, avec une salinité comprise entre 68 et 90 g/L. Cette différence de salinité par rapport à l'eau de mer influence la dispersion et les effets des rejets issus des usines de dessalement. La masse d'eau très dense se dépose sur le fond marin et suit les pentes les plus marquées. En raison de son fort degré de stratification, sa dilution avec la couche d'eau supérieure, moins saline, est particulièrement difficile, même en présence de courants marins.

Le concentrât contient aussi des résidus de produits chimiques utilisés lors des prétraitements. Ces substances entraînent notamment une acidification de l'eau (pH entre 6 et 6,5), ce qui affecte les organismes vivants, en particulier les coraux. De plus, l'usage de métabisulfite de sodium pour la déchloration de l'eau d'alimentation ou comme biocide a un impact sur le phytoplancton. (Cooley, H., Gleick, P.H. and Wolff, G. 2006)

Les effets de ces rejets sur l'environnement marin, mis en évidence par de nombreuses études, sont les suivants :

- **Anoxie des fonds marins** : La colonne d'eau se divise en deux couches, avec l'eau de mer en surface et la saumure en profondeur. Dans un milieu où le renouvellement des algues est limité, la présence d'espèces benthiques consommatrices d'oxygène peut entraîner des périodes d'anoxie sur le fond marin. **(Fernández-Torquemada, Y. Sánchez-Lizaso, J.L. 2013)**
- **Réduction de la lumière** : La présence d'une eau hypersaline modifie la réflexion de la lumière, formant une sorte de brouillard qui entrave son passage et perturbe la photosynthèse des plantes marines.
- **Impact sur les espèces marines** : Une diminution significative des communautés d'échinodermes (bio-indicateurs sensibles) a été observée près des zones de rejet. **(Fernández-Torquemada, Y. Sánchez-Lizaso, J.L. 2013)**
- **Effets sur les fanerogames marines** : La mer Méditerranée est l'une des régions les plus étudiées à ce sujet. Des effets négatifs ont été constatés sur les fanerogames marines, notamment sur *Posidonia oceanica*, où une augmentation de la mortalité, des nécroses tissulaires et une chute accrue des feuilles ont été relevées. **(PNUE, 2001).**

3.7- Elimination de la saumure :

L'élimination de la saumure est un problème environnemental important qui doit être pris en compte lors de l'implantation d'une unité de dessalement. Dans la plupart des cas, la façon la plus simple de se débarrasser du débit important de saumure (70 à 55 % du débit d'alimentation) est de la rejeter dans la mer par une conduite. La concentration en saumure varie entre 50 et 75 g/l, avec une densité bien plus élevée que celle de l'eau de mer. Ainsi, la saumure se dépose sur le fond marin près de la sortie de la conduite (effet panache), formant une couche très salée qui peut avoir des effets négatifs sur la faune et la flore marines, ainsi que sur certaines activités humaines.

Les conditions marines, comme les courants, les vagues et l'état de la mer (calme ou agitée), influencent immédiatement la dispersion et la dilution de la saumure. **(NRC, 2008)**

Deux concepts réalistes ont été identifiés pour l'élimination de la saumure :

- **Mélange** : Pour limiter l'effet panache, il est préférable de placer la sortie de la conduite dans une zone où les courants sont forts afin d'optimiser le mélange de la saumure avec l'eau de mer.
- **Dilution** : La dilution de la saumure dépend de son niveau de dispersion en fonction de l'état de la mer. En cas de mer agitée, la dilution est rapide, tandis qu'en mer calme,

la saumure met plus de temps à se diluer, ce qui peut avoir un impact direct sur le milieu aquatique.

Lorsqu'une limite maximale de décharge doit être respectée (par exemple, en France, un dépassement de 10 % de la salinité de l'eau de mer), plusieurs solutions peuvent être envisagées pour diluer la saumure avant son rejet :

- Mélange avec de l'eau douce naturelle (rivière) si l'installation est proche d'un delta.
- Association avec des effluents d'eaux usées avant rejet en mer.
- Utilisation d'une partie de l'eau de mer pompée pour l'alimentation de l'usine, nécessitant une capacité de prise d'eau plus élevée. (Mourad amitouche ;2016)

4- Impact de bruit :

Une usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse est une installation bruyante. Ce bruit provient principalement des pompes à haute pression et des turbines utilisées pour la récupération d'énergie. (Z.A Sabri, G.P Laggan and R.Hagenson ; 1980)

Le niveau sonore dépasse généralement les 90 dB, rendant la vie difficile pour les habitants à proximité. Il est donc recommandé d'implanter ces usines loin des zones résidentielles et de les équiper de technologies acoustiques adaptées afin de réduire le niveau de bruit (R. EINAV, K. HAMSSIB et D. PERIYB ; 2002)

5- TECHNIQUES POUR MINIMISER LES IMPACTS DU DESSALEMENT SUR L'ENVIRONNEMENT :

Les saumures fortement salines, en contact avec la mer, ont tendance à descendre vers le fond et à s'étendre sur plusieurs centaines de mètres, constituant ainsi une source continue et cumulative de pollution. Cela peut avoir des effets néfastes sur la vie aquatique à proximité, en créant des zones hypersalines. Pour minimiser ces impacts négatifs des usines de dessalement d'eau de mer, plusieurs solutions sont proposées : (Balasubramanian, 2013), (Bleninger et Jirka, 2010), (Jenkins et al. 2013), (PNUE, 2001), (Swift, 2002), (UNEP/MAP, 2003).

- Il est recommandé de situer le point de rejet des saumures loin des plages et des zones rocheuses riches en biodiversité, en utilisant un émissaire sous-marin ou des diffuseurs sur les conduites de décharge pour améliorer la dilution.
- L'eau rejetée par une centrale électrique peut être utilisée pour diluer les saumures concentrées, ce qui limite leur accumulation au fond.
- Acheminer les saumures vers une usine de production de sel permettrait d'en tirer des bénéfices environnementaux et économiques.

Chapitre 03 : impact Environnemental du dessalement

- Opter pour une approche de décharge zéro en évaporant les résidus concentrés afin d'obtenir des résidus secs, bien que cela nécessite un investissement élevé et une forte consommation d'énergie.
- Utiliser des énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, pour alimenter les usines de dessalement et tendre vers un rejet nul de saumures en mer (usine de dessalement écologique).
- Établir une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger afin que ces critères environnementaux soient aussi déterminants que les contraintes sociales et économiques dans le choix de l'emplacement de l'usine.
- Sélectionner le mode de rejet le plus adapté, que ce soit un rejet direct sur la côte ou via un émissaire sous-marin, en tenant compte de la vitesse et de l'angle du rejet, de la bathymétrie, ainsi que des courants et des vagues.
- Associer le rejet des saumures à celui des eaux de refroidissement d'une centrale thermique ou à l'effluent d'une usine de traitement des eaux usées, lorsque cela est possible. (NRC, 2008) et (PNUE, 2001).

Chapitre 4 :
Présentation de la station de
Dessalement Honaine
Et
Fonctionnement de l'unité
D'osmose inverse

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

1-Présentation de la station de dessalement de „Honaine“ :

1.1 -Situation géographique :

L'usine de dessalement d'eau de mer est implantée dans la Zone d'Extension Touristique (ZET) de Tafout, située dans la commune de Honaine, relevant de la daïra de Honaine, à environ 64 km du chef-lieu de la wilaya de Tlemcen. Elle se trouve au nord-ouest de la ville de Tlemcen et est délimitée comme suit :

- Au nord par la mer Méditerranée ;
- A l'est par la commune de Beni Khellad ;
- A l'ouest par la commune de Dar Yaroumracen ;
- Au sud par les communes de Nedroma et Beni Ouarsous.



Figure 23 : Localisation géographique de la commune de Honaine (origine ;2025)

1.2- Présentation du promoteur de projet :



Figure 24 : Photo de la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine (c)

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

La station de dessalement d'eau de mer de Honaine se trouve dans la commune côtière de Honaine, à l'ouest de la wilaya de Tlemcen. Elle occupe une surface de 58 hectares et peut produire jusqu'à 200 000 m³ d'eau potable par jour. Elle a été mise en service en juillet 2012. Cette eau permet d'alimenter 23 communes, y compris les grandes villes de Tlemcen, Mansourah et Chetouane, ce qui représente environ 555 000 habitants. Cette station a fortement contribué à améliorer la sécurité en eau dans la région.

Le projet a été confié à une entreprise algérienne appelée Myah Bahr Honaine SPA. Cette société est le résultat d'un partenariat entre un groupe espagnol (GEIDA, composé des entreprises Cobra, Befesa, Codesa et Sadyt) et deux sociétés algériennes : l'Algerian Energy Company (AEC), qui dépend de Sonatrach et Sonelgaz, et l'Algérienne des Eaux (ADE). C'est la deuxième station de dessalement construite dans la wilaya de Tlemcen, après celle de Souk Tleta réalisée en 2006 par le même groupe. Le coût total du projet de Honaine est estimé à 230 millions de dollars, avec un taux de conversion de 45 %,

Le tableau suivant nous permet d'avoir une idée générale sur les principales caractéristiques de la station.

Tableau 8 : Caractéristiques techniques de Station de Dessalement d'eau de mer de Honaine (EDD SDEM honaine ; 2014)

Paramètre	Unité de mesure	Valeur
Production d'eau	m ³ /j	200 000
Superficie totale	m ²	58 485
Prise d'eau de mer	m ³ /h	17.729
Salinité de l'eau de mer	ppm	36.700
Volume d'eau rejetée	m ³ /h	9.663
Qualité de l'eau	ppm	484
Température de l'eau rejetée	°C	17
Taux de rendement de dessalement	%	45.49
Durée de la construction	Mois	24
Coût	Millions d'USD	230
Type de prise d'eau de mer : Emissaire sous-marin		
Type de décharge de saumure : Emissaire sous-marin		

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

1.3-Description du fonctionnement de la station :

Le procédé utilisé pour le dessalement d'eau de mer à la station est l'osmose inverse. Ce procédé comprend quatre étapes principales :

- ✓ la captation de l'eau de mer,
- ✓ Le prétraitement
- ✓ L'osmose inverse et
- ✓ Le post-traitement

Le schéma qui suit résume les étapes dans une unité de dessalement de l'eau de mer par le procédé d'osmose inverse :

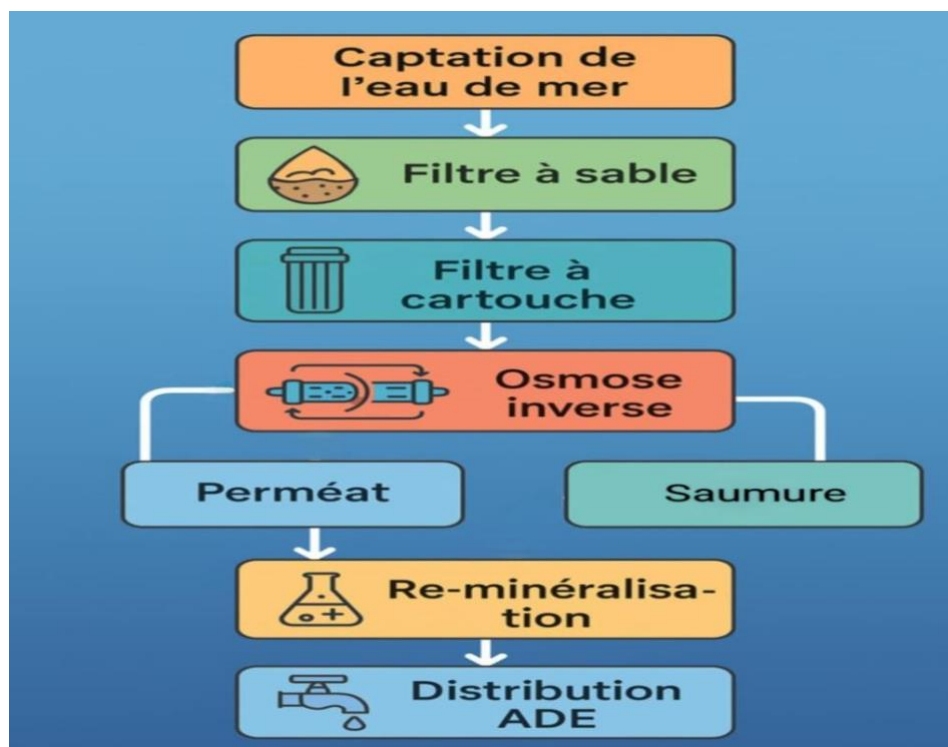


Figure 25 : Processus de dessalement de l'eau de mer (origine ;2025)

1.3.1- Captation d'eau de mer

À la station de dessalement de Honaïne, l'eau de mer est captée directement depuis la mer grâce à une tour de prise située à 1,8 km du rivage, à une profondeur de 7 mètres. L'eau s'écoule ensuite par gravité jusqu'à un réservoir de réception. Avant d'y arriver, elle passe par un système de préfiltration qui permet d'éliminer les débris solides, les algues, les poissons et autres résidus marins. Ce système de pré-filtration comprenant trois tubes de grilles à gros grains et deux filtres retatifs, qui assurent une première étape de nettoyage pour protéger les

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

installations en aval. Une fois cette étape terminée, l'eau filtrée est acheminée vers un ensemble de 11 pompes, installées en parallèle et fonctionnant par aspiration à vide. Ces pompes assurent un débit global de 18 934 m³/h, permettant ainsi d'alimenter en continu les étapes suivantes du processus de dessalement.



