



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS – MOSTAGANEM

Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique

Département de Chimie.

Filière : Chimie appliquée.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Chimie.
Option : **Chimie appliquée.**

Présenté par :

OTMANE Maroua

TEHARI Fatma

THEME:

Comparaison entre deux stations de dessalement

Devant le jury composé de :

Président : Mr. TABTI Charef Université de Mostaganem

Examineur : Mme BOURAHLA Sarra. Université de Mostaganem

Encadrant : MAA Abdelkader Kadi Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nos louanges à DIEU le Tout Puissant pour nous avoir donné le courage, la Volonté, la patience durant ces années d'étude et que grâce à lui ce travail a été réalisé.

Nous remercions très vivement Mr. KADI Abdelkader pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de nous encadrer, et qui a toujours été à notre écoute tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour son aide et le temps qu'il nous a consacré.

Nous adressons notre remerciement au directeur de l'usine de dessalement d'eau de mer SONACTER, Mr. GOULMANE Abderazak, et Mr. BOMAAZA Sofiane, pour l'opportunité qu'ils nous ont offerte de faire un stage au sein de l'usine, ainsi qu'à tous les travailleurs de la station, notamment Mr. ZEHAF Abdellah, et Mr. BEKKAYE. Zakarya.

Nos vifs remerciements vont également aux honorables membres de jury : Mme. BOURAHLAS

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté des Science Exacte Et L'informatique de L'université Abdelhamid Ibn Badis –Mostaganem, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Un remerciement particulier à mon oncle BELMOKADEM Abderahmane pour son aide pendant notre stage.

إهداء

« وأخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين »

الحمد لله على إحسانه والشكر له على توفيقه وامتنانه، الحمد لله عند البدء وعند الختام. فما تنأهى دربٌ ولا ختم جهد ولا تم سعي إلا بفضلِهِ.

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون، لم يكن الحلم قريباً ولا الطريق كان محفوفاً بالتسهيلات، فليشهد الله أننا سقطنا ونهضنا، أننا تعبنا وسهرنا وحرقت قلوبنا من شدة الجهد لكن النجاح أثلج صدورنا وأطفأ نار تعبنا.

أهدي بكل فخر واعتزاز بحث تخرجي:

إلى نفسي التي تستحق....

إلى شغفي الذي لم يفارقني أبداً....

إلى خوف قلبي عند كل امتحان....

إلى دموع عيني التي بللت دفاتري....

إلى ذلك السواد الذي استقر تحت جفوني....

إلى تلك الفتاة الطموحة.... ها قد فعلتها وما هي إلا البداية بإذن الله.

إلى من كلل العرق جبينه وعلمني أن النجاح لا يأتي إلا بالصبر والإصرار إلى الذي محى من قاموسي كلمة الاستسلام واستمديت منه قوتي واعتزازي بذاتي، والدي العزيز.

إلى من جعلت الجنة تحت أقدامها، إلى من حملتني في جوفها 9 أشهر وهنا على وهن وأفنت زهرة شبابها في تربيته وتعليمي حتى بلغت أشدي إلى الإنسانية العظيمة التي لطالما تمننت أن تقر عينها برؤيتي في يوم كهذا، أمي العزيزة.

ها أنا اليوم هنا بفضل دعائكم ودعمكم، فجزاكم الله عني خيراً.

إلى عضدائي وسندي الدائم وملجئي عند ضعفي واحتياجي أخواري " محمد " و " أحمد ".

إلى التي تؤمن بي أكثر من نفسي، التي تذكرني دائماً بقدراتي وإنجازاتي، أختي الصغيرة ومهجة قلبي " مريم حجاز ".

إلى العائلتين الكريمتين " عثمان "، " بنور " من أصغر فرد إلى أكبرهم وعلى رأسهم جدتاي " فافا "، " حورية " إلى البعيدين عن العين القريبيين إلى القلب " إكرام "، " حنان " " كوثر " " بشرى " " رتاج " " خلود " ممتنة لتواجدكم في حياتي وأتمنى أن أراكم تحققون أحلامكم.

Dédicaces

Après tout ce long voyage, j'ai atteint la fin de mon parcours.

Un parcours qui à passer avec des bons et mauvais moments, quel beau parcours universitaire.

Après tous les efforts, la fatigue et le fait de veiller tard. J'ai enfin réussi.

Je dédie d'abord mon succès à moi-même, qui à luttait et qui n'a pas abandonnait pour arriver à ce que je suis, et je suis fier de ce que j'ai fait.

Et à mes grands-parents les plus chers du monde, que Dieu leur fasse miséricorde (j'aimerais bien que vous êtes là), « **Mahomet et Fatima** ».

Un grand merci à ma tante, qui était ma mère, ma source de force, mon soutien dans la vie,
«**AOUMRI Fatima** ».

Je remercie mes parents à cause d'eux j'ai atteint le sommet.

Mon soutien et ma source de force **Mr. Ben Nasser**.

À mes frères (une longue liste, haha), l'aîné, « **wahiba** », « **chaima** », « **Muhammad** », « **Hayat** », « **Melouka** » et le plus jeune, « **Amir** ».

Enfin, je dédie ma réussite à mes compagnons de chemin, sans eux la vie serait ennuyeuse « **Qadour Asiya** », « **Hamu Khayra** », « **Balhawari Iqbal** », « **Otmane Maroua** », « **Saidi senia** ». » et « **Qassar Asma** ». Je vous souhaite du succès et le bon chemin pour vous.

Avec toute ma gratitude, j'ai le plus beau camarade de classe et mon autre moitié (**Otmane Maroua**).

Je souhaite du succès et du bien à tous ceux qui ont étudié et travaillé dur.

Chaque début a une fin. Merci

Table des matières :

Introduction générale	14
Chapitre 1 : généralité sur l'eau.....	16
1. <i>Introduction</i>	17
2. <i>L'eau de mer</i>	17
2.1 Définition :	17
2.2 Les compositions chimiques :	18
2.3 Les caractéristiques physico-chimiques :	19
3. <i>L'eau potable</i>	22
3.1 Définition :	22
3.2 Qualité de l'eau potable :	22
Chapitre 2 : Généralités sur le dessalement et ses effets.....	27
1. <i>Introduction</i> :.....	28
2. <i>Définition de dessalement</i> :	28
3. <i>Les procédés de dessalement</i> :	28
3.1 Les procédés par changement de phase :	29
3.2 Les procédés membranaires :	32
4. <i>Avantages et Inconvénients des procédés de dessalement</i> :	36
5. <i>Dessalement en Algérie</i> :	38
6. <i>L'impact de dessalement sur l'environnement</i> :	39
Chapitre 3 : Étude de cas des stations de dessalement SONACTER à Mostaganem et MACTAA à Oran	40
1. <i>Introduction</i>	41
2. <i>Station de dessalement SONACTER</i>	41
2.1 Situation géographique et topographique de la station de dessalement	41
2.2 Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer SONACTER.....	41
2.3 Processus de dessalement appliqué dans la station de SONACTER	42
3. <i>Station de dessalement MACTAA</i>	48
3.1 Présentation de l'unité de dessalement d'eau de mer MAGTAA.....	48
3.2 Processus de dessalement appliqué dans la station de MAGTAA.....	49
4. <i>Comparaison entre deux techniques de prétraitement</i>	54
4.1 Ultra filtration :	55
4.2 Microfiltration :	55
Chapitre 4 : Partie expérimental.....	59
1. <i>Contrôle de qualité de l'eau</i>	60
1.1 Réactifs et équipements	60
1.2 Prélèvement :	60
1.3 Méthodes analytiques	61
2. <i>Interprétation des résultats</i>	69

2.1	Les Résultats d'analyse.....	69
2.2	Comparaison entre les résultats obtenus.....	71
2.3	Discussions des résultats obtenus par les deux stations de dessalement	80
Conclusion générale.....		82

Liste des figures

FIGURE 1:	RÉPARTITION DE L'EAU SUR LA PLANÈTE, EN POURCENTAGE DU VOLUME TOTAL	17
FIGURE 2 :	PRINCIPALES TECHNIQUES DE DESSALEMENT [10].....	29
FIGURE 3 :	DIAGRAMME DU PROCÉDÉ DE DESSALEMENT MSF.[21]	30
FIGURE 4:	DIAGRAMME DU PROCÉDÉ DE DESSALEMENT MED.[21]	31
FIGURE 5:	DIAGRAMME DU PROCÉDÉ DE DESSALEMENT VC.[21].....	32
FIGURE 6:	SCHÉMA DU PROCÉDÉ DE DESSALEMENT ED.[21]	33
FIGURE 7:	SCHEMATIC OF (A) OSMOSIS (B) OSMOTIC EQUILIBRIUM (C) OI.....	34
FIGURE 8:	CHÉMA DE PRINCIPE DU MODULE À MEMBRANE OI ENROULÉ EN SPIRALE.[21]	35
FIGURE 9:	STATION DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER SONACTER [37]	42
FIGURE 10:	SYSTÈME DE FILTRATION [38]	45
FIGURE 11:	RÉCUPÉRATEUR D'ÉNERGIE.....	46
FIGURE 12:	LES CHÂSSIS D'OSMOSE INVERSE	47
FIGURE 13:	STATION DE DESSALEMENT MAGTAA.....	49
FIGURE 14 :	CBS	50
FIGURE 15 :	TBS	50
FIGURE 16 :	TRAIN UF	50
FIGURE 17:	SYSTEME DE DOSAGE DE LA CHAUX	53
FIGURE 18:	SYSTEME DE STOCKAGE D'EAU TRAITEE	53
FIGURE 19:	LES TECHNOLOGIES DE PRETRAITEMENT LES PLUS COURAMMENT ETUDIEES AU COURS DE LA DERNIERE DECENNIE.	54
FIGURE 20:	pH-METRE	62
FIGURE 21:	CONDUCTIMETRE.....	62
FIGURE 22 :	COLORIMETRE	63
FIGURE 23:	TURBIDIMETRE	63
FIGURE 24:	LES TESTS EN CUVE DE MAGNESIUM.....	65
FIGURE 25:	LES TESTS EN CUVE DE NITRITE	66
FIGURE 26:	LES TESTS EN CUVE DE NITRATES ET LE REACTIVE A	67
FIGURE 27:	LES TESTS EN CUVE DE POTASSIUM.....	68
FIGURE 28:	LES TESTA EN CUVE DE SULFATES	68
FIGURE 29:	VARIATION DU pH.....	71
FIGURE 30:	VARIATION DE TEMPERATURE	72
FIGURE 31:	VARIATION DE TDS.....	73
FIGURE 32 :	VARIATION DE LA DURETE TOTALE	73
FIGURE 33:	VARIATION DE L'ALCALINITE.....	74
FIGURE 34:	VARIATION DE LSI	75
FIGURE 35:	VARIATION DE LA CONCENTRATION EN CHLORE	76
FIGURE 36:	VARIATION DE CONCENTRATION EN CATION Ca^{++}	76
FIGURE 37:	VARIATION DE CONCENTRATION EN CATION DE Mg^{++}	77
FIGURE 38:	VARIATION DE LA CONDUCTIVITE.....	78
FIGURE 39:	VARIATION DE LA TURBIDITE	79

Liste des tableaux

TABLEAU 1: LA SALINITÉ DES MERS ET OCÉANS.....	18
TABLEAU 2: COMPOSITION DE L'EAU DE MER [6]	19
TABLEAU 3: CLASSIFICATION DES EAUX SELON LA SALINITÉ [5]	20
TABLEAU 4: PARAMÈTRES DE QUALITÉ DE L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE [15]	23
TABLEAU 5: CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS PROCEDES [28]	36
TABLEAU 6: LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES TECHNIQUES DE PRETRAITEMENT UF ET MF [43] [45]	56
TABLEAU 7: RÉACTIFS ET ÉQUIPEMENTS.....	60
TABLEAU 8: LES RÉSULTATS D'ANALYSES DE L'EAU PRODUITE (MAGTAA).....	69
TABLEAU 9: RÉSULTATS D'ANALYSES DE L'EAU PRODUITE (SONACTER)	70

LISTE D'ABREVIATIO

WWF : FONDS MONDIAL POUR LA NATURE

OMS : l'Organisation mondiale de la santé

°C : Degré Celsius

MES : matières en suspension

UTN : Unités de turbidité néphélométriques

pH : Potentiel d'hydrogène.

Ppm : partie par million.

IDA : L'Association Internationale de Dessalement

MSF : Multi-Stage-Flash

MED : Distillation Multi-Effets

VC : Compression de Vapeur

ED : Électrodialyse

OI : Osmose Inverse

CO₂ : dioxyde de carbone

SDI : Indice de Colmatage (Standard Déviation Index)

ERI : récupérateur d'énergie

MTD ou TDS : total des solides dissouts

CBS: Corse Bar Screen

TBS: Travelling Band Screen

SMBS : sodium metabisulphite

UF : Ultrafiltration

MF : Microfiltration

NF : Nanofiltration

SWRO : (Seawater Reverse Osmosis) eau de mer osmose inverse

GMP: Good Manufacturing Practices

FDA: Food and Drug Administration

DPD : N-N Diethyl-P-phenylene Diamine.

TA : Titre Alcalimétrique simple

TAC : Titre Alcalimétrique complet

TH : Titre hydrométrique

EDTA : Acide éthylène diamine tétraacétique.

LSI : L'indice de saturation de Langelier

Résumé

Le manque de ressources en eau douce est le plus grand défi auquel le monde est confronté, ce qui a incité l'homme à trouver de nouvelles solutions pour répondre à ses besoins en eau douce. Les méthodes innovantes les plus couramment utilisées sont la technologie de dessalement.

Au commencement de notre mémoire, nous avons abordé les propriétés chimiques et physiques de l'eau de mer et des eaux douces, en donnant une description des normes d'eau potable recommandées par l'Organisation mondiale de la santé. Ensuite, nous avons examiné diverses techniques de dessalement de l'eau de mer en décrivant les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles, ainsi que leur impact sur l'environnement.

Par la suite, nous avons examiné le processus utilisé dans les stations de MOSTAGANEM et d'ORAN, où les deux stations utilisent la même technique de dessalement (osmose inverse), à l'exception de la méthode de pré-traitement de l'eau (L'unité de Mostaganem utilise la microfiltration tandis que l'unité d'ORAN utilise l'ultrafiltration). Enfin, nous avons effectué une comparaison entre les deux méthodes en évaluant la qualité physique et chimique de l'eau qu'elles produisent.

Mots Clés : dessalement, osmose inverse, microfiltration, ultrafiltration, eau de mer, eau potable.

Abstract

The lack of freshwater resources is the greatest challenge facing the world, which has prompted mankind to find new solutions to meet its freshwater needs. The most commonly used innovative methods are desalination technology.

We began our memoirs by addressing the chemical and physical properties of seawater and freshwater, giving a description of drinking water standards recommended by the World Health Organization. Next, we looked at various seawater desalination techniques, describing the advantages and disadvantages of each of them, as well as their impact on the environment.

Next, we looked at the procedures used in both the Mostaganem and Oran stations, which use the same desalination technique reverse osmosis with the exception of the water's pre-treatment method. The Mostaganem unit relies on microfiltration, while the Oran station uses ultrafiltration.

Finally, we compared the two methods by assessing the physical and chemical quality of the water that they produced.

Keywords : desalination, reverse osmosis, microfiltration, ultrafiltration, seawater, freshwater.

المخلص

"وجعلنا من الماء كل شيء حياً"، أحد أكبر التحديات التي تواجه العالم هو نقص المياه العذبة، ولهذا السبب لجأ الإنسان إلى ابتكار طرق جديدة لتلبية حاجته لهذا المورد الحيوي. من بين الطرق المبتكرة الأكثر استخداماً حالياً هي تقنية تحلية مياه البحر. بدأنا مذكرتنا بذكر الخصائص الكيميائية والفيزيائية لمياه البحر والمياه العذبة، مع شرح معايير جودة مياه الشرب الموصى بها من قبل منظمة الصحة العالمية. ثم انتقلنا إلى البحث في تقنيات تحلية مياه البحر المختلفة، موضحين مزايا ومساوئ كلٍ منها بالإضافة إلى تأثيرها على البيئة. ومن ثم قمنا بدراسة البروتوكول المتبع في كل من محطة مستغانم وهران، حيث تستخدم كلا المحطتين نفس تقنية التحلية باستثناء طريقة المعالجة المسبقة للماء؛ إذ تعتمد وحدة مستغانم على الترشيح الدقيق بينما تستخدم وحدة وهران الترشيح الفائق. وفي الختام قمنا بالمقارنة بين التقنيتين من خلال تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه التي ينتجها كل منهما.

المصطلحات الرئيسية: التحلية، التناضح العكسي، الترشيح الدقيق، الترشيح الفائق، ماء البحر، ماء عذب.

Introduction générale

Introduction générale

La Terre apparaît comme une planète bleue depuis l'espace car la plus grande partie de sa surface est recouverte d'eau. Cependant, seul 3% de cette eau est douce, dont la majeure partie se trouve gelée et inaccessible dans les calottes glaciaires et au Groenland, laissant moins de 1% d'eau douce disponible dans les lacs, les rivières et le sous-sol. Environ un tiers seulement des eaux douces potentielles du monde peut être utilisé pour les besoins de l'homme.[1]

La croissance démographique et le changement climatique entraînent une diminution de l'eau douce disponible dans le monde. En 2050, un milliard de personnes pourront souffrir de pénuries d'eau en raison de ces changements.[1] Pour répondre à la demande en eau potable dans les zones où les réserves sont insuffisantes, plusieurs pays du monde ont appelé au dessalement de l'eau de mer comme alternative aux ressources traditionnelles.

L'Algérie fait partie des pays qui utilisent la technologie du dessalement de l'eau de mer, car elle a lancé un programme ambitieux ces dernières années pour installer 23 stations de dessalement de l'eau de mer réparties sur une côte s'étendant sur plus de 1200 km, après les résultats de cette expérience, 14 stations ont été construites avec une capacité de production totale de 1940.000 m³ /jour entre les années de 2003 et 2011.[2]

Le dessalement de l'eau de mer est un procédé visant à éliminer le sel de l'eau salée ou saumâtre pour la rendre potable ou pour une utilisation en irrigation. Cependant, selon le WWF (Fonds mondial pour la nature), cette solution peut avoir des répercussions néfastes sur l'environnement en raison des rejets générés par ce processus, pouvant altérer les caractéristiques de la mer et impacter négativement la vie marine et végétale sous-marine.

L'objectif de ce travail est d'étudier deux techniques de prétraitement et de comparer les résultats d'études de la station MAGTAA avec les résultats d'études de la station de dessalement de SONACTER, (la qualité d'eau et les conséquences de chaque technique sur le système aquatique).

Chapitre 1 : généralité sur l'eau

1. Introduction

La Terre renferme un volume total d'eau d'environ 1,4 milliard de km³, composé principalement de 97,5 % d'eau salée et de 2,5 % d'eau douce. Cette quantité d'eau est stable depuis des milliards d'années [3] [4]. L'hydrosphère, qui englobe toutes les réserves d'eau terrestres, reste constante au fil du temps. L'eau circule à travers un cycle continu, passant de l'état gazeux à l'état liquide ou solide. Les océans stockent la majeure partie de l'eau sur Terre, tandis que les glaciers, les eaux souterraines et les eaux de surface contribuent également aux réserves en eau douce. Le cycle de l'eau est maintenu par l'énergie solaire, assurant l'équilibre entre les précipitations et l'évaporation.

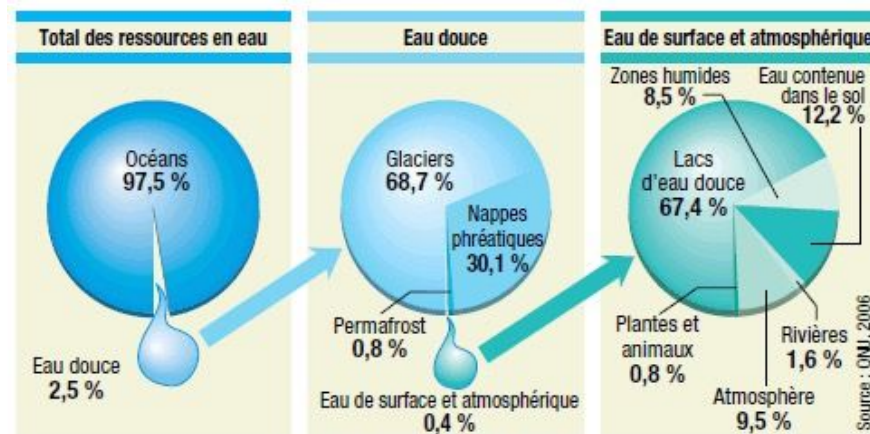


Figure 1: Répartition de l'eau sur la planète, en pourcentage du volume total.

2. L'eau de mer

2.1 Définition :

L'eau de mer représente une source inépuisable d'eau que l'on peut exploiter pour obtenir de l'eau douce par le processus de dessalement. C'est un mélange complexe de divers sels, substances organiques, algues, bactéries et microparticules. Elle se caractérise par sa concentration en sel dissous (salinité).[5]

Les données du tableau révèlent que la salinité de l'eau n'est pas uniforme dans toutes les mers. Les valeurs de salinité présentées ici correspondent à des moyennes pour l'ensemble de chaque mer ou océan. En effet, les eaux situées à proximité de l'embouchure des grands fleuves ont généralement une salinité plus faible.

Tableau 1: La salinité des mers et océans

Mer considérée	Salinité en g/L
Mer Baltique	3 - 8
Mer Noire	18,3 – 22,2
Océan Atlantique	33,5 – 37,4
Océan pacifique	34,5 – 36,9
Océan indien	35,5 – 36,7
Mer méditerranée	38,4 – 41,2
Mer Rouge	50,8 – 58,5
Mer Morte	192,2 - 260

2.2 Les compositions chimiques :

L'eau de mer est principalement constituée de sels, représentant plus de 99,99 % des espèces dissoutes. Elle renferme environ soixante éléments, parmi lesquels on trouve le chlore, le sodium, le magnésium, le calcium, le potassium, le brome, le strontium, le bore, le fluor et des sulfates.

La quantité totale de sels dissous dans l'eau, appelée salinité, est un indicateur crucial. Dans les océans ouverts tels que l'Atlantique, la Manche, la Mer du Nord et le Pacifique, la salinité moyenne avoisine les 35 g.L⁻¹. Cependant, cette valeur peut varier significativement en fonction de la localisation géographique, de la profondeur et de la température.

La composition des sels dans l'eau de mer reste stable dans les mers ouvertes, mais peut varier dans les mers fermées en raison de l'évaporation et des apports d'eau de surface. Les ions chlorure et sodium dominant, représentant environ 85 % des sels, avec la présence notable de bicarbonates, calcium et sulfates. Des normes de potabilité définies par l'OMS exigent une salinité inférieure ou égale à 1 000 mg. L⁻¹ et un taux de chlorure inférieur ou égal à 250 mg. L⁻¹. Ces normes impliquent une élimination de 97,1 % des sels totaux et de 98,7 % des chlorures par rapport à l'eau de mer standard.

Tableau 2: Composition de l'eau de mer [6]

	Eau de mer standard		Mer méditerranée		
	mg. L ⁻¹	%	mg. L ⁻¹	%	
Salinité totale	35 000	-	39 000	-	
Cations	Sodium Na⁺	10 760	30,7	11 973	30,7
	Magnésium Mg²⁺	1 294	3,7	1 443	3,7
	Calcium Ca²⁺	412	1,2	468	1,2
	Potassium K⁺	387	1,1	429	1,1
Anions	Chlorures Cl⁻	19 353	55,3	21 567	55,3
	Sulfates SO₄²⁻	2 712	7,7	3 003	7,7
	Bicarbonates HCO₃⁻	142	0,4	156	0,4
	Bromures Br⁻	67	0,2	78	0,2

Divers minéraux comme le phosphore, les composés azotés inorganiques et le silicium sont des nutriments essentiels pour la production de matière organique en milieu marin. Le phosphore se trouve principalement sous forme de HPO₄²⁻ (environ 90 %) et PO₄³⁻ (10 %) à des concentrations de l'ordre du µmol. L⁻¹. L'azote inorganique est majoritairement présent sous forme moléculaire, avec des quantités variables de nitrate, nitrite et ammonium selon les zones oxygénées ou anoxiques. Le silicium est présent sous forme d'acide orthosilicique Si (OH)₄, avec des concentrations variant en fonction des régions et de l'activité biologique.