Figure 26 : la zone de captage (origine ; 2025)



Figure 27 : Filtres rotatifs (origine ; 2025) Figure 28: les 11 pompes à aspiration à vide

1.3.2 Le prétraitement :

Cette étape comporte deux types de pré-traitements : Physiques et chimiques

1.3.2.1 - prétraitements chimiques :

Le prétraitement chimique est une étape très importante dans le processus de dessalement. Il sert à enlever les éléments indésirables présents dans l'eau de mer, comme les particules en suspension ou les micro-organismes. Sans cette étape, il y aurait un risque d'encrassement des équipements, en particulier des membranes d'osmose inverse, ce qui réduirait leur

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

performance et leur durée de vie. il consiste à l'injection d'hypochlorite de sodium NaOCl , de chlorure ferrique (FeCl_3).

a-désinfection:

Elle consiste à ajouter un produit désinfectant, comme l'hypochlorite de sodium (NaOCl), pour empêcher la croissance des micro-organismes et éviter qu'ils bouchent les conduites.

b-coagulation-floculation

Cette opération utilise du chlorure ferrique (FeCl_3), un produit qui permet de regrouper les petites particules présentes dans l'eau. Cela facilite leur élimination et permet de réduire l'indice de colmatage (SDI) à moins de 4, ce qui est nécessaire pour protéger les membranes.

NB : dans le cas de la station de dessalement de Honaine, ces traitements chimiques ne sont pas utilisés. Cela s'explique par la bonne qualité de l'eau de mer prélevée : elle est peu polluée et ne nécessite pas ce genre de traitement.

1.3.2.2- pré-traitements Physiques :

a- Filtration à sable :

Le filtrage est un processus au cours duquel l'eau traverse un milieu filtrant poreux qui est dans ce cas, le sable . Ce système élimine 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 . Ce système de filtration comporte 80 filtres répartis en deux phases chaque phase comporte de 3 couches (anthracite, sable et gravier).

- ❖ La première phase est constituée de 48 filtres
- ❖ La deuxième phase est constituée de 32 filtres



Figure29 : filtres à sables et anthracite (SDEM-Honaine) (origine ;2025)

Les filtres utilisés sont régulièrement nettoyés grâce à un système de lavage automatique. Ce système comprend trois pompes et trois soufflantes, et utilise de la saumure comme fluide de nettoyage, Il est capable de laver quatre filtres en même temps, ce qui permet de gagner du

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

temps et d'assurer une performance constante du système. Le cycle de nettoyage se déroule en plusieurs étapes :

1. Injection d'air : De l'air est insufflé à un débit de 50 m³/h pendant 7 minutes afin de désagréger les impuretés.

2. Pause : Une fois l'aération terminée, un temps de repos de 3 minutes est observé.

3. Nettoyage par rinçage : Les impuretés détachées des grains de sable sont évacuées à travers les conduits dédiés.

4. vidange : Une dernière étape consiste à introduire de l'eau d'alimentation pour chasser les résidus de saumure encore présents dans le filtre.

L'eau chargée de particules issues du lavage est dirigée vers un réseau de canalisations souterraines qui la transporte jusqu'à un réservoir de saumure.

b- Filtration à cartouche :

Après filtration à sable l'eau est injecter par :

- **bisulfite de sodium :** L'addition de ce produit a pour objet d'éliminer le chlore résiduel du dosage d'hypochlorite de sodium.
- **d'inhibiteur « anti-scalant » :** Ce produit a pour rôle de prévenir la formation de dépôts dans les membranes. Il empêche la précipitation de certains sels, comme le sulfate de calcium, L'inhibiteur agit en bloquant la formation des cristaux, maintenant ainsi les ions en suspension, même au-delà de leur seuil de solubilité

Une fois que l'eau d'appoint a reçu les dosages des réactifs appropriés et qu'elle a été filtrée, elle est conduite vers le processus de microfiltration. Au total, il y aura 22 filtres avec 290 cartouches



Figure 30 : Filtres à cartouches (origine ;2025)

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

1.3.3-L'étape d'osmose inverse (nanofiltration) :



Figure 31 : La zone de production de la SDEM de Honaine (d)

-Conception et capacité de la station :

La conception de la station repose sur un système en une seule étape, comprenant 10 unités de production (chassis).

Chaque chassis contient 222 modules, chacun composé de 7 membranes spirales, fabriquées en polyamide.

Les caractéristiques techniques de l'installation sont les suivantes :

- ✓ Capacité de production nominale par chassis: 20 300 m³/jour
- ✓ Capacité totale de la station : plus de 200 000 m³/jour
- ✓ Facteur de conversion : 45 %
- ✓ Taux de rejet des sels : 99,8 %
- ✓ Taux de récupération énergétique : 97 % (grâce à un système de récupération de pression)

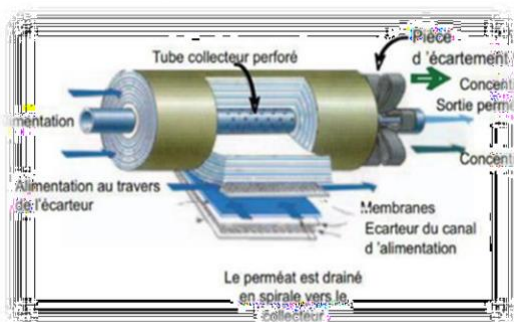


Figure 32 : Un châssis à membrane (b)



Figure33: La membrane spirale de l'oi (e)

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

Le processus d'osmose inverse dans la station de dessalement :

Le dessalement s'effectue par le passage de l'eau de mer d'alimentation à travers des modules de membranes semi-perméables, disposés en série à l'intérieur de chaque tube de pression, et en parallèle dans chaque module. Pour que l'eau traverse les membranes, il est nécessaire d'appliquer une pression élevée. Ainsi, à partir de l'eau de mer, on obtient un courant d'eau dessalée (perméat) à faible teneur en sels, et un courant de rejet (saumure) avec une concentration en sels beaucoup plus élevée que celle de l'eau d'alimentation initiale.

-Le système d'osmose inverse (OI) est situé à l'intérieur du bâtiment de production et organisé en trois sous-systèmes, différenciés essentiellement par la nature du fluide qu'ils transportent.

- ❖ *Sous-système d'eau d'alimentation* : le fluide circulant est l'eau de mer brute. Celle-ci doit être préalablement conditionnée, avec un contrôle des matières en suspension un traitement chimique pour prévenir la croissance biologique et les dépôts dans les membranes.
- ❖ *Sous-système d'eau dessalée (perméat)* : ce courant correspond à l'eau ayant traversé les membranes. Il est caractérisé par une faible concentration en sels.
- ❖ *Sous-système d'eau de rejet* : ce courant, appelé saumure, ne traverse pas les membranes et présente une concentration saline très élevée.

La pompe à haute pression

Elle permet de fournir une pression jusqu'à 70 bars en vue d'alimenter l'osmose inverse.



Figure 34 : pompe à haute pression (origine ;2025)

La pompe de recirculation (booster) :

Le booster est une pompe de recirculation utilisée pour augmenter la pression de l'eau de mer après son passage dans le système de récupération d'énergie. Son rôle est de compenser les pertes de charge provoquées par les membranes, afin de maintenir un débit et une pression adéquats avant l'entrée de l'eau dans l'unité d'osmose inverse.

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse



Figure 35 : Pompe Booster (origine ;2025)

Le système de récupération d'énergie :

Dans un système d'osmose inverse, l'eau de mer est mise sous une pression élevée pour pouvoir passer à travers des membranes spéciales qui retiennent les sels. Après ce passage, l'eau rejetée (appelée saumure) reste encore sous haute pression. Pour ne pas gaspiller cette énergie, on utilise un appareil appelé **échangeur de pression (PX)**. Ce système permet de transférer directement la pression de la saumure vers l'eau de mer prétraitée, sans utiliser plus d'électricité. Ainsi, la pression du rejet sert à pousser une nouvelle quantité d'eau vers les membranes.

Le PX fonctionne grâce à un rotor qui tourne en continu, un peu comme deux tuyaux qui tournent en même temps. L'eau de mer, à basse pression, entre dans un des tuyaux et, grâce à la rotation, est poussée vers la zone à haute pression. En même temps, la saumure entre dans l'autre tuyau et va vers la zone à basse pression. Ce mouvement permet de garder un débit stable entre les deux côtés et de récupérer jusqu'à 95 % de l'énergie.

Pour compléter ce système, on installe une pompe de recirculation (appelée aussi booster) qui sert à augmenter un peu la pression de l'eau venant du PX, pour qu'elle entre correctement dans les membranes d'osmose inverse à haute pression.

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

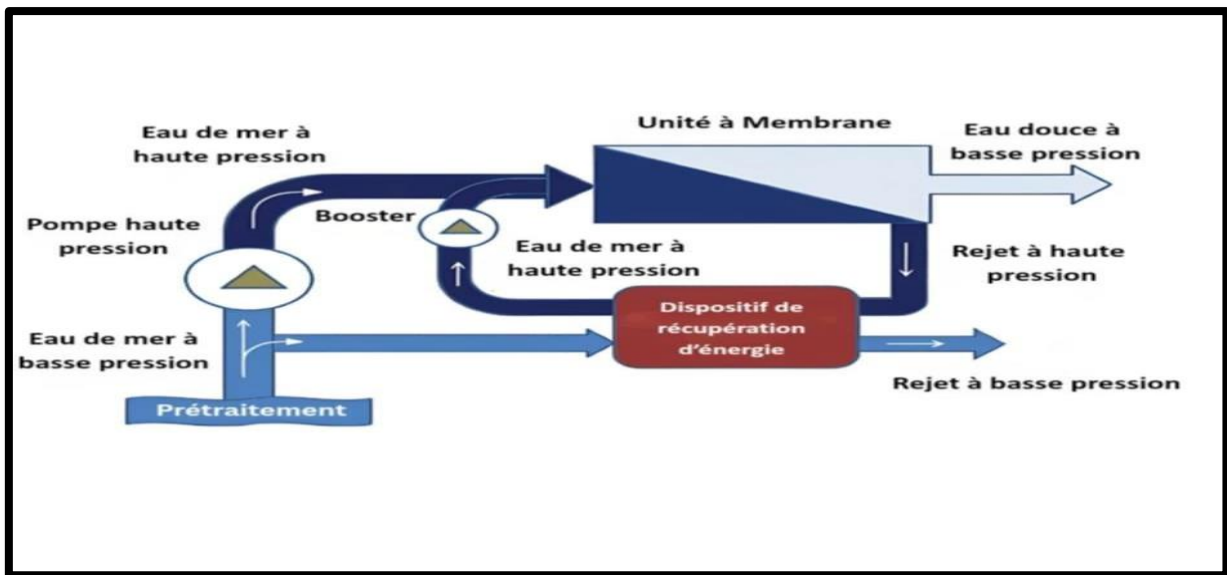


Figure 36 : Schéma de la récupération d'énergie (origine ;2025)