L'eau de mer renferme divers autres éléments à l'état de traces, tels que le baryum (Ba²⁺) et l'iode (I⁻) à des concentrations spécifiques. Des éléments comme l'aluminium, le vanadium, le chrome, le manganèse, le fer, le nickel, le cuivre, le zinc, l'arsenic, le sélénium, l'yttrium, le césium, le tungstène et l'antimoine sont également présents à des niveaux de nanomoles par litre.[6]

2.3 Les caractéristiques physico-chimiques :

Les caractéristiques chimiques :

Salinité :

L'eau de mer est principalement caractérisée par sa concentration en sels dissous (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates), exprimée en mg ou ppm, avec en moyenne 35 grammes de sel par kilogramme d'eau de mer. Cette concentration équivaut à 48 millions de

milliards de tonnes de sel dans l'ensemble des océans, soit environ 95 tonnes par mètre carré sur la planète [7].

La présence de sels dans l'eau a un impact significatif sur diverses propriétés de l'eau, telles que la densité, la compressibilité, le point de congélation et le coefficient d'activité, tandis que d'autres propriétés comme la viscosité et l'absorption de la lumière sont moins affectées.

Certaines caractéristiques de l'eau de mer sont directement liées à la quantité de sel présente, comme la conductivité et la pression osmotique. Ces propriétés varient considérablement en fonction de la température, de la salinité et de la pression de l'eau, qui est associée à sa profondeur [8].

Il est important de noter que ces propriétés peuvent présenter une grande variabilité d'un endroit à un autre en raison des variations naturelles dans ces paramètres.

Tableau 3: classification des eaux selon la salinité [5]

Type d'eau	Salinité (mg/L)
Eau douce	< 500
Eau légèrement saumâtre	1000 – 5000
Eau modérément saumâtre	5000 – 15000
Eau très saumâtre	15000 – 35000
Eau de mer	35000 – 42000

L'alcalinité :

Contrairement à l'acidité, l'alcalinité d'une eau est déterminée par la présence de bases et de sels d'acides faibles. Typiquement, dans les eaux, l'alcalinité est principalement due à la présence d'hydrogénocarbonates, de carbonates et d'hydroxydes.[9]

Les caractéristiques physiques :

La température :

Le deuxième paramètre qui caractérise l'eau de mer est sa température, influencée notamment par les courants polaires.

Les températures océaniques sont mesurées en degrés Celsius et varient généralement de -2°C, qui est à peu près le point de congélation des eaux de mer, à un peu plus de 30°C. [10] [11]

Densité :

Le rapport de la masse volumique de l'eau de mer à celle de l'eau distillée à 4°C se situe généralement entre 1,035 et 1,036 dans les océans. Cette densité varie en fonction de la salinité, de la température et de la pression de l'eau. [12]

Matière en suspension :

L'eau de mer est un milieu qui transporte à la fois des matières minérales telles que des sédiments et des organismes vivants, principalement du plancton en pleine mer. Près des côtes, la teneur en sédiments varie en fonction de divers facteurs tels que l'agitation de l'eau, les courants, la profondeur et la nature des fonds marins. De plus, la pollution provenant des activités urbaines et industrielles peut avoir un impact significatif.[8] [10]

La turbidité :

La turbidité est une mesure de l'opacité de l'eau, correspondant à la diminution de sa transparence due à la présence de matières non dissoutes. Dans les eaux, elle est principalement causée par des matières en suspension (MES) comme les argiles, les sables, les bactéries et les champignons. La turbidité est l'opposé de la limpidité et se mesure en unités de turbidité néphélométriques (UTN).[13]

pH :

Le pH de l'eau de mer est légèrement basique, avec un intervalle compris entre 8,0 et 8,4. L'ion bicarbonate de l'eau de mer est en équilibre de dissociation avec l'ion carbonate. Le bore est présent en quantités infimes dans l'eau de mer, à hauteur de 4,5 ppm, principalement sous forme d'acide borique $B(OH)_3$, qui est partiellement dissocié en ions borate dans la plage de pH des eaux de mer (pKa de 9,14). [6]

3. L'eau potable

3.1 Définition :

L'eau potable est une ressource essentielle que l'on peut consommer sans risque pour la santé, que ce soit pour boire, cuisiner ou pour des usages domestiques et industriels. Elle peut être disponible sous différentes formes telles que l'eau en bouteille (comme l'eau minérale ou de source), l'eau du robinet ou encore stockée dans des citernes pour des besoins industriels. Cette eau douce, propre à la consommation humaine, subit des traitements pour éliminer les agents pathogènes, respectant ainsi des normes strictes en termes de qualité microbiologique, chimique et physique. La potabilité de l'eau est cruciale pour la survie des êtres vivants et pour soutenir les activités humaines fondamentales, garantissant ainsi un approvisionnement sûr et sain en eau pour tous.

L'eau potable représente 0,01% du volume total et qui sont mal répartis sur le globe: [14]

1. Brésil 18%.
2. Canada 9%.
3. Chine 9%.
4. U.S.A 8%.

3.2 Qualité de l'eau potable :

Une eau potable, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), doit respecter des critères microbiens, chimiques et physiques stricts pour garantir sa potabilité. Cela implique que cette eau ne doit pas dépasser des limites en substances nocives pour la santé, même si elle peut contenir des éléments polluants à des concentrations très faibles qui ne compromettent pas la santé des consommateurs.

Les critères de qualité de l'eau potable de l'OMS se divisent en cinq groupes : physico-chimiques, organoleptiques, microbiologiques, substances indésirables, et micropolluants/toxiques.

Tableau 4: paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine [15]

Groupes de paramètres	Paramètres	UNITES	Normes Algériennes 2014	Normes OMS 2006
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5	Pas de contraintes
	Baryum	mg/l	0,7	0,7
	Bore	mg/l	-eaux conventionnelles : 1 -eaux dessalées ou déminéralisées : 1,3	0,5
	Fluorures	mg/l	1,5	1,5
	Nitrates	mg/l	50	50
	Nitrites	mg/l	0,2	0,2
	Oxydabilité	mg/l	5	
	Acrylamide	µg/l	0,5	0,5
	Antimoine	mg/l	0,02	0,02
	Argent	µg/l	100	Pas de valeur guide
	Arsenic	mg/l	0,01	0,01
	Cadmium	mg/l	0,003	0,003
	Chrome total	mg/l	0,05	0,05
	Cuivre	mg/l	2	2
Cyanures	mg/l	0,07	0,07	

Mercur	mg/l	0,006	0,006
Nickel	mg/l	0,07	0,07
Plomb	mg/l	0,01	0,01
Sélénium	mg/l	0,01	0,01
Zinc	mg/l	5	3
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2	-
Benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01	
Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2	-
Epychlorehydrine	µg/l	0,4	-
Microcystine LR	µg/l	1	-
Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5	-
Bromates	µg/l	10	10
Chlorite	µg/l	70	70
Trihalométhanes par substance individualisée :			
-chloroforme	µg/l	200	300
-bromoforme	µg/l	100	100
-Dibromochloromethane	µg/l	100	100
-Bromodichloromethane	µg/l	60	60
Chlorure de vinyle	µg/l	0.3	
1,2- dichloroéthane	µg/l	30	30
1,2- dichlorobenzène	µg/l	1000	1000
1,4- dichlorobenzène	µg/l	300	300
Trichloroéthylène	µg/l	20	20
Tétrachloroéthylène	µg/l	40	40

	Couleur	mg/l platine	15	Pas de valeur guide
	Turbidité	NTU	5	Non mentionnée
	Odeur à 25 °C	Taux dilution	4	-
	Saveur à 25 °C	Taux dilution	4	-
	Alcalinité	Mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux dessalées ou déminéralisées (valeur minimale)	-
Paramètres organoleptiques	Calcium	Mg/l	200	-
	Chlorure	Mg/l	500	-
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9	6,5 – 9,5
	Conductivité à 20 °C	μS/cm	2800	-
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500	200
	Fer total	mg/l	0,3	Pas de valeur guide
	Manganèse	mg/l	0,05	0,4
	Phosphore	mg/l	5	-
	Potassium	mg/l	12	-
	Sodium	mg/l	200	Pas de valeur guide
	Sulfates	mg/l	400	500

	Température	°C	25	-
--	-------------	----	----	---

Chapitre 2 : Généralités sur le dessalement et ses effets

1. Introduction :

La demande en eau douce ne cesse d'augmenter, avec une hausse de 4 à 5 % chaque année, tandis que les ressources naturelles restent stables ou diminuent en raison de la pollution.[5] Cela suscite des inquiétudes quant à la disponibilité future de l'eau. L'Association Internationale de Dessalement (IDA) rapporte que plus de 300 millions de personnes dépendaient de l'eau douce produite par le dessalement en 2019. Actuellement, il existe 20 516 usines de dessalement dans le monde, d'une capacité totale de production d'environ 122,32 millions de mètres cubes par jour.[16] Le dessalement, qui a été utilisé pour la première fois pendant la Deuxième Guerre mondiale, est devenu une entreprise commerciale mature dans les années 1980, avec des efforts continus pour améliorer l'efficacité des technologies de dessalement.[5] Ces technologies sont cruciales pour produire de l'eau potable, notamment dans les régions arides comme le Moyen-Orient. L'accès à l'eau douce est un enjeu majeur, des millions de personnes sont confrontées à des pénuries d'eau, en particulier dans les régions arabes où une grande partie de la population vit en dessous du seuil de pénurie d'eau recommandé par les Nations Unies.[5][17]

2. Définition de dessalement :

Le dessalement de l'eau, également connu sous le nom de dessalage ou de désalinisation, est un processus qui permet de transformer l'eau salée ou saumâtre en eau douce et potable.[18] Le dessalement peut être effectué à partir de différentes sources d'eau salée, telles que l'eau de mer, les eaux souterraines saumâtres et les eaux usées traitées.

3. Les procédés de dessalement :

Il existe plus que 27 techniques différentes de dessalement,[6] qui peuvent être regroupées en trois catégories principales :

- Les procédés faisant intervenir un changement de phase (distillation et congélation)
- Les procédés utilisant des membranes (électrodialyse et osmose inverse)
- Les procédés chimiques (échange d'ions et extraction par solvant).

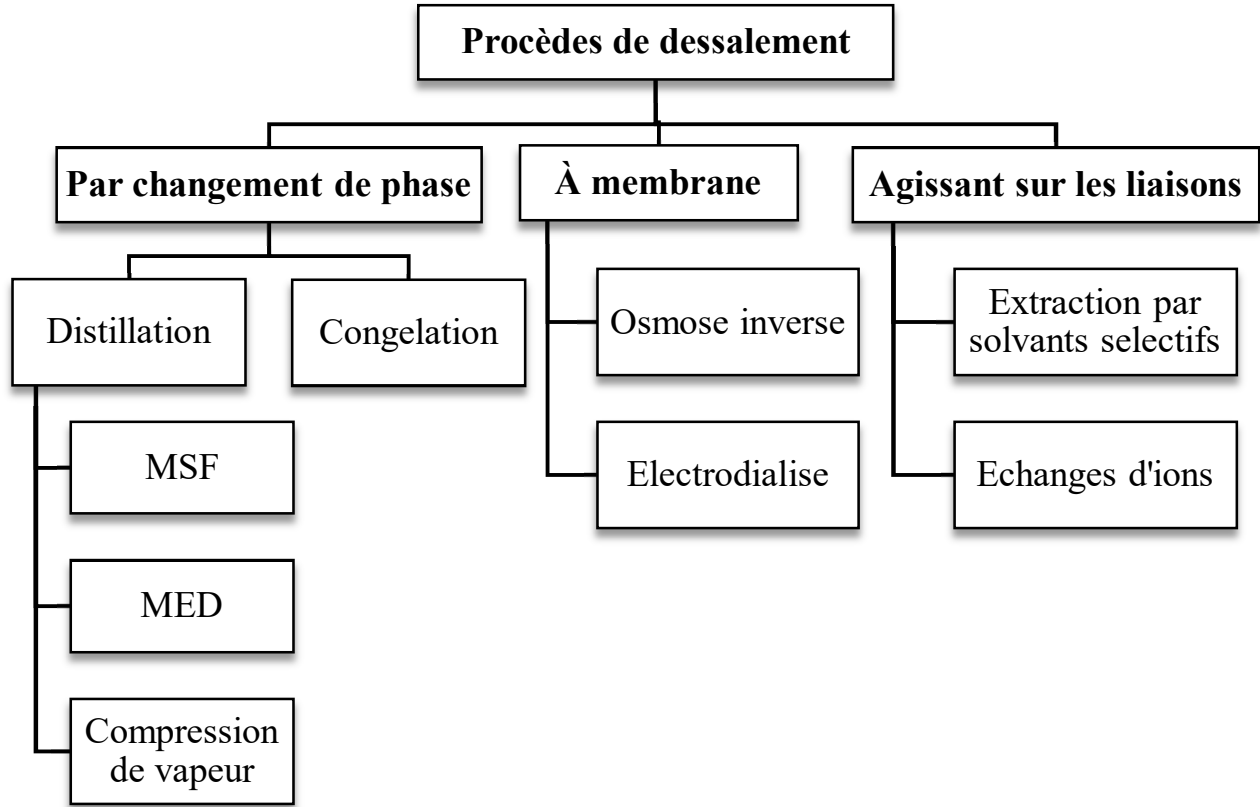


Figure 2 : principales techniques de dessalement [10]

Quelle que soit la technique de dessalement utilisée, toute installation de dessalement comprend généralement 4 postes principaux [19] :

- Un système de captage et pompage d'eau de mer
- Un système de prétraitement
- Un système de dessalement
- Un système de post traitement

3.1 Les procédés par changement de phase :

3.1.1 Les procédés de distillation :

Le processus de distillation simule le cycle naturel de l'eau en chauffant une solution saline pour produire de la vapeur d'eau, qui est ensuite condensée pour obtenir de l'eau fraîche.