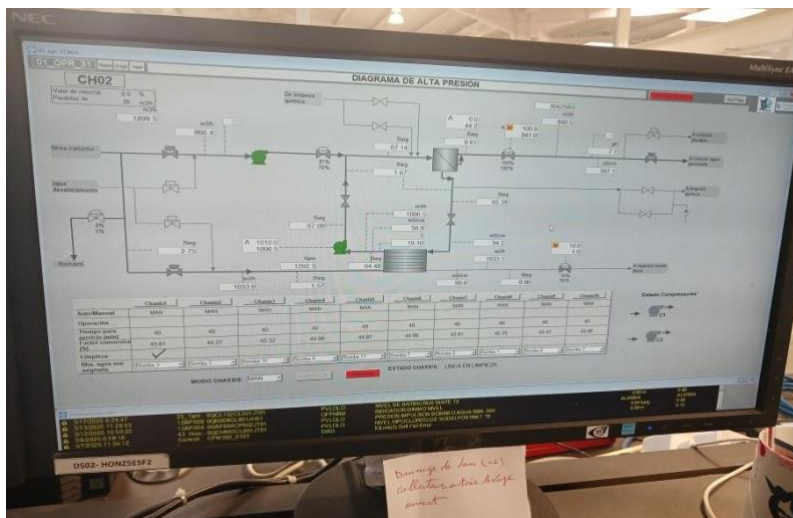


Figure 37 : Le système de récupération d'énergie contrôlé par honywell

Nettoyage chimique des membranes d'osmose inverse :

Pour garder les membranes d'osmose inverse en bon état et garantir un bon fonctionnement de la station, un nettoyage chimique est réalisé de manière ponctuelle, uniquement en cas de besoin. Cette opération permet d'éliminer les dépôts susceptibles d'obstruer les membranes et de réduire leur performance. Le processus commence par l'arrêt complet du système, suivi d'un rinçage à l'eau pour éliminer les impuretés présentes en surface. Une solution chimique spécifique, généralement à base de produits basiques comme la soude (NaOH), est ensuite préparée. Cette solution est injectée à travers les membranes à

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse

l'aide de pompes adaptées, assurant un nettoyage en profondeur. Un dernier rinçage à l'eau claire est effectué pour éliminer toute trace de produit chimique, avant la remise en marche du système.

1.3.4- Le Post-traitement :

L'eau produite par osmose inverse est très pauvre en minéraux, ce qui la rend impropre à la consommation humaine. Pour la rendre potable, on utilise un processus appelé reminéralisation. Ce processus commence par l'injection de dioxyde de carbone (CO_2), ce qui permet de réduire le pH de l'eau jusqu'à environ 5. Cela aide à dissoudre les minéraux dans l'étape suivante. Ensuite, l'eau passe à travers dix tours de reminéralisation, contenant un lit de calcite (2,86 m de hauteur). Ces matériaux, composés principalement de carbonate de calcium (CaCO_3), libèrent dans l'eau des minéraux comme le calcium, ce qui équilibre son pH et la rend plus stable pour le transport et la consommation.

L'eau entre par le bas des tours et ressort par le haut pour éviter l'accumulation de dépôts. Les particules fines sont entraînées vers la citerne de stockage. Le lit de minéraux repose sur un double fond avec des tuyaux de distribution, et le rechargement se fait manuellement à l'aide d'un palan.



Figure 38 : photo de carbonate de calcium Figure 39 : Les réservoirs de CO_2 (origine ;2025)

Enfin, l'eau est désinfectée par injection automatique d'hypochlorite de sodium, à l'aide de deux citernes de 30 m³ et trois pompes, puis elle est transférée vers un réservoir de stockage à l'aide d'une dizaine de pompes, avant sa distribution par l'ADE.

Chapitre 04 : présentation de la station de dessalement Honaine Et Fonctionnement de l'unité d'osmose inverse



Figure 40 : Photo du réservoir de Re-minéralisation (f)

1.3.5-la gestion des déchets :

La saumure générée au cours du processus de dessalement est partiellement réutilisée pour le nettoyage des filtres à sable.

Le reste de cette saumure est évacué en mer à travers un émissaire spécifiquement conçu à cet effet.

Par ailleurs, la saumure issue du nettoyage des filtres est dirigée vers le réservoir principal de saumure, où elle est mélangée à celle provenant du système d'osmose inverse. Ce mélange a pour objectif de réduire la concentration en solides dissous avant le rejet final en mer. (AYAD & BENSAOULA ; 2019)



Figure 41 : Rejet de Saumure au Niveau de SDEM HONAINNE.(origine ;2025)

Chapitre 5 :

Matériels

Et

Méthodes

1-Contrôle de qualité (les analyses physico- chimiques) :

Les analyses physico-chimiques réalisées dans le laboratoire d'analyse de la station de dessalement de Honaine ont pour objectif de contrôler la qualité de l'eau brute, de l'eau traitée ainsi que de la saumure rejetée. Ce suivi régulier permet de garantir le bon fonctionnement de l'unité de dessalement et d'assurer la conformité de l'eau produite aux normes de potabilité.

L'ensemble de ces analyses est réalisée de manière régulière, souvent horaire, afin de maintenir une surveillance continue et réactive de la qualité de l'eau tout au long du processus de dessalement.

1.1- Sites de prélèvement des échantillons :

Au sein de la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine, plusieurs points de prélèvement ont été mis en place afin de suivre l'évolution des caractéristiques de l'eau à chaque étape du traitement. Ces zones de contrôle, réparties tout au long du circuit, permettent de vérifier l'efficacité du procédé, depuis le captage de l'eau brute jusqu'à son stockage après dessalement.

Les principaux sites de prélèvement sont les suivants :

- ❖ ***Au niveau du captage d'eau de mer*** : ce point permet de caractériser l'eau brute avant tout traitement, en évaluant ses principales propriétés physico-chimiques.
- ❖ ***Avant la filtration à sable et anthracite*** : l'analyse de l'eau à ce stade permet de vérifier l'efficacité du prétraitement mécanique, essentiel pour éliminer les particules en suspension.
- ❖ ***À l'entrée de la production (après la filtration à cartouche)*** : ce point est particulièrement important pour évaluer les conditions d'alimentation des membranes d'osmose inverse. C'est ici que sont réalisés les tests d'injection d'anti-scalant ainsi que la mesure de l'indice de colmatage (SDI).
- ❖ ***Au niveau du réservoir de l'eau traitée*** : ce dernier prélèvement permet de s'assurer que l'eau produite respecte les normes de potabilité, en contrôlant des paramètres clés comme le pH, la conductivité et la turbidité.

1.2-Méthodes d'analyses physico-chimiques :

1.2.1 Mesure de la température

La température de l'eau est un paramètre essentiel à surveiller dans le processus de dessalement. Au sein de la station de dessalement de Honaine, la mesure de la température s'effectue à l'aide d'un thermomètre numérique ou d'un appareil multiparamètre portable

Chapitre 05 : matériels et M éthodes

L'appareil est immergé directement dans l'échantillon d'eau prélevé dans un flacon ou un bécher, comme illustré sur la figure ci-dessous. Cette méthode permet une lecture rapide et fiable sur les différents types d'eau circulant dans l'installation : eau brute, eau filtrée, eau d'osmose, eau traitée, ainsi que l'eau de rejet (saumure).



Figure 42 : Thermomètre (origine ;2025)

1.2.2- Mesure du pH et conductivité



Dans le laboratoire de la station de Honaine, le pH de l'eau et la conductivité ont été mesurés à l'aide un appareil multi-paramètres

figure 43 : appareil multi-paramètres(origine ;2025)

1.2.3- Mesure de l'indice de colmatage (SDI) :

L'indice SDI (Silt Density Index), aussi appelé indice d'encrassement ou de colmatage des membranes, est une méthode utilisée pour estimer le degré de colmatage des membranes d'osmose inverse dû à la présence de particules colloïdales, telles que les bactéries, les argiles, ou d'autres matières en suspension.

Chapitre 05 : matériels et M éthodes

Matériels utilisés : Vanne de contrôle de pression , Manomètre (0.5 bar), Porte-filtre, Filtre (de 0,45 microns) ,Bécher (500ml), Chronomètre.

Mode opératoire :

D'abord, il faut mettre le filtre en place sur son support. Ensuite, il faut enlever l'air du circuit et fixer le support bien droit, à la verticale. La pression est réglée à 2 bars. On mesure alors le temps qu'il faut pour filtrer 500 mL d'eau. Ce temps doit être plus grand que 10 secondes. Le filtre reste en place et continue de fonctionner pendant 15 minutes. Pendant ce temps, il faut vérifier que la pression reste bien à 2 bars. Après 15 minutes, on mesure de nouveau le temps qu'il faut pour filtrer 500 mL. Enfin, le filtre est arrêté, la membrane est retirée. L'indice SDI est ensuite calculé à l'aide de la formule :

$$SDI = \frac{t_f - t_0}{15 \times t_f} \times 100$$

t_0 : Le temps pour remplir 500ml d'échantillon.

t_f : Le temps pour remplir 500ml après 15 min .

15 : La durée de découlement.

1.2.4 Mesure des matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension (MES) sont des particules solides très fines, souvent visibles à l'œil nu.

Matériels:

- Une membrane filtrante.
- L'étuve
- Une balance
- L'eau
- Système filtrant



Figure 44 : L'étuve.



Figure 45 : Balance



figure 46 : La membrane filtrante

Mode opératoire

Tout d'abord, une membrane filtrante est pesée à sec à l'aide d'une balance de précision afin de déterminer sa masse initiale. Elle est ensuite placée dans le dispositif de filtration, et un volume d'eau brute 1 litre est filtré à travers cette membrane. Une fois la filtration terminée, la membrane est placée dans une étuve pendant deux heures, jusqu'à évaporation complète de l'eau. Après refroidissement, elle est de nouveau pesée pour obtenir la masse finale. La concentration en MES est ensuite calculée par la différence de masse avant et après filtration, selon la formule : $MES = M1 - M0$

1.2.5- Mesure de la Turbidité :

La turbidité représente le trouble de l'eau causé par des particules en suspension, Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre (HANNA), L'échantillon est placé dans une cuvette propre et sèche, puis la valeur est directement lue en NTU. Selon les normes, une eau de bonne qualité doit avoir une turbidité inférieure ou égale à 3 NTU.



Figure 47 : Turbidimètre(origine ;2025)

1.2.6- . Mesure du chlore :

La détermination du taux du chlore libre est importante, Le chlore a été mesuré au niveau de laboratoire de qualité de la station de dessalement UTE Desaladora Honaine a l'aide d'un colorimètre et des pastilles DPD

Matériel :

- cuve propre.
- Colorimètre.
- Pastille DPD
- Eau



Figure 48 : Chloromètre. (origine ;2025)



Figure 49 : Pastilles DPD

Mode opératoire :

Nous commençons par verser 10 ml d'échantillon dans une cuve propre pour étalonner le colorimètre à 0 mg/L. Ensuite, un autre échantillon de 10 ml est mélangé avec une pastille DPD, puis placé dans le colorimètre pour lecture. Une couleur rosée apparaît, et son intensité permet de déterminer la concentration en chlore libre, exprimée en mg/L.

1.2.7-Mesure de la Dureté Total

La dureté correspond à la concentration de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}) dans l'eau. Plus ces éléments sont présents, plus l'eau est dite « dure ». Elle est exprimée en °f (degré français) ou en mg/L de CaCO_3 .

Matériel :

- Une burette
- Une solution de titrage (souvent EDTA)
- Un indicateur coloré (l'ériochrome noir T)
- Un bécher
- Tampon ph 10

Mode opératoire :

Prélever 50 mL de l'eau à analyser. Ajouter 4 mL de solution tampon pour ajuster le pH à 10, puis trois gouttes de l'indicateur noir ériochrome T. La solution prend une couleur rose foncé ou violette. En agitant doucement, verser la solution d'EDTA, d'abord rapidement, puis goutte à goutte lorsque la couleur commence à changer. Arrêter l'ajout lorsque la solution devient bleue de manière stable, même après une goutte supplémentaire d'EDTA.

La formule est : **Dureté' (°f) = $V \times C \times 1000 / V \text{ échantillon}$**

❖ V = volume d'EDTA utilisé

Chapitre 05 : matériels et M éthodes

- ❖ C = concentration de l'EDTA
- ❖ V échantillon= volume d'eau analysée

2- Paramètres hydrauliques :

Dans une station de dessalement, il est très important de suivre les paramètres hydrauliques pour assurer le bon fonctionnement de l'unité d'osmose inverse. Ces paramètres, comme le débit, la pression, la température ou la conductivité, nous aident à comprendre comment marche l'installation et à voir s'il y a un problème. Toutes ces informations sont visibles dans la salle de contrôle Honaine, où les techniciens surveillent la station grâce à un système informatique (honywell) (Ce système montre en direct les valeurs des appareils et permet de contrôler la production de l'eau.



Figure 50 : Diagramme complet du processus de dessalement affiché à la salle de contrôle(origine ;2025)

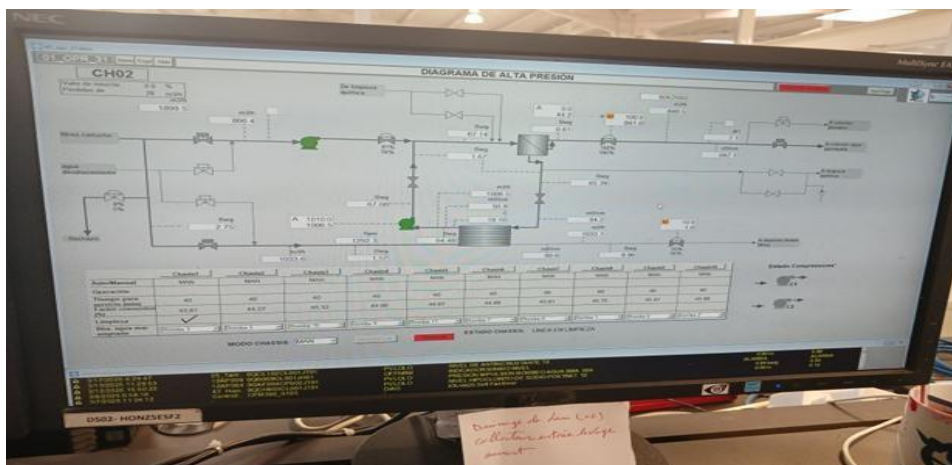


Figure 51 : schéma de contrôle du chasis (origine ;2025)

Résultats
Et
Discussions

1-Introduction :

Ce chapitre présente une analyse détaillée des données collectées au sein de la station de dessalement de Honaine sur une période d'observation de dix jours. L'objectif est d'interpréter les résultats obtenus afin d'évaluer la performance de l'unité d'osmose inverse selon deux aspects principaux : les paramètres physico-chimiques de l'eau et les paramètres hydrauliques du procédé.

2- Performances de traitement et qualité de l'eau :

L'étude des paramètres physico-chimiques constitue une étape essentielle dans l'évaluation de la qualité de l'eau à différents stades du procédé de dessalement. Ces paramètres permettent de vérifier la conformité de l'eau produite aux normes de potabilité, tout en fournissant des indications sur l'état des membranes et l'efficacité des traitements appliqués.

Dans cette partie, nous analyserons en détail des indicateurs clés tels que la conductivité, le pH, la température, la dureté, le chlore et l'indice de saturation de Langelier (LSI)

2.1- La température :

La température de l'eau est un paramètre important, affectant les propriétés de l'eau et influençant également les processus de dessalement. La figure 52 montre la variation de ce paramètre dans l'eau de mer, l'eau produite

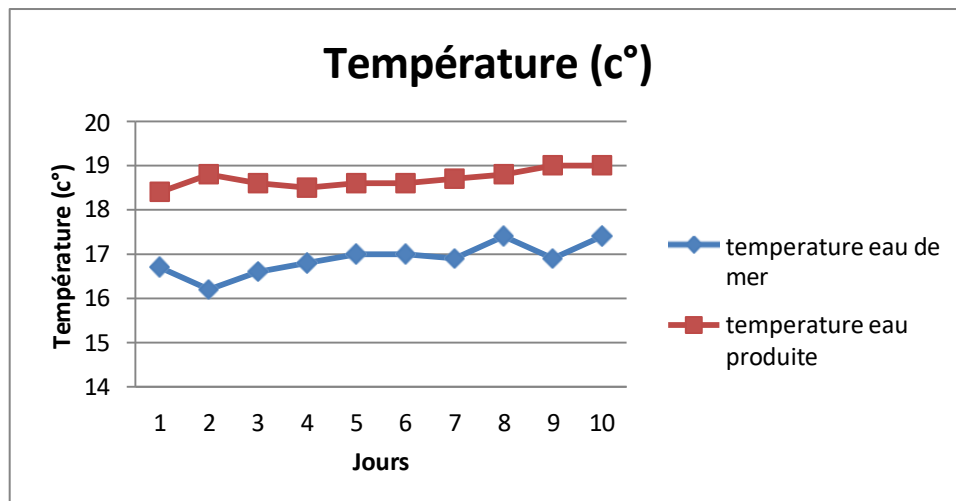


Figure 52 : Variation journalière de la température d'eau de mer et de l'eau produite

Le graphique présente l'évolution des températures de l'eau de mer et de l'eau produite lors d'un processus de dessalement, sur une période d'observation de dix jours. L'eau de mer affiche une température comprise entre 16 °C et 17 °C, reflétant une stabilité relative influencée par les conditions climatiques ambiantes. Cette plage thermique est caractéristique

Résultats Et discussions

des eaux marines côtières, où la température varie sous l'effet des échanges avec l'atmosphère.

En revanche, la température de l'eau produite présente une élévation d'environ 2 °C par rapport à celle de l'eau de mer, ce qui suggère un apport énergétique externe ou une élévation thermique liée au fonctionnement d'équipements tels que les pompes haute pression

2.2-Le pH :

Le pH est un paramètre essentiel qui permet d'évaluer l'acidité ou la basicité de l'eau. La figure 53 donne la variation du pH de l'eau de mer et de l'eau produite au niveau de la SDEM de Honaine durant la période d'étude.

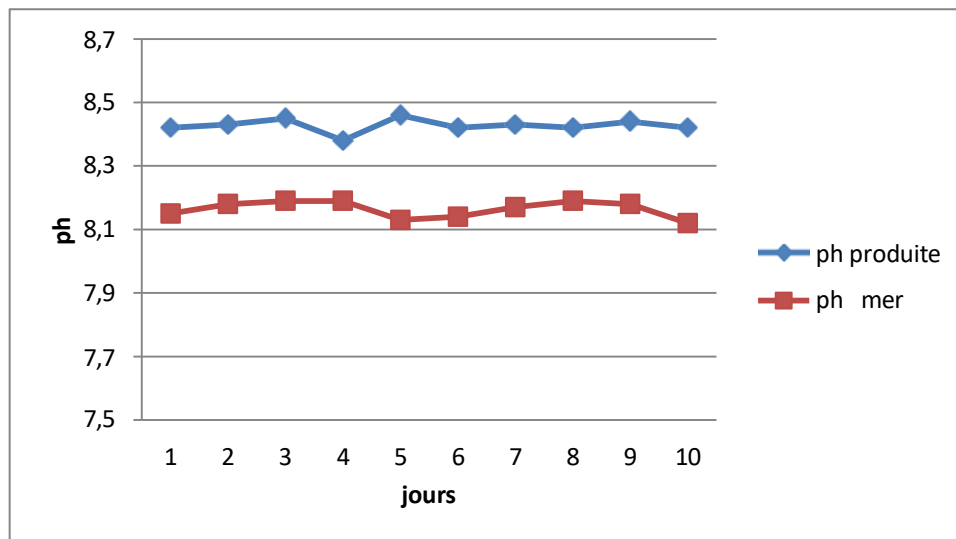


Figure 53 : Variation journalière du pH d'eau de mer et de l'eau produite

L'analyse des données révèle que le pH de l'eau produite ($\approx 8,4$) présente une légère augmentation par rapport à celui de l'eau de mer d'alimentation ($\approx 8,1$). Cette élévation du pH résulte principalement de l'étape de reminéralisation du procédé de dessalement. Durant cette phase, l'ajout de composés minéraux, tels que le carbonate de calcium (CaCO_3), induit la libération d'ions hydroxydes (OH^-) dans la solution, conduisant ainsi à une augmentation contrôlée du pH. Cette modification chimique intentionnelle permet d'établir un équilibre optimal tout en garantissant la conformité avec les normes sanitaires internationales (pH 6,5-8,5 selon l'OMS).

2.3-Matières en suspension (MES)

La matière en suspension représente les particules solides non dissoutes présentes dans l'eau. La figure 54 donne les résultats des mesures de MES de l'eau de mer alimentant la SDEM de Honaine.

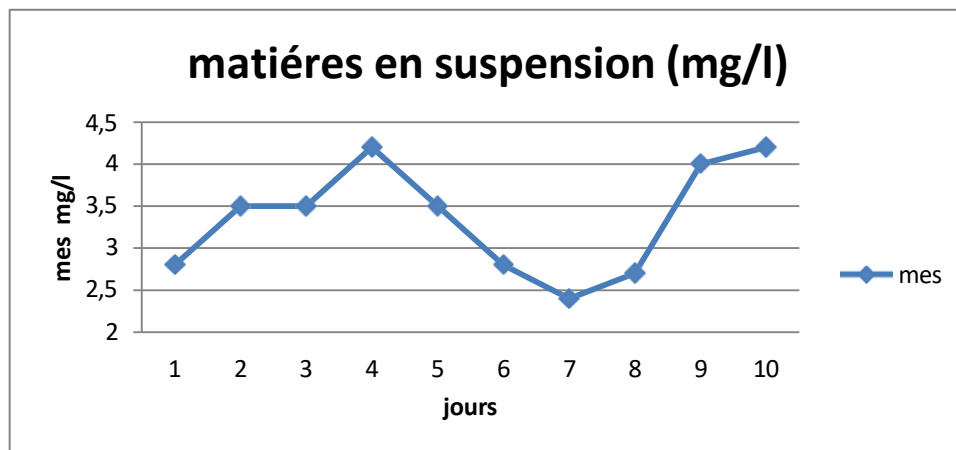


Figure 54: Variation journalière des concentrations de MES d'eau de mer alimentant la SDEM de Honaine

L'analyse des matières en suspension (MES) sur une période de 10 jours montre des concentrations allant de 2,4 à 4,2 mg/L, avec deux hausses notables observées aux jours 4 et 10. Ces légères variations peuvent être expliquées par des facteurs environnementaux tels que les vents, les courants marins ou encore de petits remous causés par les conditions climatiques. Le site de captage, principalement rocheux, limite généralement la présence de particules solides dans l'eau. Toutefois, certains dépôts peuvent être remis en suspension dans des zones irrégulières du fond marin lorsque les conditions deviennent plus agitées. Les valeurs enregistrées restent inférieures au seuil critique de 5 mg/L, ce qui montre que la qualité de l'eau brute est globalement bonne et adaptée au processus de dessalement.

2.4- La conductivité : La conductivité électrique représente la capacité de l'eau à transporter un courant électrique entre deux électrodes, La mesure de ce paramètre permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La figure 55 donne la variation de la conductivité de l'eau mer , eau produite et la saumure.