A. Procédé de distillation multi-stage-flash :

Le procédé de distillation multi-étages (MSF) imite le cycle naturel de l'eau. L'eau de mer est chauffée à environ 90-120°C, en utilisant la condensation de la vapeur produite et une source externe de vapeur. L'eau de mer chauffée est ensuite introduite dans une série d'étages successifs maintenus à des niveaux de pression décroissants. Cela provoque une vaporisation instantanée (distillation flash) de l'eau de mer, et la vapeur produite est condensée pour obtenir de l'eau douce de haute qualité.[5][6]

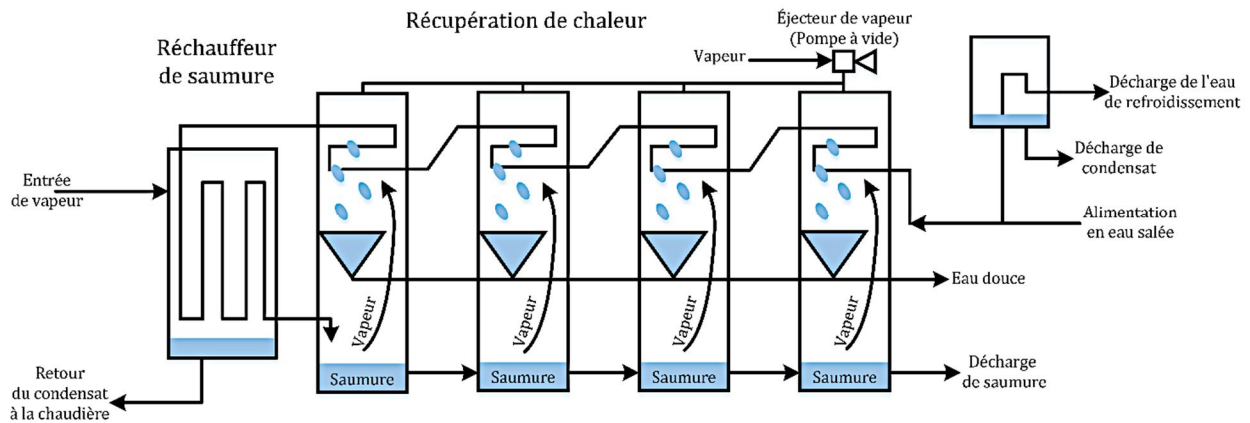


Figure 3 : Diagramme du procédé de dessalement MSF.[21]

B. Procédé de distillation multi-effets :

La distillation à effets multiples (MED) consiste en une série d'étapes successives, similaire à la distillation à simple effet, mais avec un enchaînement d'étapes. Dans ce processus, l'eau de mer est chauffée à travers un réseau de serpentins de chauffage horizontaux dans des chambres à pression décroissante. L'eau d'alimentation traverse ces chambres verticalement, s'évaporant partiellement à chaque étape tandis que le concentrat (saumure) est dirigé vers la chambre suivante. Ce cycle se répète jusqu'à épuisement de l'eau à vaporiser. La vapeur ainsi produite est condensée pour obtenir de l'eau douce.[5] Les distillateurs MED sont souvent disposés verticalement, avec l'eau d'alimentation passant à travers un tube immergé dans un bain de vapeur.[6]

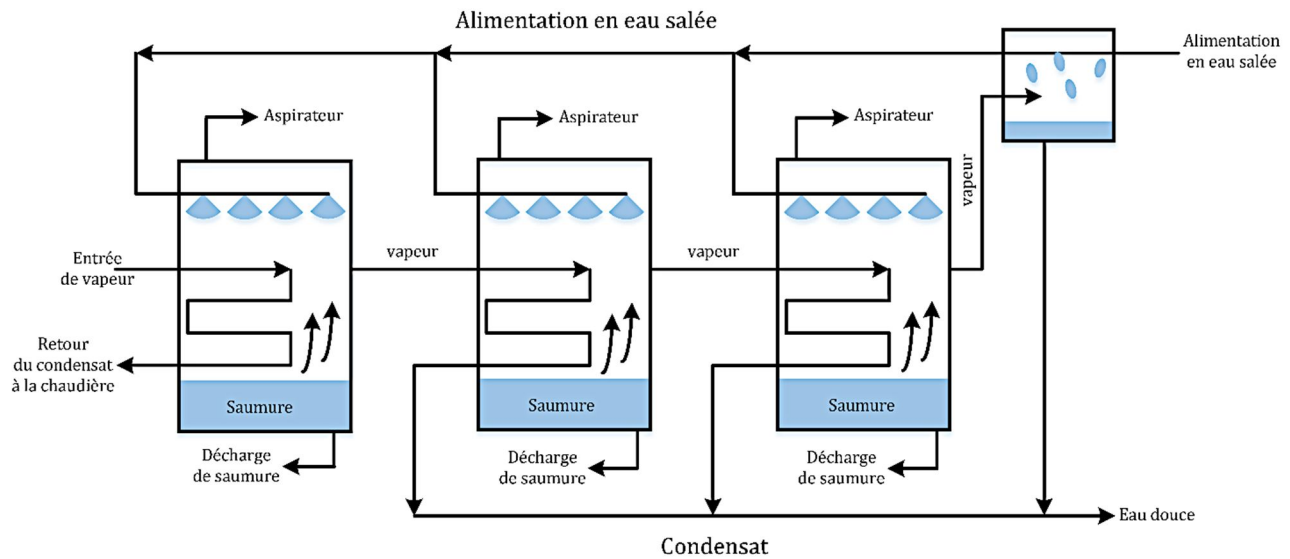


Figure 4: Diagramme du procédé de dessalement MED.[21]

C. Procédé de distillation par compression de vapeur :

Le procédé de distillation par compression de vapeur (VC) est couramment utilisé dans les petites et moyennes unités de dessalement de l'eau de mer. La chaleur d'évaporation est produite par la compression de la vapeur plutôt que par un échange direct de chaleur. La distillation par compression de vapeur utilise principalement deux méthodes pour condenser la vapeur et fournir la chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau de mer : le compresseur mécanique et le jet de vapeur. Le compresseur mécanique, généralement électrique, est très efficace car il utilise la vapeur comme source d'énergie. [17]

Le procédé VC chauffe l'eau de mer pour produire de la vapeur, comprime cette vapeur pour augmenter sa température, puis la condense pour produire de l'eau douce, avec une capacité pouvant atteindre 5 000 m³/jour et une consommation de 12 à 17 kWh/m³. [6]

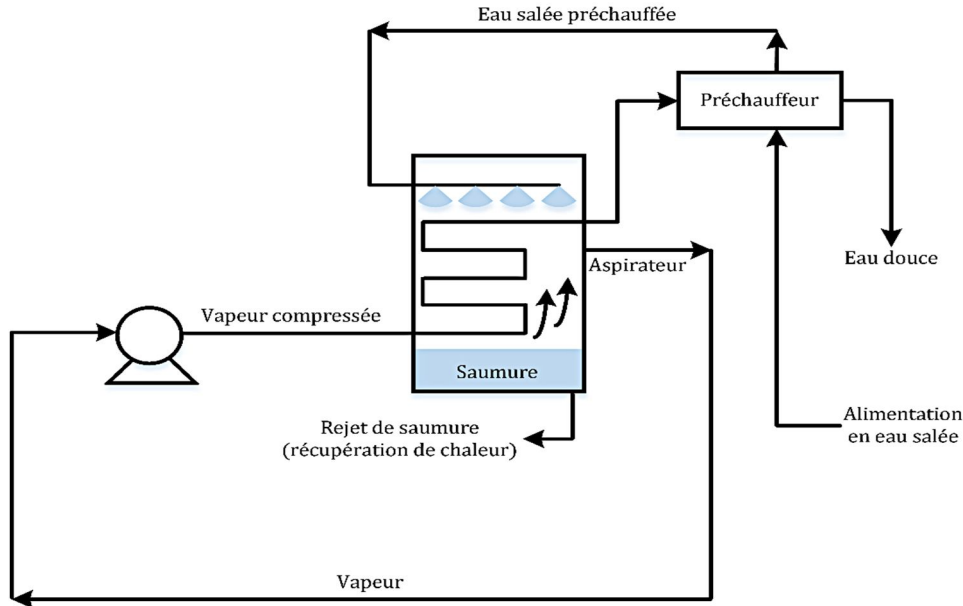


Figure 5: Diagramme du procédé de dessalement VC.[21]

3.1.2 Procède de congélation :

Le dessalement par congélation repose sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la théorie, la glace formée à partir d'eau de mer devrait être pure. Elle pourrait alors être séparée de la solution concentrée, puis fondue pour obtenir de l'eau douce. Mais en pratique, des contaminations ont lieu qu'il faut minimiser. Le procédé comporte un prétraitement, la formation de cristaux, leur lavage et leur fusion finale pour obtenir de l'eau douce. [20]

Ce procédé est particulièrement intéressant dans les régions où la température de l'eau de mer est souvent inférieure à 0 °C. [10]

3.2 Les procédés membranaires :

3.2.1 Dessalement par électrodialyse :

L'électrodialyse est une méthode électrochimique utilisant un courant continu pour séparer les ions à travers des membranes sélectives, éliminant ainsi le sel d'un flux d'alimentation, le concentrant dans un flux séparé. Cette technique permet la concentration et la déminéralisation des solutions ioniques en appliquant un gradient de potentiel entre des électrodes, séparées par des membranes échangeuses d'anions et de cations. Le champ électrique déplace les ions, les concentrant dans un compartiment et appauvrissant l'autre en sel.