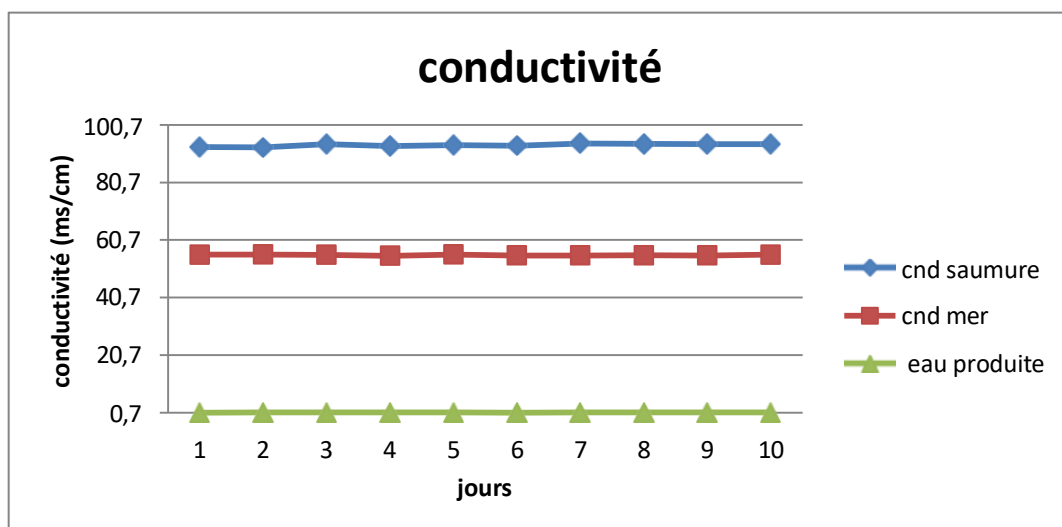


Figure 55 : Variation journalière de la conductivité d'eau de mer d'eau produite et l'eau de rejet

Résultats Et discussions

L'analyse des résultats de conductivité obtenus au niveau des différents points du système de dessalement permet d'apprécier la performance du procédé d'osmose inverse. La conductivité de l'eau de mer d'alimentation varie entre 50 et 55 mS/cm, ce qui est conforme aux valeurs habituellement observées dans les milieux marins. Après traitement, l'eau produite présente une conductivité nettement réduite, comprise entre 0.744 et 0.774 mS/cm, Ces valeurs sont inférieures au seuil de potabilité fixé à 1,5 mS/cm par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et par la norme algérienne, ce qui témoigne de la qualité de l'eau traitée et de l'efficacité du procédé de dessalement. Concernant la saumure rejetée, les valeurs mesurées se situent entre 92 et 94 mS/cm, traduisant une concentration élevée en sels résultant de la séparation membranaire. Cette concentration accrue nécessite une gestion rigoureuse du rejet afin de limiter les impacts environnementaux, notamment sur le milieu marin récepteur.

2.5- Dureté :

La figure 56 donne la variation de la dureté de l'eau produite par la station de Honaine

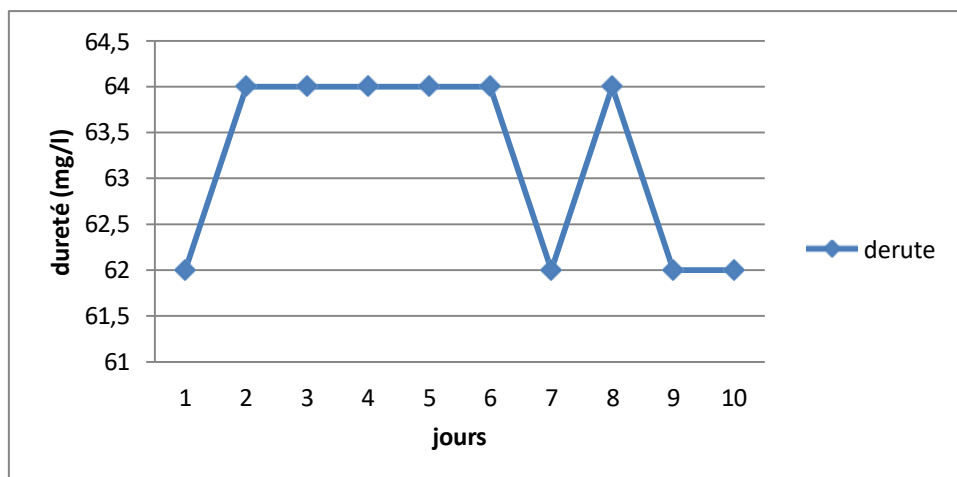


Figure 56: Variation journalière de la concentration de la dureté au niveau de la station

Les mesures de la dureté de l'eau produite, qui varient entre 62 et 64 mg/l en CaCO_3 , sont bien inférieures au seuil limite de 200 mg/l fixé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ainsi que par la norme algérienne pour l'eau potable. Ces résultats indiquent que l'eau produite présente une dureté relativement faible, ce qui est favorable non seulement pour la consommation humaine, mais également pour la protection des installations. En effet, une faible dureté réduit les risques de formation de dépôts de tartre dans les canalisations, les équipements et les membranes, ce qui contribue au bon fonctionnement du système, prolonge la durée de vie des installations et diminue les besoins en maintenance.

Résultats Et discussions

2.6-. Le chlore :

Le chlore présent dans l'eau traitée après désinfection garantit une bonne qualité microbiologique sans dépasser les limites recommandées. La figure 57 présente la concentration du chlore dans l'eau traitée

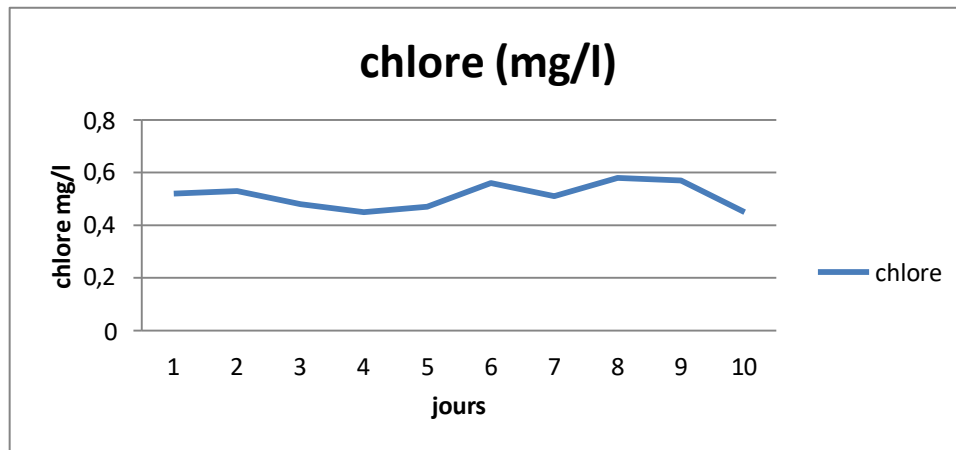


Figure 57 : Variation journalière de la concentration de Cl₂ d'eau traitée

Les concentrations en chlore résiduel mesurées dans l'eau traitée varient entre 0,45 et 0,58 mg/l. Ces valeurs restent dans une plage globalement acceptable selon les recommandations internationales, assurant la qualité sanitaire de l'eau produite et indiquant une maîtrise satisfaisante des traitements appliqués.

2.7-. L'indice de Langelier :

L'indice de Langelier est un paramètre chimique permettant d'évaluer la stabilité de l'eau vis-à-vis du carbonate de calcium. Il permet de déterminer si l'eau a tendance à dissoudre les dépôts (eau corrosive), à rester en équilibre, ou à former du tartre. Figure 58 présente les valeurs de l'indice de Langelier (LSI) observés sur l'eau produite

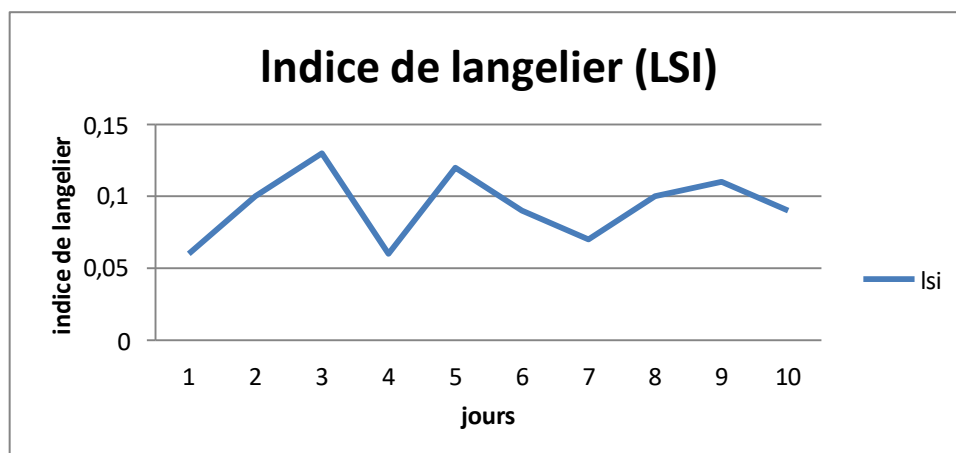


Figure 58 : Variation journalière de de l'indice de Langelier (LSI) au niveau de la station

Résultats Et discussions

Les valeurs de l'indice de Langelier (LSI) mesurées varient entre 0,06 et 0,13, ce qui se situe dans les normes fixées par la station (entre 0 et 0,4). Ces résultats indiquent que l'eau produite est bien équilibrée, sans tendance notable à la formation de dépôts ou à la corrosion. Ces valeurs conformes aux normes assurent la stabilité du système, protégeant ainsi les Installations tout en garantissant une performance optimale.

3-Performances de fonctionnement hydraulique :

Les paramètres hydrauliques traduisent le comportement dynamique du système de dessalement et reflètent directement la performance opérationnelle de l'unité d'osmose inverse. Leur analyse permet de détecter toute instabilité, de contrôler le rendement global du procédé, et d'anticiper d'éventuelles anomalies fonctionnelles. Cette section sera consacrée à l'interprétation approfondie de paramètres tels que le taux de conversion, le taux de rejet, le débit de perméat, le débit de saumure, la pression différentielle,.....

3.1-Taux de conversion :

Le taux de conversion dans le contexte de l'osmose inverse désigne généralement l'efficacité du processus de séparation entre l'eau dessalée et l'eau concentrée (saumure). Il est exprimé en pourcentage et donné par la formule suivante :

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

La figure 59 présente les variations du taux de conversion de rack 1 au niveau de la SDEM de Honaine.

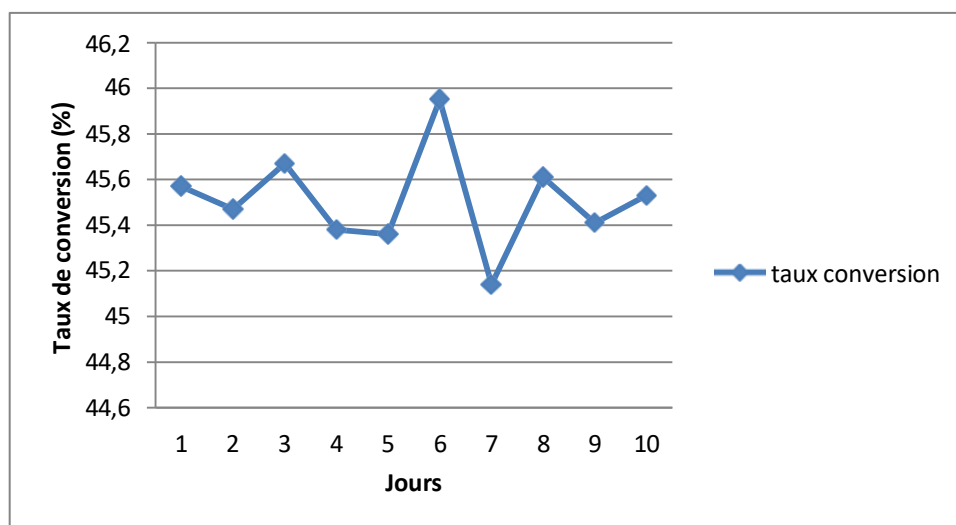


Figure 59: Variation du taux de conversion de chaque rack de la SDEM de honaine

Résultats Et discussions

Le graphique présente l'évolution du taux de conversion dans la station de honaine sur une période de 10 jours. On observe une certaine stabilité globale autour de la moyenne de 45,5% , avec quelques fluctuations modérées. Les valeurs varient entre un minimum d'environ 45,2 % et un maximum de 45,9 %.

3.2-pression différentielle :

La pression différentielle est la différence de pression mesurée entre l'entrée et la sortie d'un module de membranes d'osmose inverse. Elle s'exprime généralement en bars et constitue un indicateur essentiel de l'état de fonctionnement des membranes.

Il est donné par la relation suivante : $\Delta P = P_{\text{entrée}} - P_{\text{sortie}}$

la figure 60 donne la variation de la pression différentielle dans la station de honaine .

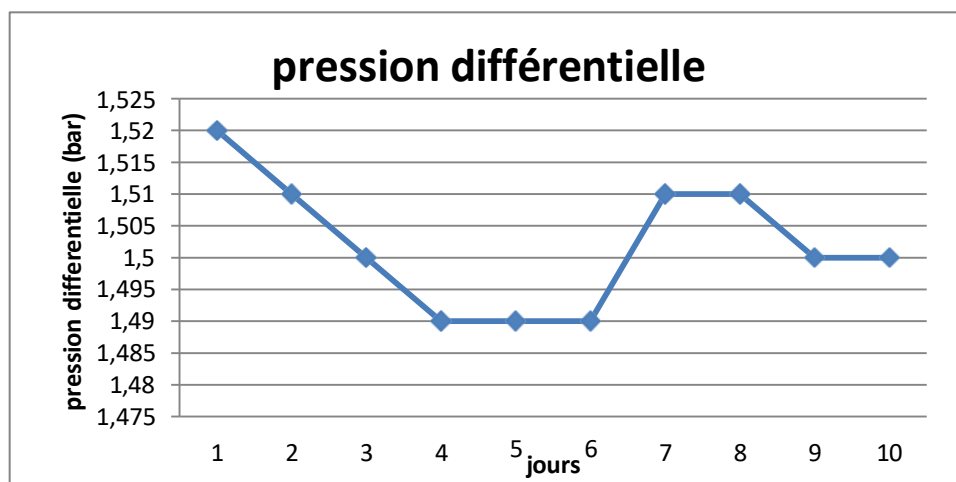


Figure 60 : la variation journalière de la pression différentielle dans la station de honaine

Les mesures de pression différentielle, comprises entre 1,49 et 1,52 bar sur 10 jours, indiquent un fonctionnement stable et efficace du système d'osmose inverse. La légère tendance à la baisse suggère une bonne gestion des membranes, sans signe d'encrassement critique. Ces valeurs, bien en dessous du seuil d'alerte (généralement fixé à 1,6–1,8 bar).

3.3-débit de la saumure et du perméat :

L'étude des débits de saumure et de perméat révèle des caractéristiques hydrauliques remarquables du système. la figure 61 donne la variation des débits journaliers de la saumure et du perméat sur une période de dix jours d'un seul chasis (rack).

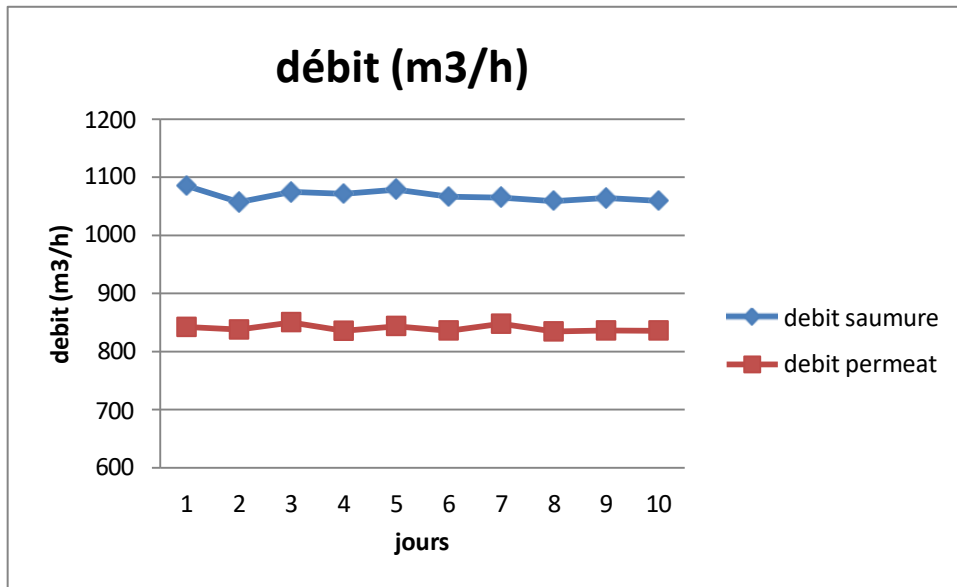


Figure 61 : la variation des débits journaliers de la saumure et du perméat sur une période de dix jours d'un seul chasis

L'observation des débits journaliers de la saumure et du perméat sur une période de dix jours dans la station de dessalement de Honaine met en évidence une stabilité globale du système d'osmose inverse. Le débit de la saumure varie légèrement entre 1060m³/h et 1085m³/h, tandis que celui du perméat se maintient entre 835m³/h et 850m³/h. Cette régularité indique un fonctionnement équilibré, sans perturbations majeures, et reflète une bonne performance des membranes.

3.4- L'indice de colmatage (SDI) :

Le SDI est un test simple qui mesure la quantité de particules dans l'eau pouvant boucher les membranes. La figure 62 montre la variation de SDI dans la station de Honaine

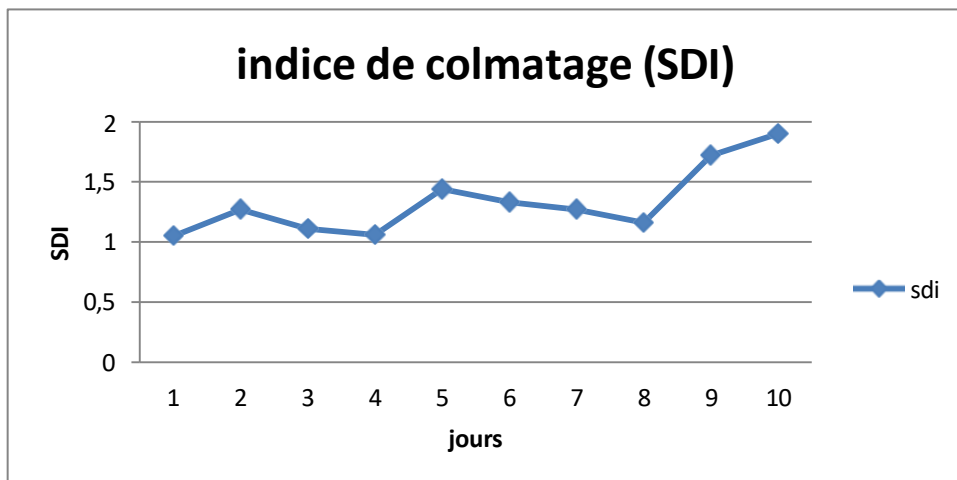


Figure 62 : Variation journalière de l'indice de colmatage au niveau de la station

Résultats Et discussions

L'étude des valeurs de SDI sur une période de 10 jours révèle une qualité d'eau globalement excellente pour l'osmose inverse, avec des valeurs comprises entre 1,05 et 1,90. Ces résultats, tous inférieurs au seuil critique de 3, démontrent l'efficacité constante des étapes de prétraitement dans l'élimination des matières en suspension et colloïdales.

3.5-Taux de rejet :

Le taux de rejet représente le pourcentage de sels retirés par la membrane. Il se calcule généralement avec la formule suivante :

$$\text{Taux de rejet (\%)} = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100$$

La figure 63 présente le taux de rejet total de la station

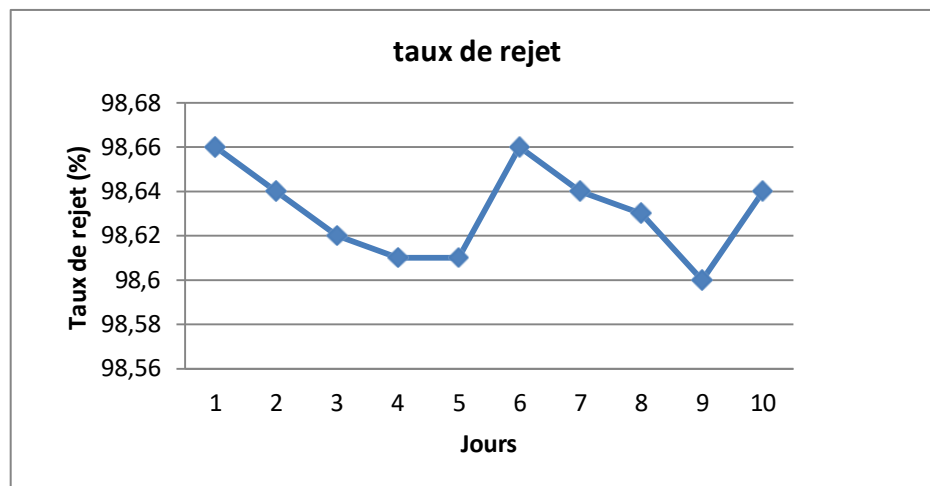


Figure 63 : Variation journalière de taux de rejet total de la station

L'évaluation du taux de rejet sur une période de dix jours montre des valeurs comprises entre 98,60 % et 98,66 %. Ces résultats dépassent largement le seuil minimal de performance généralement attendu (95 %), ce qui reflète un état de propreté et d'intégrité des membranes satisfaisant, conforme aux standards de qualité dans le domaine du dessalement.

4- Analyse des impacts environnementaux de la station de dessalement de Honaine:

Bien que les stations de dessalement présentent des avantages techniques indéniables, notamment en matière de sécurité hydrique et de réponse à la demande croissante en eau, leur fonctionnement n'est pas sans conséquences sur l'environnement.

Résultats Et discussions

En l'absence de systèmes efficaces de gestion des rejets saumâtres et des produits chimiques utilisés dans le processus, ces installations peuvent engendrer des déséquilibres importants dans les écosystèmes côtiers.

Dans ce contexte, plusieurs chercheurs se sont penchés sur le cas de la station de dessalement de Honaïne, en menant des études qualitatives et expérimentales visant à évaluer ses effets environnementaux potentiels. Ces travaux ont mis en évidence que les rejets issus de l'osmose inverse peuvent altérer les propriétés physiques et biologiques du milieu marin.

L'étude d'Allam et Mellah (2013) a adopté une approche qualitative, mettant en lumière les risques liés à la composition des rejets. Ces derniers présentent des teneurs élevées en sels, en métaux lourds, ainsi qu'en résidus chimiques utilisés dans les étapes de prétraitement, notamment le chlore, les flocculants et les antitartres. Les auteurs ont relevé plusieurs impacts notables :

- La dégradation des fonds marins due à l'accumulation de sels
- La diminution de la biomasse planctonique
- La réduction de la biodiversité marine
- Des effets physiologiques sur les macrophytes, tels que des perturbations de la croissance, de la photosynthèse et de la reproduction.

L'étude insiste sur la nécessité d'adopter des stratégies de gestion plus durables, telles que l'implémentation de systèmes Zero Liquid Discharge (ZLD), ainsi que l'établissement d'un programme rigoureux de surveillance environnementale continue.

Quant à l'étude de Mehtougui et al. (2021), elle s'est appuyée sur des analyses physico-chimiques expérimentales, comparant les caractéristiques de l'eau de mer brute (M) à celles des rejets (R) issus de la station de Honaïne. Les résultats de cette comparaison sont synthétisés dans le tableau 9 :

:

Résultats Et discussions

Tableau 9 : Résultats des analyses physico-chimique (Mehtougui et al. 2021)

Paramètres	Station de honaine		Normes
	R	M	
pH	8.22	8,8	7,5-8,4
Conductivité US/cm	59000	42000	49000
T °C	23	20	30
Salinité mg/l	36750	34900	35500
TH (Dureté totale) mg/l	10 000	7200	
Calcium mg/l	2060	1500	453
Magnésium mg/l	8200	5780	1.30
Phosphate mg/l	0,2	1,4	
Sulfates mg/l	4100	3070	
Chlorures mg/l	42900	21650	21500
Sodium mg/l	11690	14500	
SDT (sels dissous totaux) mg/l	13625	13600	
No₃ nitrates (mg/l)	4,5	43	
No₂ nitrites (mg/l)	0,039	2,68	

Ces résultats révèlent des concentrations élevées en sels et en minéraux dans les rejets, dépassant les seuils recommandés. L'eau rejetée est ainsi classée parmi les effluents à forte salinité, pouvant entraîner des effets osmotiques néfastes sur les organismes marins, en particulier les espèces les plus sensibles.