L'électrodialyse soit moins compétitive en termes de consommation électrique par rapport à l'osmose inverse, elle est principalement utilisée pour le traitement des eaux saumâtres dont la concentration en sel est inférieure à 3 g.L-1. [6]

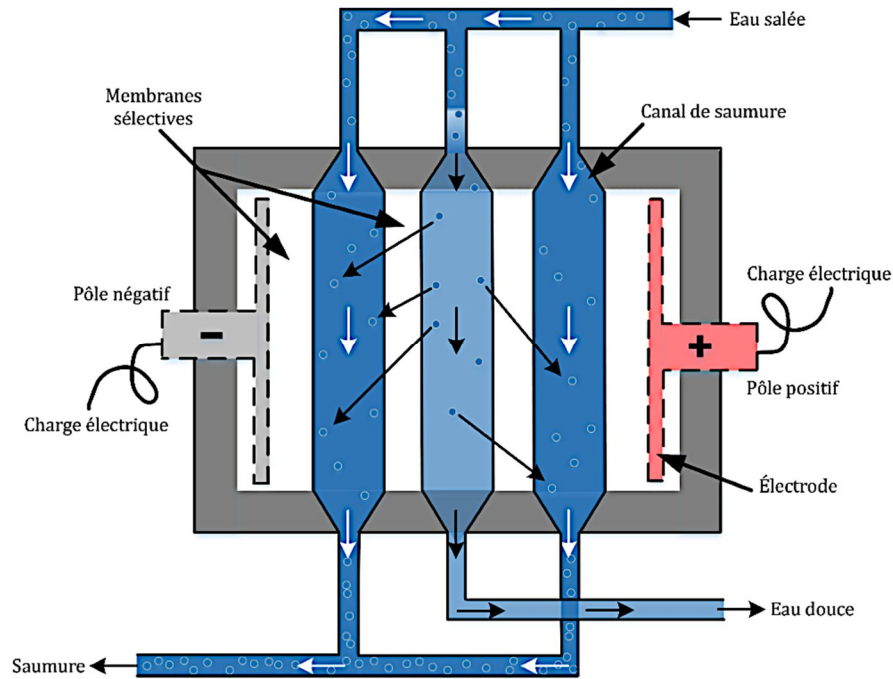


Figure 6: Schéma du procédé de dessalement ED.[21]

3.2.2 Dessalement par osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de filtration membranaire sous pression qui permet de purifier l'eau en éliminant efficacement les impuretés dissoutes et les microorganismes. La membrane semi-perméable utilisée agit comme un filtre extrêmement fin, rejetant les solides dissous, la matière organique, les virus et les bactéries présents dans l'eau d'alimentation, tout en laissant passer l'eau pure. [21]

L'osmose inverse est actuellement la technologie de pointe la plus fiable pour le dessalement de l'eau de mer et saumâtre, offrant une alternative efficace pour la production d'eau potable afin de réduire les coûts associés au dessalement. Son utilisation dans ce domaine a connu une croissance significative depuis les années 1950.[22]

A. Principe de l'osmose inverse :

L'osmose est un processus naturel dans lequel les molécules d'eau se déplacent spontanément d'une solution faiblement concentrée (faible pression osmotique) vers une solution hautement concentrée (pression osmotique élevée), à travers une membrane semi-perméable. Cette membrane ne laisse passer que l'eau et retient les solutés.[23] Le processus se poursuit jusqu'à ce qu'un équilibre osmotique soit atteint, où les potentiels chimiques de part et d'autre de la membrane s'égalisent. En appliquant une pression externe supérieure à la pression osmotique sur la solution la plus concentrée (solution d'alimentation), le flux d'eau peut être stoppé ou inversé. Ce processus, où l'eau est forcée à s'écouler dans la direction opposée à l'osmose naturelle, est appelé osmose inverse (OI).[22]

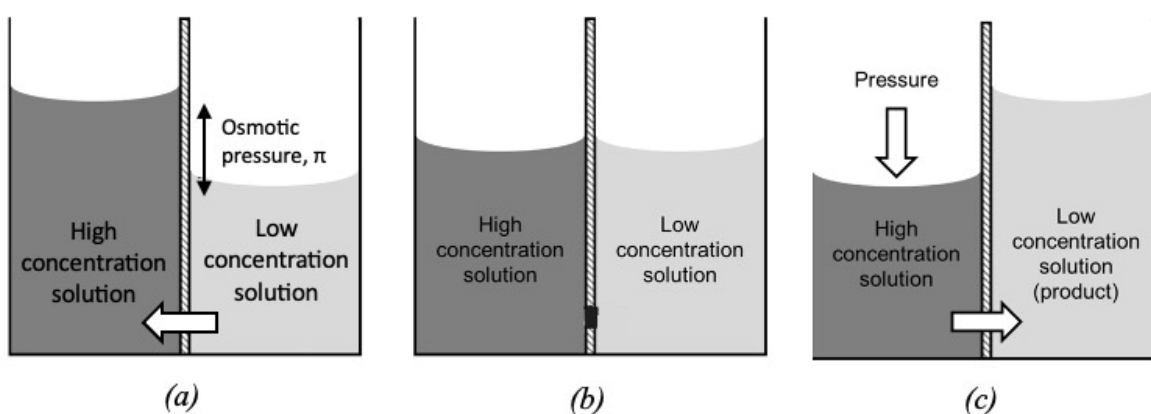


Figure 7: Schematic of (a) osmosis (b) osmotic equilibrium (c) OI

B. Les membranes d'osmose inverse :

Les modules de membranes d'osmose inverse pour le dessalement sont disponibles en quatre types : plaque plane, tubulaire, enroulé en spirale et fibre creuse.[24] Pour les applications industrielles, ces modules doivent offrir une densité de compactage élevée, ce qui permet d'avoir une grande surface de membrane dans un volume relativement petit. Cette conception compacte assure la compacité du processus, la facilité d'installation, de nettoyage et de remplacement des membranes, ainsi qu'un faible coût d'investissement.[25]

- Module enroulé en spirale :

Actuellement, le type de module le plus couramment utilisé pour le dessalement par osmose inverse est le module enroulé en spirale. Ils sont plus complexes que les modules à fibres creuses.[26] Comme illustré à la figure 8, cette architecture se compose de deux feuilles de membrane placées en vis-à-vis avec un espaceur de perméat (généralement en nylon ou dacron) intercalé entre elles pour former une feuille composite. Les feuilles de membrane sont collées sur trois de leurs côtés, le quatrième côté restant ouvert et relié à un tube collecteur de perméat perforé central.[27][22] Un espaceur en maille d'alimentation/concentré est ensuite ajouté à cet ensemble pour induire des turbulences et minimiser les phénomènes de polarisation de concentration. La combinaison des feuilles de membrane et des espaceurs d'alimentation/concentré est alors enroulée en spirale autour du tube collecteur de perméat central, puis insérée dans un récipient sous pression (également appelé boîtier ou caisson).[22]

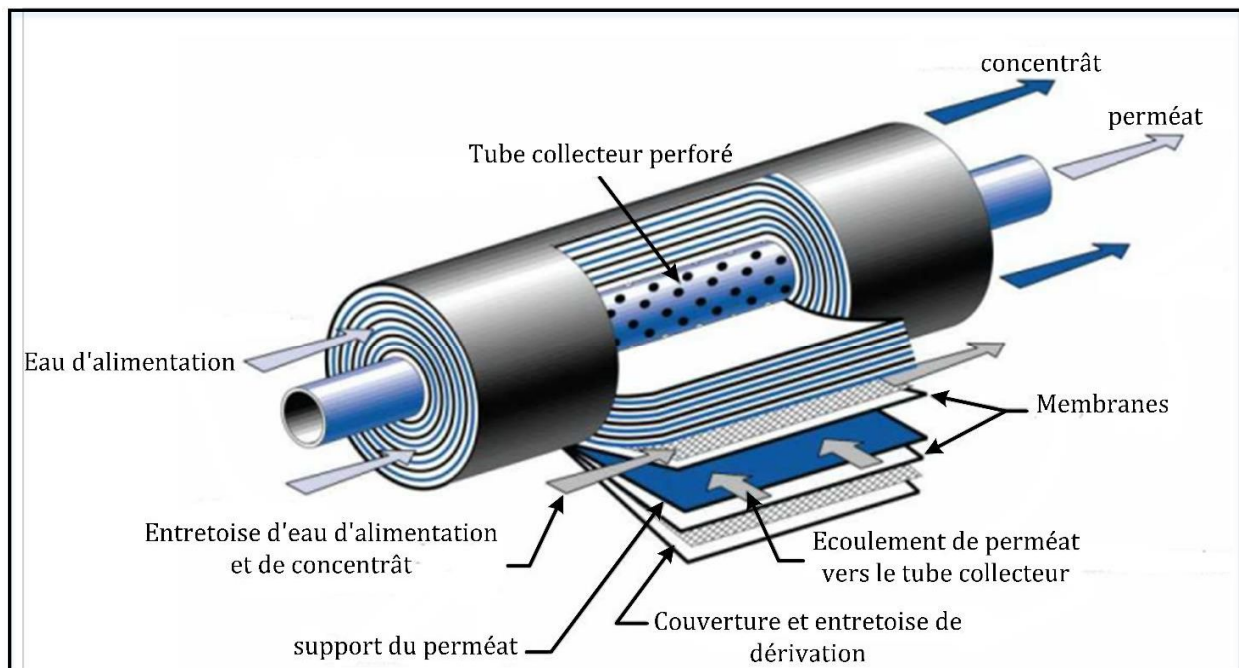


Figure 8: schéma de principe du module à membrane OI enroulé en spirale.[21]

Lors de l'opération, l'eau d'alimentation est introduite à une extrémité du module et circule axialement sur toute sa longueur. Sous l'effet de la pression appliquée, les molécules d'eau sont forcées à traverser la membrane sélective et sont collectées sous forme de perméat via le tube

collecteur perforé central. Le concentré, quant à lui, est évacué à l'extrémité opposée du module, à la sortie de l'alimentation.[22]

4. Avantages et Inconvénients des procédés de dessalement :

Tableau 5: caractéristiques des différents procédés [28]

Méthodes de dessalement	Avantages	Inconvénients
Multiple effet	Grande capacité de production Faible coût d'investissement Haut degré de pureté (<30 ppm) L'apport d'énergie indépendant de la salinité Service minimal	Dépendant du type d'énergie disponible Durée de construction longue Le contrôle de la qualité de l'eau difficile Rapport de production (30% -40%) Nécessite de Main-d'œuvre Encombrant
Osmose inverse	Adapte à l'eau de mer et saumâtre Flexibilité par rapport à la quantité et à la qualité d'eau Faible consommation d'énergie par rapport au MED et au VC Non encombrant Souplesse à l'arrêt et au démarrage du système	Basse qualité (250 – 500 ppm) Nécessite haute eau d'alimentation de qualité Investissement et coût d'exploitation relativement élevés Pression d'alimentation assez grande Durée de construction longue pour une production à grande échelle
Compression vapeur	Qualité de l'eau élevée (20ppm) Haute charge opérationnelle Durée de construction courte Souplesse d'exploitation et de production	Coûts d'exploitation élevés Fort consommation d'énergie Absence de contrôle de la qualité de l'eau
Electrodialyse	Exploitation à faible coût en capital Source d'énergie flexible Taux de conversion élevé (80%) Faible consommation d'énergie Faible encombrement et besoins en matériaux	Faible à la capacité de l'eau saumâtre à moyen (3000 ppm) Nécessite un prétraitement avec soin les aliments eau Faible capacité de production pureté affectée par la qualité de l'eau d'alimentation

Multi flash	Flexibilité de la salinité de l'eau d'alimentation La production de haute pureté (<30ppm) Grande capacité de production Exigences de compétence faible La production de l'eau et électricité Entrée haute énergie	Rapport de production faible (30% - 40 %) Coûts d'exploitation élevés Exigences élevées de construction potentiellement limite pour l'amélioration
--------------------	--	--

5. Dessalement en Algérie :

Objet d'une dynamique de développement qui s'est toujours placée au cœur des préoccupations des hautes autorités de l'État, les ressources en eau illustrent mieux que tout autre secteur le bond en avant spectaculaire réalisé par l'Algérie depuis le début des années 2000.[18]

En effet, le stress hydrique, qui a affecté le pays pendant les années 90, a amené les pouvoirs publics à engager un programme d'urgence pour sécuriser l'alimentation en eau potable des zones côtières, en recourant au dessalement de l'eau de mer.[18] Ainsi, l'Algérie exploite 14 stations de dessalement d'eau de mer, avec une capacité de production de 1,5 million de mètres cubes par jour,[28] réparties comme suit : Arzew (Oran : 86.000 m³/j), de Hamma (Alger : 200.000 m³/j), de Skikda (100.000 m³/j), de Beni Saf (Ain Temouchent : 200.000 m³/j), Mostaganem (200.000 m³/j), Fouka (Tipaza : 120.000 m³/j), Souk Tlala-(Tlemcen : 200.000 m³/j), Honein (Tlemcen : 200.000 m³/j), Cap Djinet (Boumerdès : 100.000 m³/j), Tenes (Chlef : 200.000 m³/j) et Maacta (Oran : 500.00 m³/j).[18]

Cependant, face à la demande croissante en eau douce, la nécessité d'accroître la capacité de production se fait ressentir.