De plus, l'étude souligne que le pompage de l'eau de mer constitue à lui seul une pression environnementale, en aspirant involontairement du microplancton et des organismes vivants, perturbant ainsi la chaîne trophique dès sa base.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Conclusion générale :

Le dessalement de l'eau de mer est un processus qui consiste à transformer l'eau salée provenant de la mer en eau douce, potable et utilisable pour diverses fins. Ce procédé est une solution moderne et efficace adoptée par de nombreux pays, notamment ceux qui souffrent du manque de ressources en eau douce

En Algérie, plusieurs projets majeurs ont été mis en place dans le domaine du dessalement, avec 19 stations de dessalement opérationnelles jusqu'en 2025 le long du littoral. Parmi ces projets, la station de dessalement de Honaine représente un modèle important parmi les nombreuses stations récentes. Cette station dotée d'une capacité de production de 200 000 m³/jour, elle alimenter 23 communes de la wilaya de Tlemcen en eau potable, contribuant ainsi de manière significative à la sécurité hydrique de la région. La station utilise la technologie de l'osmose inverse, et intègre plusieurs étapes de traitement physique et chimique visant à garantir une qualité optimale de l'eau produite.

Dans ce travail, nous avons étudié en détail le fonctionnement de la station de Honaine, en analysant les paramètres physico-chimiques de l'eau brute et produite et en évaluant certains paramètres hydrauliques.

Les analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau produite ont révélé une qualité globalement conforme aux normes établies.

Le pH de l'eau de mer est resté relativement stable autour de (8.1), tandis qu'une légère hausse a été observée dans l'eau traitée après re-minéralisation, atteignant environ (8.4). Cette élévation du pH résulte principalement de l'étape de re-minéralisation. Concernant les matières en suspension (MES), les concentrations mesurées étaient faibles, comprises entre (2.4) et (4.2) mg/L. Ces faibles valeurs témoignent de l'efficacité du prétraitement dans la protection des membranes contre le colmatage.

La dureté de l'eau produite a été évaluée entre (62) et (64) mg/L en CaCO₃, L'indice de Langelier relevé varie entre (0.06) et (0.13), restant toujours dans les limites prévues pour éviter toute corrosion ou incrustation dans le réseau.

La concentration en chlore dans l'eau distribuée est restée dans la plage de (0.45) à (0.58) mg/L, assurant une désinfection adéquate sans dépasser les seuils tolérés. Les paramètres hydrauliques mesurés tout au long du processus de dessalement ont permis d'évaluer la performance de l'installation et la stabilité de son fonctionnement

Conclusion générale :

Le taux de conversion du système a été estimé à environ (45.5 %), ce qui indique une efficacité énergétique correcte et une récupération d'eau satisfaisante par rapport au volume d'eau brute traitée. et un taux de rejet entre (98,60 %) et (98,66 %).

Enfin, Les résultats obtenus ont montré que l'eau dessalée est conforme aux normes de potabilité en vigueur, ce qui témoigne de l'efficacité du système de traitement. Cependant, cette performance technique ne doit pas occulter les enjeux environnementaux associés, notamment ceux liés aux rejets et aux résidus chimiques utilisés dans le processus. Il devient donc indispensable de promouvoir une gestion durable des effluents, afin d'assurer une production d'eau potable qui soit non seulement efficace, mais également respectueuse de l'équilibre des écosystèmes marins.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques :

1. Abderrazak A (2014). *Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honâine*. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers, Département de biologie, Tlemcen.
2. Akili D. Khawaji et al. (2008). *Advances in seawater desalination technologies*. European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Sani Resort, vol. 221, issues 1–3, pp. 47–69.
3. Alain M (2006). *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres*. 2^e édition, 286 p.
4. Algerian of Water (2012). *Desalination of seawater*, Alger.
5. Al-Karaghoul A. & Kazmerski L. L. (2013). "Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 343–356. doi: 10.1016/j.rser.2012.12.064.
6. Allam H. & Mellah A. (2013). *Étude économique et impact écologique de la station de dessalement de Honâine*. Département d'écologie et environnement, Université de Tlemcen & École nationale polytechnique EPA, Alger.
7. Amitouche M. (2016). *Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur*. Thèse de doctorat en sciences en hydraulique, Université de Biskra.
8. Amoura C & Toumi R (2020). *Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse*. Mémoire de fin d'étude, Université Badji Mokhtar – Annaba.
9. Anna C & Jia-Qian J (2020). *Filtration process and alternative filter media material in water treatment*. Glasgow Caledonian University, Scotland.
10. Anonyme (2012). *L'électrodialyse première technique membranaire*. [En ligne]. Disponible sur : <http://tpebdmw.e-monsite.com/pages/ii-les-atouts-et-les-limites/b-l-hydrolyse.html> [Consulté le 12/04/2019].
11. Arzate A. (2008). *Procédé de séparation membranaire et leurs applications dans l'industrie alimentaire*. Revue de littérature, Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc.
12. 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.
13. Ayad A. F & Bensaoula M. S (2019). *Étude des performances de fonctionnement d'une station de dessalement d'eau de mer : cas de la SDEM de Honâine*. Mémoire de fin d'étude, Faculté de technologie, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen.
14. B. J. R. G. M., Thomas M. Missimer (2015). *Intakes and outfalls for seawater reverse-osmosis desalination facilities*. Springer.
15. Balasubramanian P. (2013). A brief review on best available technologies for reject water (brine) management in industries. *Journal of Environmental Science*, 3, 2010–2018.
16. Ben Belkacem M., Belaid M. A. (2013). *Contribution à l'étude de régénération des membranes et des filtres à laine d'une station de dessalement de l'eau de mer*. Mémoire de master, Université de Tizi-Ouzou, Département de chimie.
17. Berg L. R., Raven P., Hassenzahl D.-M. (2015). *Environnement*. 1^{re} édition, De Boeck Université, Bruxelles.

BIBLIOGRAPHIE

18. 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 rural et de la forêt, France.
19. Bleninger T. & Jirka G. H. (2010). Environmental planning, prediction and management of brine discharges from desalination plants. Final report, MEDREC Project: 07-AS-003, Muscat, Sultanate of Oman.
20. Boudjadja A., Messahel M., Pauc H. (2003). Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Revue des sciences de l'eau – Journal of Water Science*, 16, 285–304. <https://doi.org/10.7202/705508ar>
21. Boye H. (2008). Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée. Plan Bleu, Centre d'activité régional, Conseil général de l'environnement et du développement durable.
22. Brahimi A. & Hamdi H. (2010). Contrôle de qualité et évaluation du processus de dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse (station de dessalement de Bou Ismail, W. Tipaza). Mémoire d'ingénieur, Université Saad Dahlab de Blida, Algérie.
23. Bureau régional de l'UNESCO pour l'Afrique de l'Est (2020). (Référence incomplète – à compléter si possible).
24. Chenaoui B. (2010). Dessalement de l'eau de mer à la station de Mainis et son impact sur l'environnement. Séminaire Ouargla, Université de Chlef.
25. Cooley H., Gleick P. H. & Wolff G. (2006). Desalination, with a grain of salt: A California perspective. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, Oakland, California.
26. Corsin P. & Cedric M. (2003). *Les pompes hautes pression adaptées aux usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse, le thème du mois : les pompes*. La revue : L'eau, l'industrie, les nuisances, n°265.
27. Dahmani T. (2017). *Étude computationnelle de la déminéralisation des eaux par osmose inverse*. Mémoire de master, Chimie physique et analytique, Université (non précisée).
28. Danis P. (2003). *Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'ingénieur*, J 2700. Numéro spécial de *Science et Vie* sur l'eau, n°211, juin 2000.
29. Dawoud M. & Al Mulla Mohamed M. (2012). *Environmental impacts of seawater desalination: Arabian Gulf case study*. *International Journal of Environment and Sustainability*, vol. 1, n°3, pp. 22–37.
30. Degremont G. (2005). *Mémento technique de l'eau*, tome 1, 10^e édition, Tec & Doc, pp. 3–38.
31. Dib F. Z (2021). *Application du modèle hydrologique GARDENIA sur le bassin versant de l'oued Sebdou (NW Algérien)*. Université de Tlemcen.
32. Djaffar S & Kettab A (2015). *Laboratoire de recherches en sciences de l'eau (LRS-EAU)*, École nationale polytechnique, 10 avenue Hassen Badi, B.P. n°182, El Harrach, Alger, Algérie.
33. Einav R., Hamssib K. & Periyb D. (2002). *The footprint of the desalination processes on the environment*. *Desalination*, vol. 152, pp. 141–154.
34. El Khabbaze H. (2008). *Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nanofiltration et d'osmose inverse*. Thèse de doctorat en chimie, Université Mohamed V Agdal, Faculté des sciences, Rabat, Maroc.
35. *Étude de danger de la SDEM Honaine* (2014). Élaborée par le bureau d'étude NEE, approuvée par le ministère de l'environnement.
36. Fella M & Ihcene B (2022). *Automatisation et supervision d'une station de dessalement*. Mémoire de fin d'étude, École nationale polytechnique d'Alger, Département d'automatique. Sous la direction de Pr. El Madjid Berkouk.

BIBLIOGRAPHIE

37. Fellah L (2012). *Prétraitement de l'eau de mer par coagulation-floculation utilisant le chitosane en vue de son dessalement*. Mémoire de fin d'étude, École nationale polytechnique d'Alger, Département de génie environnement.
38. Fernández-Torquemada Y. & Sánchez-Lizaso J. L. (2013). *Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica (L.) Delile*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 119, pp. 64–70.
39. Fernández-Torquemada Y. & Sánchez-Lizaso J. L. (2013). *Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica (L.) Delile*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 119, pp. 64–70.
40. Gaujour D. (1995). *La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire*. 2^e édition, Lavoisier, p. 49.
41. Gonzalez Sanchez D. et al. (2020). *Water resources and their management in Africa: challenges and opportunities*. [Titre exact et éditeur à vérifier dans la source originale].
42. Groupe scientifique sur l'eau (2003). *Fiche nitrates/nitrites*, p. 1.
43. Guilbert L. (s.d.). *Analyse de la dureté de l'eau*. Projets d'intégration des sciences et des technologies en enseignement au secondaire.
44. Habet L (2010). *Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement : cas du littoral de Boumerdes*. Thèse de magister, Traitement des effluents industriels, Génie de l'environnement, Université de Boumerdes.
45. Haslay C. & Leclerc H. (1993). *Microbiologie des eaux d'alimentation*. Technique et documentation, Lavoisier, Paris.
46. Helal A. M. (2004). *Optimal design of hybrid RO, MSF desalination plants*. *Desalination*, vol. 160, pp. 13–27.
47. Hoepner T. & Lattemann S. (2003). *Chemical impacts from seawater desalination plants: a case study of the northern Red Sea*. *Desalination*, vol. 152, pp. 133–140.
48. Huot A. (2010). *Eau et santé*. *La revue Biocontact*, n°200.
49. Jenkins S. A. et al. (2013). *Management of brine discharge to coastal water: recommendations of science advisory panel*. Southern California Coastal Water Research Project, Technical Report n°694.
50. Karabi N & Guennoun K (2019). *Étude comparative entre deux techniques de déminéralisation des eaux : osmose inverse et électrodialyse dans la région de Ouargla*. Mémoire de fin d'étude, Université Kasdi Merbah Ouargla, Faculté des sciences appliquées, Département de génie civil et hydraulique.
51. Kemmer F. N. (1984). *Manuel de l'eau*. Technique & documentation, Lavoisier. ISBN 2-85206-220-8.
52. Khaldi A. (2018). *Dessalement de l'eau de mer et impacts environnementaux : cas de la station d'El-Mactaâ*. Département d'hydraulique, Université des sciences et technologie Mohamed Boudiaf El Mnaouer.
53. Kucera J. (2015). *Osmosis: industrial processes and applications*. 2^e édition.
54. Larbi N. H & Saadaoui S (2019). *Impact environnemental de la station de dessalement de l'eau de mer de Sonachter (wilaya de Mostaganem)*. Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
55. Lattemann S. & Höpner T. (2008). *Environmental impact and impact assessment of seawater desalination*. *Desalination*, vol. 220, n°1–3, 15 p.

BIBLIOGRAPHIE

56. Luis J. & Talavera P. (2009). *Aspects techniques, financiers et économiques des divers procédés de dessalement des eaux*. Séminaire international : *Le dessalement des eaux : une opportunité pour les régions en pénurie d'eau ?*, 8–10 mai 2009, Tanger : AIGR, pp. 37–60.
57. Mandri Y. (2011). *Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide*. Thèse de doctorat, Génie des procédés, Université Claude Bernard Lyon 1, n° d'ordre : CT12.
58. Maurel A. (2006). *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce*. 2^e éd., Lavoisier, Tec & Doc, Paris.
59. Mehtougui M. S, Baaloudj A & Kerfouf A (2021). *Le dessalement d'eau de mer dans la wilaya de Tlemcen (ouest algérien) : quel impact sur l'environnement ?* Laboratoire d'éco-développement des espaces, Université Djilali Liabès, Sidi Bel Abbès ; Laboratoire biologie, eau et environnement, Université 8 Mai 1945, Guelma, Algérie.
60. Mens & Derouane (2000). *État des nappes de l'eau souterraine de Wallonie*. [Détails de publication non précisés].
61. Missimer T. M., Jones B. & Maliva R. G. (éds.) (2015). *Environmental science: intakes and outfalls for seawater reverse-osmosis desalination facilities – innovations and environmental impacts*. Springer. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.springer.com/series/3234>
62. Morvan G. (2006). *Les techniques de potabilisation de l'eau, dessalination, dessalement, traitement de l'eau saumâtre*. Nancy.
63. Amitouche M (2016). *Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur*. Thèse de doctorat en sciences, Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, Faculté des sciences et de la technologie.
64. Mustapha B. (2017). *L'eau : de la pénurie aux maladies*. [Détails de publication non précisés].
65. NRC – National Research Council (2008). *Desalination: a national perspective*. Committee on Advancing Desalination Technology, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, National Academies Press.
66. OMS – Organisation mondiale de la santé (1994). *Protection et amélioration de la qualité de l'eau*. 2^e édition, vol. 1, Genève.
67. Organisation mondiale de la santé (OMS) & Fonds des Nations unies pour l'enfance (UNICEF) (2019). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2017: special focus on inequalities*. WHO & UNICEF, Genève.
68. Patel S. & Romain L. (2013). *Sampling and analysis of natural water*. Université de Genève, p. 11.
69. Patier X. & Blanchon D. (2010). *Documentation photographiques, n°8078, L'eau, une ressource menacée*. La Documentation française, Paris, 63 p.
70. Patrick D. (2003). *Dessalement de l'eau de mer. Revue Techniques de l'ingénieur*. [Détails à compléter].
71. PNUE – Programme des Nations unies pour l'environnement (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*. UNEP (DEC)/MED WG.183/Inf.6, Athènes.
72. Programme des Nations unies pour l'environnement (2002). *Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives*. Earthscan Publications, Londres.
73. Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau. (Détails de publication manquants).
74. Ramade F. (2003). *Éléments d'écologie : écologie fondamentale*. 3^e édition, Dunod, Paris.
75. Rapinat M. (1982). *L'eau*. Presses universitaires de France, 1^{re} édition, ISBN 2-13-037562-6, 127 p.

BIBLIOGRAPHIE

76. Rashad D. (2007). *Desalination plants: potential impacts of brine discharge on marine life*. Final Project, The University of Sydney, Australie.
77. Rodier J. (2005). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. 8^e édition, Dunod, Paris.
78. Rodier J. (2009). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. 9^e édition, Dunod, Paris.
79. Sabri Z. A., Laggan G. P. & Hagenon R. (1980). *Safety and environmental impact of fossil-fueled desalination plants*, vol. 1, p. 99.
80. Sadi A. (2000). *Le dessalement solaire : considérations techniques*. Centre de développement des énergies renouvelables, Bouzaréah, Alger.
81. 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 (juin), Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, pp. 237–262.
82. 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, pp. 14, 19.
83. Satin M. & Selmi B. (1999). *Guide technique de l'assainissement*. 2^e édition, Le Moniteur, p. 75.
84. Savary P. (2010). *Guide des analyses de la qualité de l'eau*. Édition Territorial, p. 75.
85. Sigg L. et al. (2000). *Chimie des milieux aquatiques : chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement*. Éditions Dunod, 567 p.
86. Société publique de gestion de l'eau. (s.d.). *L'eau sous différentes formes*. [Détails de publication manquants].
87. Surfrider Foundation (2010). *Développement durable et protection de l'environnement, depuis 1958*. Agadir, Maroc.
88. Swift A. H. P. & Lu H. (2002). *Zero discharge waste brine management for desalination plants*. University of Texas El Paso, DRDP Report No. 89, décembre 2002.
89. Tahraoui D. N. (2010). *Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténès (Chlef) et impact sur l'environnement (milieu aquatique)*. WATMED5, Lille, France.
90. Tansakul C. (2009). *Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse*. Thèse de doctorat, Génie des procédés et de l'environnement, Université de Toulouse.
91. UNEP – Programme des Nations unies pour l'environnement (2001). (07 mai). [Détails de titre incomplets – à vérifier ou compléter].
92. UNEP/MAP (2003). *Dessalement de l'eau de mer en Méditerranée : évaluation et lignes directrices*. MAP Technical Reports Series, n°139, Athènes.
93. [Répétition ou fragment du précédent – fusionné avec 93].
94. UNESCO – Regional Office for Eastern Africa (2020). *Water resources distribution in Africa: challenges and solutions*. UNESCO.
95. Viviane R (s.d.). *Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres*. Centre national de la recherche.
96. Wever P. D. (2015). *L'eau de la vie*. EDP Sciences, Les Ulis.

BIBLIOGRAPHIE

WEBOGRAPHIE :

- a. BEI ERE (2009–2010). *Procédé de dessalement par distillation à multiples effets (MED)*. [En ligne]. Disponible sur : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0910/bei/beiere/groupe2/node/75.html>
- b. Sacyr Infraestructuras. *Châssis à membrane de l'usine de dessalement de Honaine – Teclem Honaine SWRO Desal Plant*. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.sacyrinfraestructuras.com/en/teclm-houanine-swro-desal-plant>
- c. El-Djezairi. *Unité osmose inverse Honaine*. [Publication sur X]. Consulté sur : <https://x.com/eldjezairii/status/1872023070757499045>
- d. El-Djezairi. *Station de dessalement de Honaine, Wilaya de Tlemcen*. [Publication sur X]. Consulté sur : <https://x.com/eldjezairii/status/1872023070757499045>
- e. SlidePlayer (s.d.). *Présentation sur le dessalement de l'eau de mer*. [En ligne]. Disponible sur : <https://slideplayer.fr/slide/17886999/>

Annexes

Annexe 1 : les résultats des analyses hydrauliques

paramètres	1 er jour	2 éme jour	3 éme jour	4 éme jour	5 éme jour	6 éme jour	7 éme jour	8 éme jour	9 éme jour	10 éme jour
taux de conversion	45,57	45,47	45,67	45,38	45,36	45,95	45,14	45,61	45,41	45,53
pression différentielle	1,52	1,51	1,51	1,5	1,49	1,49	1,51	1,51	1,5	1,52
débit de saumure	1084,99	1056,83	1074,48	1071,63	1078,67	1066,31	1064,92	1058,94	1064,09	1059,14
débit de permeat	841,95	837,72	850,11	835,47	843,32	835,83	847,62	834,22	836,11	835,84
pression d'entrée	63,53	63,62	64,03	63,29	63,46	63,06	63,69	63,11	63,07	63,1
pression de sortie	0,84	0,84	0,84	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84

Annexe 2 : les analyses physico chimiques au niveau de la station

BULLETIN ANALYSE EAU PRODUITE									
Nombre racks en marche	Dureté T(mg-CaCO3)	Alcalinité (mg/l)	LSI	Chlore (mg/l)	pH	Température eau (°C)	Conductivité	TDS	Turbidité
10	62	51	0,06	0,52	8,42	18,4	744	372	0
10	64	52	0,1	0,53	8,43	18,8	756	378	0
10	64	54	0,13	0,48	8,45	18,6	764	382	0
10	64	54	0,06	0,45	8,38	18,5	766	383	0
10	64	54	0,12	0,47	8,46	18,6	770	385	0
10	64	52	0,09	0,56	8,42	18,6	748	374	0
10	62	51	0,07	0,51	8,43	18,7	754	377	0
10	64	53	0,1	0,58	8,42	18,8	758	379	0
10	62	55	0,11	0,57	8,44	19	774	387	0
10	62	54	0,09	0,45	8,42	19	754	377	0

BULLETIN ANALYSE EAU DE MER							
PH	Température (°C)	Conductivité	TDS	Turbidité	MES	Redox	SDI (Sortie filtres à cartouches)
8,15	16,7	55,6	38920	0,57	2,8	246	1,05
8,18	16,2	55,64	38948	0,42	3,5	251	1,27
8,19	16,6	55,53	38871	0,5	3,5	270	1,11
8,19	16,8	55,23	38661	0,49	4,2	270	1,06
8,13	17	55,31	38717	0,39	3,5	260	1,44
8,14	17	55,66	38962	0,33	2,8	257	1,33
8,17	16,9	55,34	38738	0,39	2,4	241	1,27
8,19	17,4	55,32	38724	0,3	2,7	234	1,16
8,18	16,9	55,39	38773	0,33	4	253	1,72
8,12	17,3	55,3	38710	0,57	4,2	260	1,73

Annexe 3 : Normes de l'OMS sur l'eau potable

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobie)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	< < 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 - 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l

Annexe 4 : Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine (norme algérienne)

GROUPES DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITED	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°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 en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Concentration en ions hydrominéral	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2000
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	g/l
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Résumé

Cette étude porte sur le fonctionnement d'une station de dessalement d'eau de mer, en plus de l'analyse du procédé de dessalement lui-même, à travers la réalisation d'analyses physico-chimiques et hydrauliques sur une période de dix jours. Elle a été menée au niveau de la station de Honaine, dans la wilaya de Tlemcen, qui utilise la technologie de l'osmose inverse. Les résultats obtenus durant cette période montrent que l'eau produite est conforme aux normes de potabilité : un pH compris entre 8,1 et 8,4, une faible concentration de matières en suspension, un indice de Langelier équilibré, et une teneur en chlore libre respectant les recommandations. Sur le plan hydraulique, le système présente de bonnes performances avec un taux de conversion de 45,5 % et un taux de rejet supérieur à 98 %. Par ailleurs, l'étude met en évidence l'impact environnemental global de la station sur l'écosystème.

Mots clés : Dessalement, osmose inverse, qualité de l'eau, environnement, Honaine

Abstract:

This study focuses on the operation of a seawater desalination plant, in addition to analyzing the desalination process itself, through physico-chemical and hydraulic evaluations over a ten-day period. It was conducted at the Honaine plant, in the wilaya of Tlemcen, which uses reverse osmosis technology. The results obtained during this period show that the produced water meets drinking water standards: a pH between 8.1 and 8.4, low suspended solids concentration, a balanced Langelier index, and appropriate levels of free chlorine. From a hydraulic perspective, the system exhibited good performance with a conversion rate of 45.5% and a rejection rate above 98%. Moreover, the study highlights the overall environmental impact of the plant on the ecosystem.

Key word: Desalination, reverse osmosis, water quality, environment, Honaine

تلخيص

تركزت هذه الدراسة على كيفية تشغيل محطة تحلية مياه البحر، بالإضافة إلى دراسة عملية التحلية نفسها، من خلال إجراء تحاليل فيزيائية-كيميائية وهيدروليكية خلال فترة عشرة أيام على مستوى محطة "هنين" بولاية تلمسان، التي تعتمد تقنية التناضح العكسي.

و8.4، مع 8.1 أظهرت النتائج أن المياه المنتجة خلال هذه الفترة مطابقة لمعايير مياه الشرب، حيث تراوح الرقم الهيدروجيني بين انخفاض تركيز المواد العالقة، ومؤشر الانسداد متوازن، ونسبة الكلور ضمن المستويات الموصى بها

من الناحية الهيدروليكية، أظهر النظام أداءً جيداً بمعدل تحويل بلغ 45.5 % ونسبة رفض تفوق 98 %. كما أظهرت الدراسة وجود تأثير بيئي شامل للمحطة على النظام البيئي البحري

الكلمات المفتاحية: تحلية المياه، التناضح العكسي، جودة المياه، البيئة، هنين