Depuis plusieurs mois, l'Algérie s'efforce d'augmenter sa capacité de production d'eau douce. Il vise à doubler le nombre de stations de dessalement pour atteindre son objectif fixé : produire 1,3 milliard de mètres cubes d'eau douce dessalée d'ici 2024. Lors d'une interview accordée à la radio Chaîne 1, Boutabba a annoncé que d'ici décembre 2024, cinq nouvelles stations de dessalement entreront en service, augmentant encore le volume d'eau douce produite.[29]

Avec cette expansion à venir, le nombre total de stations de dessalement en Algérie passera à 19. Cette expansion permettra d'augmenter la production quotidienne d'eau douce du pays à un impressionnant volume de 3,6 millions de mètres cubes.[29]

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

Bien que le dessalement soit établi comme source fiable en termes de disponibilité d'eau potable non conventionnelle pour répondre à la demande croissante et résoudre les problèmes de pénurie d'eau, il est important de reconnaître les impacts environnementaux négatifs associés à cette technologie. Parmi les principaux impacts, on peut citer :

6.1 La saumure concentrée :

Le rejet de saumure concentrée en mer a un impact significatif sur l'écosystème marin, perturbant la faune et la flore en raison de sa salinité et température élevées.

Les produits chimiques et métaux présents dans la saumure contaminent l'environnement.[30] Les fuites de saumure près des côtes peuvent polluer les nappes phréatiques et les sols, entraînant une salinisation des terres agricoles. Ces rejets perturbent l'équilibre des écosystèmes marins et terrestres, réduisant la biodiversité et fragilisant les milieux naturels. [31]

6.2 Les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère :

Les usines de dessalement, principalement alimentées par des énergies fossiles comme le gaz ou le pétrole,[30] génèrent d'importantes quantités de CO₂ et d'autres polluants atmosphériques. Par exemple, une usine en Espagne rejette environ 680 grammes de CO₂ par mètre cube d'eau dessalée, ce qui représente des milliers de tonnes de CO₂ par jour pour une production importante. [32] Ces émissions locales contribuent de manière notable au réchauffement climatique mondial, avec l'Algérie représentant 0,36% de cette contribution. [33]

6.3 Les produits chimiques

Les produits chimiques utilisés pour le prétraitement et le nettoyage des membranes dans les usines de dessalement (biocides, antitartre, antisalissures, etc.) se concentrent dans la saumure rejetée en mer. [34] Cette saumure chargée chimiquement a un impact néfaste sur l'écosystème marin récepteur,[30] pouvant altérer la biodiversité floristique et faunistiques, aux abords des zones de rejet. De plus, en cas de fuite ou d'infiltration, ces produits chimiques risquent de contaminer les eaux souterraines et les sols, surtout lorsque les usines sont implantées à proximité du littoral.[35]

Donc, il est crucial de comprendre ces défis pour mettre en place des solutions durables et concilier les besoins en eau avec la préservation de l'environnement.

Chapitre 3 : Étude de cas des stations de
dessalement SONACTER à Mostaganem et
MACTAA à Oran

1. Introduction

Face aux problèmes d'approvisionnement en eau, l'Algérie a lancé un programme ambitieux de stations de dessalement. Parmi ces stations, on peut citer l'usine de dessalement de Mostaganem (SONACTER) et l'usine de dessalement d'Oran (MACTAA). Ces deux stations utilisent le même procédé de dessalement, à savoir l'osmose inverse, mais différent au niveau du prétraitement de l'eau de mer (l'usine de dessalement de Mostaganem, utilise la microfiltration, et l'usine de dessalement d'Oran, emploie l'ultrafiltration).

Bien que les deux usines utilisent le même procédé de dessalement (osmose inverse), le choix du prétraitement (microfiltration pour SONACTER et ultrafiltration pour MACTAA) dépend de la qualité de l'eau de mer brute et des objectifs spécifiques de chaque projet.

2. Station de dessalement SONACTER

2.1 Situation géographique et topographique de la station de dessalement :

Le site de la station se trouve à l'extrémité du territoire de la commune de Mostaganem, à une distance de 12km environ de la ville, Les terrain envisagés à ce stade se trouvent au sud de la plage de l'oued Cheliff, ces terrains sont du domaine public. La station alimentera les agglomérations de Willaya de Mostaganem. [1]

2.2 Présentation de l'unité de dessalement de l'eau de mer SONACTER :

UTE O&M MTM Usine de dessalement à Mostaganem Union Temporaire Entreprise Opération et Maintenance dont le siège social se trouve à Madrid (Espagne), installé et opérationnel depuis 2007 à Mostaganem.

L'Usine de Dessalement de Mostaganem, sise à Plage de Cheliff (Mostaganem), a une capacité de production d'eau potable de 200.000 m³/jour. L'usine de Mostaganem est conçue pour fournir eau potable satisfaisant les exigences de qualité conformément aux prescriptions exigées et enfin avoir une consommation spécifique d'énergie électrique inférieur à la consommation spécifique d'énergie électrique garantie (3.40 KWh/m³). [36]



Figure 9: station de dessalement de l'eau de mer SONACTER [37]

2.3 Processus de dessalement appliqué dans la station de SONACTER :[36]

Le procédé de traitement d'eau de cette station consiste à :

- Un système de captage et pompage d'eau de mer
- Un système de prétraitement de l'eau de mer par filtration et microfiltration
- Un système de déminéralisation de l'eau micro-filtre par osmose inverse
- Un système de reminéralisation de l'eau déminéralisé
- Un système de pompage de l'eau reminéralisé vers réseau de distribution
- Un système d'évacuation de saumure et sous-produits

2.3.1 Captation de l'eau de mer :

Le système de captage a pour but impulser vers le prétraitement de l'eau de mer en quantité et à la pression nécessaire pour produire la quantité d'eau potable désirée.

- Tours de captage :

L'eau de mer est captée à travers deux tours de prise connectées au réservoir de pompage par deux tuyauteries submergées à environ 2,5 km de la côte et 16,5 m de profondeur. Les tours de prise sont équipées de grilles en PRFV de 3,89 x 1,42 m avec des trous de 3,54 x 1,30 cm, qui empêchent le passage de poissons, méduses, cailloux et autres éléments de grande taille.

Un système anti-méduses a été conçu pour générer un rideau d'air autour des grilles afin de faire flotter ces éléments vers la surface et éviter l'obturation des grilles.

- Système de pompage de l'eau de mer :

Le système de pompage d'eau de mer fournit la quantité et la pression nécessaires pour la production d'eau potable. Les pompes de captage ont été dimensionnées pour un débit de 2380 m³/h à 67 m.c.e. Elles sont équipées de variateurs de fréquence pour ajuster le point de travail et maintenir une pression constante de 2,5 bars à l'aspiration des pompes haute pression avant l'osmose inverse.

2.3.2 Système de prétraitement :

L'objet du système de prétraitement est conditionné l'eau de mer du point de vue physique, biologique et chimique pour protéger et maximiser la performance du système d'osmose inverse.

A. Prétraitement chimique :

- Dosage d'hypochlorite de sodium

Il s'agit d'un système de dosage pour la désinfection de l'eau de mer qui se compose de 3 réservoirs de 60.000 l chaque un et un *skid* de dosage de 2+1 pompes à membrane chargées du dosage d'hypochlorite de sodium dans les tours de captage et dans le réservoir de captage.

La détermination de la dose d'hypochlorite de sodium nécessaire doit se faire par analyse de l'eau de mer en laboratoire.

- Dosage de permanganate de potassium :

En dépit de l'efficacité générale de l'hypochlorite contre les macro-incrustations dans les tours de captage et les tuyauteries, certains mollusques peuvent devenir résistants à l'hypochlorite de sodium. Dans de tels cas, l'utilisation du permanganate de potassium peut se révéler plus efficace.

- Dosage d'acide sulfurique :

Le procédé de coagulation-floculation est plus efficace à pH bas. Le système de dosage d'acide sulfurique a pour fonction de réduire le pH de l'eau de mer afin d'optimiser le rendement de ce procédé.

- Dosage de chlorure ferrique (coagulant) :

Le système de dosage décrit vise à coaguler l'eau brute avant la filtration. Il comprend deux réservoirs de 40 000 litres chacun et un *skid* de dosage équipé de cinq pompes à membrane, qui injectent du chlorure ferrique à l'entrée de chaque étape de filtration et pour chaque ligne.

La dose de chlorure ferrique nécessaire est déterminée soit en laboratoire, soit en mesurant l'efficacité du système de filtration avec un mesureur automatique de SDI ASDI-4001-X placé à l'aval de la microfiltration.

- Dosage de poly-électrolyte (floculant) :

Le système de dosage de floculant dans l'eau brute comprend deux réservoirs de traitement de 2 500 litres chacun et un skid de dosage avec trois pompes à membrane pour l'injection du floculant dans les mélangeurs statiques à l'entrée de chaque étape de filtration. Chaque réservoir de traitement est équipé d'un agitateur pour une meilleure répartition du floculant et de l'eau de dilution.

La quantité de poly-électrolyte nécessaire est déterminée en laboratoire ou en mesurant indirectement l'efficacité du système de filtration avec un mesureur automatique de SDI ASDI-4001-X situé en aval de la microfiltration.

- Dosage de soude caustique :

La fonction du système de dosage de soude caustique est d'augmenter le pH de l'eau micro-filtrée afin d'améliorer l'élimination de certains ions, comme le bore, par osmose inverse, ce qui est plus efficace à des valeurs de pH élevées. Le système comprend un réservoir de 40 000 litres et un skid de dosage avec trois pompes à membrane pour injecter la soude caustique dans les mélangeurs statiques après les filtres à cartouches.

La quantité de soude caustique nécessaire est déterminée à l'aide du pH-mètre 4001-X situé en aval du système de microfiltration.

- Dosage de métabisulfite de sodium :

Il s'agit d'un système de dosage pour la réduction et l'élimination des résidus de chlore dans l'eau d'entrée aux membranes. Le système est composé de deux réservoirs de traitement de 10 000 litres chacun et d'un skid de dosage avec trois pompes à membrane pour injecter du métabisulfite de sodium dans le mélangeur statique après les filtres à cartouche.

La quantité de bisulfite de sodium nécessaire est déterminée à l'aide du mesureur de la teneur en chlore de l'eau de mer CIT 1001-X situé en aval des pompes d'eau de mer.

B. Prétraitement physique:

B.1 Système de Filtration

Le système de filtration est conçu pour éliminer les flocons et les particules en suspension dans l'eau de mer, protégeant et améliorant la performance du système d'osmose inverse.

Il est recommandé de maintenir la SDI (Standard Déviation Index) inférieure à 3 à la sortie du système de filtration et avant le système de microfiltration. Si la valeur SDI recommandée est atteinte à la sortie de la première étape de filtration, la deuxième peut être bypassée.

- Filtration de première étape :

L'usine est équipée de deux lignes de filtration en première étape, chacune comprenant douze filtres (mixtes à sable-anthracite) horizontaux à pression. Fonctionnent à une vitesse de 8,45 m³/h/m², Chaque filtre a une surface moyenne de filtration de 91,39 m², un diamètre de 4,00 m et une longueur totale de 24,04 m.

- Filtration deuxième étape :

Ils existent deux batteries munies de huit (8) filtres de pression horizontale chacune, travaillant à une vitesse de 12.87 m³/h/m².

Chaque filtre a une surface filtrante moyenne de 90,04 m² et leurs dimensions et caractéristiques sont les mêmes que celles des filtres à sable de la première étape.



Figure 10: système de filtration [38]

B.2 Système de microfiltration

La fonction du système de microfiltration est protégée le système d'osmose inverse empêchant le passage des particules suspendues dans l'eau filtrée non-retenues par les filtres au système de pompage d'haute pression. La microfiltration ne permette pas passer que des particules de taille inférieure à 5 microns.

Le système de microfiltration consiste à deux lignes équipées avec neuf (9) filtres chacune (FC-4001-1/18).

Chaque filtre est muni de 360 cartouches de 1250 mm de longueur. Le débit unitaire par cartouche est de 2,85 m³/h, lorsque les neuf seront en activité.

Les cartouches sont logées dans une carcasse en PRFV. Les cartouches sont fabriqués en polypropylène de 1250 mm de longueur.

2.3.3 Système d'osmose inverse :

Le système d'osmose inverse est la cour de l'usine et sa fonction est réduire la teneur en sels de l'eau micro-filtrée. Le système d'osmose inverse est composé par les sous-systèmes suivants :

A. Le système de pompage d'haute pression et récupérateur d'énergie :

Le système de pompage d'haute pression est impulser l'eau microfiltrée vers les châssis d'osmose inverse avec la pression nécessaire pour vaincre la pression osmotique en assurant la production du débit d'eau déminéralisée désirée.

Juste 65% du débit d'eau microfiltrée requis sera impulsé vers les châssis par les pompes d'haute pression. Le reste du débit d'eau micro-filtrée requis sera pressurisé jusqu'à atteindre la pression d'attaque aux membranes nécessaires avec les échangeurs de pression (ERI) et des pompes booster.

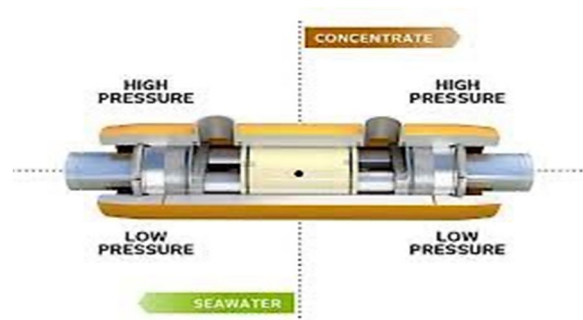


Figure 11: récupérateur d'énergie

B. Châssis d'osmose inverse :

Les membranes sont disposées en séries de sept unités dans un seul tube de pression. Ainsi, l'eau brute entre axialement par l'une des extrémités de la carcasse, traversant la première membrane. Ensuite, l'eau circule vers le collecteur central situé sur l'axe géométrique de la carcasse pour y être recueillie. Le flux d'eau rejetée atteint la membrane suivante où le processus se répète de manière continue jusqu'au septième élément. L'eau rejetée par ce septième élément est collectée à l'autre extrémité de la carcasse, puis évacuée vers l'extérieur.



Figure 12: les châssis d'osmose inverse

2.3.4 Système de reminéralisation et conditionnement de l'eau osmosée

Après l'osmose inverse, l'eau est reminéralisée pour (pour diminuer l'agressivité de l'eau et atteindre les valeurs d'alcalinité, dureté, pH, indice de Langelier et MTD garanties).

L'eau osmotique de chaque ligne d'osmose inverse est conduite vers la reminéralisation au travers de collecteurs indépendants. Chaque collecteur transporte le débit de chaque ligne de production, soit: 100,000 m³/jour.

L'eau est stockée dans un réservoir de 6 mètres de hauteur, permettant son passage à travers les lits de calcite par gravité. Le réservoir est divisé en deux pour maintenir l'indépendance des lignes de production.

Le système de reminéralisation est constitué de deux ensembles de lits de calcite (chacun est composé par 30 cellules de 14 m² de surface) et d'un procès de dosage de dioxyde de carbone. Dans la tuyauterie de raccordement du réservoir de l'eau osmotique avec le réservoir des couches à calcite se fait un dosage de CO₂. (CO₂ dissous dans l'eau, réagit avec le carbonate calcique du lit formant le bicarbonate calcique soluble, avec lequel le pH augmentera).

Après ce processus, la dureté et l'alcalinité de l'eau sont améliorées, mais un indice de Langelier positif n'est pas atteint en raison des conditions spécifiques du processus de reminéralisation.

2.3.5 Système de pompage d'eau produite :

L'eau minéralisée s'écoulant des réservoirs passe par gravité au réservoir de stockage. Un système de chloration est mis en place pour maintenir une dose d'hypochlorite résiduel à 1,5 ppm, prévenant ainsi la contamination de l'eau dans le réseau de transport externe. Le réservoir d'eau reminéralisée en béton armé, d'une capacité de 4000 m³, est équipé de capteurs de niveau, d'interrupteurs de niveau et de transmetteurs de pH.

L'eau est pompée vers le réseau de distribution par 8+1 pompes, fournissant 1150 m³/h à 51 mca par pompe. Dans le système de pompage, on trouve un débitmètre, des transmetteurs de pH, un analyseur de chlore, un transmetteur de conductivité et un turbidimètre.

3. Station de dessalement MACTAA

3.1 Présentation de l'unité de dessalement d'eau de mer MAGTAA :

TAHLYAT MYAH MACTAA, par abréviation TMM, est la plus grande station de dessalement d'eau de mer en Afrique. Cette société par actions a été créée en 2009 et est située à environ 45 km à l'est de la wilaya d'Oran, à la limite géographique avec la wilaya de Mostaganem, dans la commune de Mers el Hadjadj. Inaugurée en Juillet 2016 par l'ancien Premier Ministre Abdelmalek SELLAL, la méga-station de dessalement d'eau de mer d'El MACTAA a pour objectif de renforcer l'approvisionnement en eau potable de la wilaya d'Oran et de répondre aux besoins des wilayas avoisinantes telles que Mascara, Mostaganem, Ghilizane et Tيارت [39]. Avec une capacité de production de 500 000 mètres cubes par jour.



Figure 13: station de dessalement MAGTAA

3.2 Processus de dessalement appliqué dans la station de MAGTAA :

La chaîne de traitement peut être expliquée par les étapes suivantes :

- Système de captage et pompage de l'eau brute
- Système de prétraitement par ultrafiltration
- Systèmes d'osmose inverse
- Système de post-traitement
- Système de stockage d'eau traitée

3.2.1 Système de captage et pompage de l'eau brute

Une prise d'eau faite en pleine mer à 400 m se fait par trois tuyaux d'aspiration qui se terminent par une crépine. Le captage est effectué en zone profonde d'environ 10m, éloignée de la côte, protégée des pollutions et des forts courants, il n'est pas influencé par les rejets; cette eau entre vers la station par effet gravitaire avec une pression de 2 à 4 bars [40].

3.2.2 Système de prétraitement

A. Prétraitement physique

- La filtration mécanique

La première phase du traitement consiste à faire passer l'eau de mer à travers deux filtres de différents diamètres :

CBS : (corse bar screen) A l'entrée de la chambre de réception, il y a trois dégrilleurs comportant des mailles de 20mm de diamètre, permet l'élimination des grands organismes contenus dans l'eau de mer tels que les poissons.

TBS : (travelling band screen) Après, on passe par tamiseurs dont les mailles sont plus fines que celles du précédent (200 microns), permet le retrait des petits organismes.



Figure 14 : CBS



Figure 15 : TBS

- Système d'ultrafiltration UF

L'ultrafiltration est considérée comme l'étape la plus essentielle de prétraitement. Le système d'ultrafiltration se compose de cinq (5) compartiments comportant chacun 10 trains dont 9 seront mis en service et le dixième jouera le rôle d'un système de contre-courant (Back-Wash) ou il prendra la position d'un nettoyage sur place CIP ou encore il sera en maintenance. Des modules, avec un flux de 50 à 70 m²/h et une superficie de 70 m²/module, seront utilisés par le procédé de filtration. Chaque train est fourni d'un espace pouvant englober 160 modules.



Figure 16 : Train UF

B. Prétraitement chimique

- Le dosage anti-scalant (anticalcaires)

Un système qui permet d'injecter un produit anti-scalant dans l'eau filtrée avant qu'elle ne soit traitée par le système OI. L'anti-scalant est un produit chimique qui permet de prévenir la formation de tartre sur les membranes OI.

- Le dosage du méta bisulfite de sodium

Le métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) est utilisé pour éliminer le chlore de l'eau de mer avant qu'elle n'atteigne le système d'osmose inverse. Le système de dosage comprend deux réservoirs de stockage de SMBS avec mélangeurs et deux séries de pompes doseuses. Un réservoir alimente le dosage avant l'ultrafiltration, l'autre avant l'osmose inverse.

Les pompes du premier dosage injectent périodiquement et en continu la solution de SMBS dans l'eau d'alimentation juste avant le système OI. Théoriquement, 1,34 mg de SMBS permettent d'éliminer 1 mg de chlore, grâce aux propriétés réductrices du bisulfite de sodium.

- Le dosage de NaOH

L'hydroxyde de sodium (NaOH) est souvent injecté avant l'osmose inverse pour ajuster le pH de l'eau d'alimentation. Le pH peut avoir un impact important sur l'efficacité et la durée de vie des membranes OI. L'ajustement du pH avant l'osmose inverse doit être fait avec précaution pour éviter d'endommager les membranes par des conditions extrêmes.

Le dosage de NaOH doit être soigneusement surveillé et contrôlé pour maintenir un pH optimal. Les pratiques spécifiques varient selon les caractéristiques de l'eau d'alimentation et les exigences du système d'osmose inverse utilisé.

3.2.3 Système d'osmose inverse

L'osmose inverse est le cœur du processus de dessalement, où l'effet de dessalement se produit.

A. Pompes à haute pression

L'eau de mer filtrée est pompée à haute pression dans les trains d'osmose inverse par des pompes HP. Cela produit un perméat d'eau douce et un rejet concentré à haute pression. L'énergie haute pression du rejet est récupérée par un dispositif appelé Turbo Charger.

Chaque train OI est équipé d'une pompe HP en acier inoxydable centrifuge multi-étages. Au total, 25 pompes HP de 710 m³/h et 40 bars sont installées.

B. Le traitement d'osmose inverse

L'osmose inverse implique l'installation de 25 trains, répartis en deux lignes parallèles, avec le premier Stream contenant 12 trains et le deuxième Stream contenant 13 trains. Chaque train est composé de 216 modules montés en parallèle et génère environ 876 m³/h de débit. La pression de travail est d'environ 50 à 60 bars. Chaque tube de pressions contient 07 membranes d'OI, qui sont placés en série.

De la totalité des eaux alimentant les trains, seules 45% seront converties en eau potable et subiront un post-traitement tandis que le reste (eau de mer concentrée à teneur élevée en solides dissous totaux) sera rejeté dans la mer.

3.2.4 *Système de post-traitement*

Après l'étape d'osmose inverse, l'eau dessalée doit passer par une étape essentielle appelée poste traitement afin de répondre à certaines exigences finales de l'eau traitée.

A. Système de dosage de chlore à l'hypochlorite de sodium :

Système qui permet d'injecter ce désinfectant dans l'eau pour éliminer bactéries, virus et champignons. Son but est de maintenir une concentration en chlore résiduel dans l'eau traitée, réduisant la présence de chlore après l'ultrafiltration et l'osmose inverse qui ont déjà éliminé une grande partie des matières organiques.

B. Système de dosage du dioxyde de carbone :

Le système de dosage du CO₂ est crucial pour améliorer la qualité de l'eau, nécessitant un choix adapté et une utilisation sécurisée. Deux réservoirs de stockage de dioxyde de carbone sont prévus pour chaque flux, avec une vanne de régulation pour maintenir une concentration de CO entre 53 et 66 mg/l.

C. Système de dosage de la chaux :

Le système de dosage de la chaux se compose de plusieurs équipements permettant le stockage de la chaux en poudre, la préparation de la solution de chaux saturée et son injection dans l'eau.

La chaux en poudre est stockée dans deux (2) silos construits en acier et équipés d'un système de contrôle de la qualité de la poudre. Cette dernière est rajoutée dans un réservoir de dilution où elle se mélange avec une partie de l'eau perméat produite par le système d'osmose inverse.



Figure 17: système de dosage de la chaux

3.2.5 Système de stockage d'eau traitée

L'eau traitée est entreposée dans quatre vastes réservoirs, chacun ayant une capacité de 10 000 m³. La distribution de l'eau potable se divise en deux compartiments, et chaque compartiment est équipé de

Deux réservoirs installés en série. Cette configuration a pour objectif de répondre aux exigences de capacité de stockage nécessaires.



Figure 18: système de stockage d'eau traitée

4. Comparaison entre deux techniques de prétraitement

Le prétraitement est reconnu comme une étape clé dans les systèmes de dessalement par osmose inverse, influençant directement l'encrassement de la membrane et améliorer la qualité de l'eau d'alimentation, ce qui garantit un fonctionnement fiable et régulier. Cela permet d'augmenter la durée de vie de la membrane [22]. Les méthodes de prétraitement pourraient être choisies en fonction de l'analyse de la composition de l'eau d'alimentation et du type de contaminant rencontrés.

Les techniques de prétraitement conventionnelles incluent la coagulation, la désinfection et la filtration, tandis que les technologies membranaires, telles que la microfiltration, l'ultrafiltration et la nanofiltration, gagnent en popularité. Par conséquent, une tendance très significative inclut l'utilisation de technologies de prétraitement à base de membranes comme : microfiltration (MF), ultrafiltration (UF) et nanofiltration (NF) [41] [42]. La figure 19 montre que les procédés membranaires, tels que la MF et UF, ont suscité un intérêt de recherche considérable au cours de la dernière décennie [43].

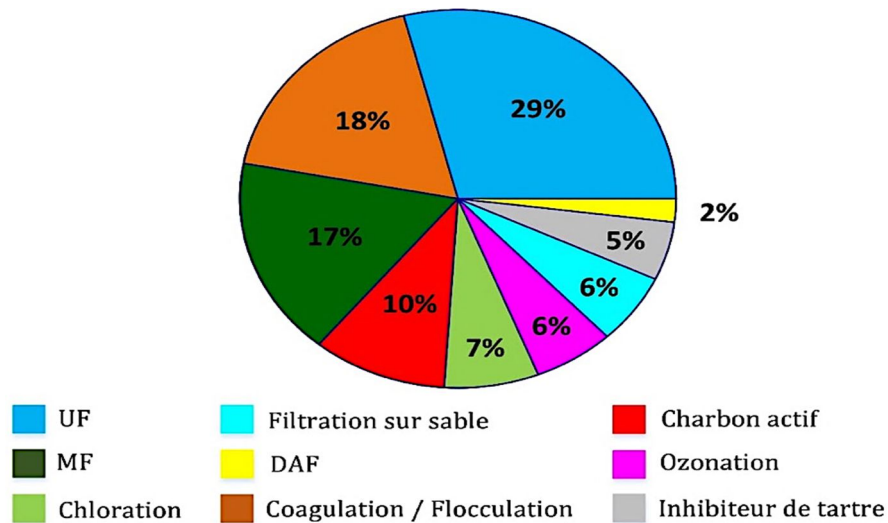


Figure 19: les technologies de prétraitement les plus couramment étudiées au cours de la dernière décennie.

4.1 Ultra filtration :

L'ultrafiltration (UF) est une méthode de séparation basée sur l'exclusion de taille sous pression, qui a été développée dans les années 1960 par Loeb et Sourirajan avec la découverte des membranes asymétriques en acétate de cellulose. Les membranes d'UF ont des pores typiquement de 10 à 1 000 Å et peuvent retenir des molécules pesantes entre 300 et 1 000 000 Da. Les pressions de fonctionnement varient généralement de 0,2 à 4 bars. Les substances rejetées incluent des biomolécules, des polymères, des particules colloïdales, des émulsions et des micelles. L'UF est largement utilisée dans divers secteurs tels que l'alimentation, la biotechnologie, la pharmacie, la chimie et la production d'eau [44].

4.2 Microfiltration :

La microfiltration (MF) est un procédé de séparation sous pression similaire à l'ultrafiltration, utilisant des membranes avec des pores typiquement de 0,1 à 1,0 µm. Les applications de la MF comprennent la concentration, la purification et la séparation des macromolécules, des colloïdes et des particules en suspension dans une solution. Ce traitement est largement employé dans divers secteurs, notamment l'industrie alimentaire pour des applications telles que la clarification du vin, des jus et de la bière, le traitement des eaux usées, ainsi que la séparation du plasma sanguin à des fins thérapeutiques et commerciales [44].

Tableau 6: les avantages et les inconvénients des techniques de prétraitement UF et MF [43] [45]

TECHNIQUES	Microfiltration	Ultrafiltration
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des dosages chimiques. - Faible pression de fonctionnement requise. - Faible consommation d'énergie dans les unités semi-inactives par rapport à la nanofiltration ou à l'osmose inverse. - Ne nécessite pas de transitions de phase énergivores comme la technique d'évaporation. - Une surface de filtration très importante : la forte compacité de la fibre induit directement la filtration d'un plus grand volume d'eau. - Un débit de sortie important - Une bonne tolérance vis-à-vis du colmatage : les matières en suspension restent en surface de la membrane tubulaire, ce qui réduit le colmatage de cette dernière pour une plus longue durée d'utilisation des filtres. - Une bonne résistance vis-à-vis des variations physico-chimiques de l'eau : dureté élevée ou faible, haute concentration en chlore ou désinfectants, pH acide ou basique, 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité à rejeter un large éventail de contaminants allant des matières organiques en suspension au limon, en passant par les agents pathogènes et les virus. - Le taux de récupération élevé du système et l'excellente qualité du produit permettent une séparation et une purification efficaces avec une concentration élevée. - Élimine l'augmentation du pH avant l'étape SWRO. - Réduire les ajouts continus de chlore ou les dosages intermittents. - Aucun changement de phase ni impact négatif sur la composition des substances, le processus se déroule à température ambiante, idéal

	<p>pression et température du réseau élevées.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une haute capacité de rétention bactérienne pour une durée de vie allongée. - Une action bactériostatique de surface visant à limiter les contaminations croisées et les rétro-contaminations. - Un coût réduit adapté à un renouvellement régulier (produit à usage unique). 	<p>pour les matériaux sensibles à la chaleur.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faible consommation d'énergie, cycle de production court, coûts d'exploitation réduits par rapport aux équipements traditionnels, améliorant l'efficacité économique. - Structure compacte, intégration avancée, facile à utiliser et entretenir, répondant aux normes de production GMP ou FDA. - Diminution de la production de boues.
<p style="text-align: center;">Inconvénients</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'une importante consommation d'eau pour le lavage et la régénération des membranes. - Impossible de rejeter les virus. - Sensibilité aux produits chimiques oxydants comme les peroxydes, persulfates, nitrates et sulfates à fortes concentrations. - Les particules dures et pointues > 0,1 mm peuvent causer des dommages aux membranes et 	<ul style="list-style-type: none"> - La membrane d'ultrafiltration (UF) ne peut pas éliminer efficacement les polluants organiques dissous, tels que la consommation d'oxygène, les UV254, l'azote ammoniacal, etc. - La mèche à membrane peut être cassée pendant l'utilisation, affectant la qualité des eaux usées.

	<p>nécessitent donc une préfiltration à pores plus ouverts.</p> <p>La membrane tombera en panne si elle est à nouveau rincée avec une pression supérieure à 1 bar.</p>	<p>Le système de membrane est fortement affecté par la température, ce qui peut entraîner une diminution rapide du débit répété de la membrane de lavage à contre-courant.</p> <p>La pollution membranaire est un sérieux problème lors de l'utilisation directe de la filtration membranaire par ultrafiltration.</p> <p>La technologie a un mauvais effet d'élimination des polluants chimiques dans l'eau, un faible impact sur les événements d'approvisionnement en eau, une sensation buccale légèrement pire que l'écoulement de l'eau, et ne peut pas réduire la dureté de l'eau.</p>
--	--	---

Chapitre 4 : Partie expérimental

1. Contrôle de qualité de l'eau

1.1 Réactifs et équipements

Tableau 7: réactifs et équipements

Équipements	Réactifs
Pipettes de 1, 2 ,5 et 10 ml	DPD: N-N Diethyl-P-phenylene Diamine.
Cuvettes cylindriques	Hydroxyde de sodium NaOH (1N)
Becher de 100ml	Indicateur colore murexide (0,02%) en NaCl
Erlenmeyer de 50, 250 ml	Solution tampon A (LCK 326 A)
Burette 50 ml	Eau distille
Papier de cellulose	Solution de (LCK 307)
Turbidimètre	Solution tampon pH=10
pH-mètre	Solution de phénophtaléine dans l'alcool a 1%.
Conductimètre	Solution de méthylorange a 0,5% ou indicateur mixte.
Colorimètre range 0-2 ppm	KIT LCK 339.
Spectrophotomètre DR 5000	KIT LCK 153
	KIT 328
	KIT Dosi Cap Zip
	KIT Fer LCK 321

1.2 Prélèvement :

Les échantillons d'eau ont été prélevés en vue de l'analyse physico-chimique. Le prélèvement d'un échantillon d'eau pour l'analyse physico-chimique est soumis à la procédure suivante :

- Le contenant doit être propre, mais ne doit pas être nécessairement stérilisé, nous avons utilisé des bouteilles en plastique de 500 ml et 1 L et parfois des bouteilles en verre qui sont au préalable rincé avec de l'eau distillée au moins trois fois.
- Il faut laisser couler l'eau a un débit maximal pendant 5-10 secondes et ensuite 2-5 minutes à débit moyen avant de prélever un échantillon.

1.3 Méthodes analytiques

1.3.1 Mesure de pH et température

Dans le laboratoire de station la mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH mètre.

- Mode opératoire
 - Allume le pH mètre
 - Lave l'électrode avec l'eau distillée
 - Agiter l'échantillon doucement et verser 100 ml de l'eau à analyser dans un bécher propre.
 - Rincer la sonde avec de l'eau ultra pure puis avec de l'eau a analyser.
 - Immerger l'électrode dans l'échantillon er essayer d'éliminer les bulles d'air au cours de la stabilisation de la mesure avec une simple agitation de la sonde et lire le pH.
 - Enregistrer la valeur du pH et de la température qui sont affichées sur l'appareil après stabilisation de la lecture.
 - Arrêter l'appareil.

1.3.2 Mesure de conductivité et TDS

Les mesures sont réalisées par conductimètre.

- Mode opératoire
 - Mettre l'appareil en marche.
 - Rince l'électrode avec l'eau distillée, puis avec de l'eau à analyser.
 - Immerger l'électrode dans l'échantillon.
 - Cliquez sur (cond) et lire la valeur de conductivité électrique après la stabilisation de la lecture
 - Puit cliquez sur (TDS) et lire la valeur de TDS après la stabilisation de la lecture.



Figure 20: pH-mètre



Figure 21: Conductimètre

1.3.3 Mesure de turbidité

Les mesures sont réalisées par turbidimètre

- Mode opératoire
- Allumer le turbidimètre attendre environ 30 min pour que l'appareil se stabilise avant de mesurer un échantillon.
- Remplir la cuvette en s'assure qu'il ne reste pas de bulles et bien la nettoyer.
- Mettre dans le turbidimètre et fermer le couvercle.
- Lire le résultat après quelle que minute.

1.3.4 Mesure de chlore libre

Les mesures sont réalisées par colorimètre

- Mode opératoire
- Remplir la cuvette avec l'échantillons en s'assure qu'il est bien nettoyé.
- Lire le zéro avec l'échantillon.
- Ajouter dans la cuvette 1 pastille de DPD (N-N Diethyl-P-phenylene Diamine) l'apparition de la couleur rose veut dire qu'il y a une présence du chlore.
- Placer la cuve dans le colorimètre.
- Mettre sur star, cela prendra 3min.
- Lire le résultat.



Figure 22 : colorimètre



Figure 23: turbidimètre

1.3.5 Mesure de titre alcalimétrique (TA, TAC)

- Mode opératoire :

Détermination du TA

- Prélever 50ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 20 ml.
- Ajouter 1 à 2 gouttes de phénophtaléine, une coloration rose doit alors apparaître.
- Titrer avec acide sulfurique 0,01 N.

Dans le cas contraire le TA est nul

Soit V_1 le nombre de millilitres d'acide versés.

Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas de coloration.

- Ajouter 2 gouttes de méthylorange.
- Titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orange (pH=4,3).

Soit V_2 le nombre de millilitres d'acide versé.

Calcule:

$$TA = N (H_2SO_4) \times V_1 \times 50,044 \times 1000 / V \text{ d'eau.}$$

$$TAC = N (H_2SO_4)$$

1.3.6 Mesure de dureté calcique

- Mode opératoire :
 - Prendre V_1 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml si la valeur de l'alcalinité est supérieure à 300 mg/l diluer jusqu'à avoir une alcalinité inférieure à 300mg/l
 - On ajoutera 2 ml de la solution de NaOH 1N ou une quantité suffisante pour avoir un pH qui se situe entre 12 et 13.
 - Ajouter une pointe de spatule de murexide 0,2%.
 - Titrer avec l'EDTA (0,02N) V_2 à la dernière goutte on a le virage de couleur qui passe du rose au pourpre.

Calcule :

$$\text{Ca (mg/l)} = N_{\text{EDTA}}(\text{eq/l}) \times V_2 \times 20,04 \times 1000 / V_1.$$

1.3.7 Mesure La dureté totale

- Mode opératoire:
 - Mesurer $V_1 = 10$ ml d'échantillon. Si la valeur de l'alcalinité de l'échantillon est supérieure à 300 mg/l, on prendra une dilution de l'échantillon tel que l'alcalinité de celle-ci se situera sur des valeurs inférieures à 300 mg/l.
 - Ajouter 1 à 2 ml de la solution tampon pH= 10, ainsi que 1 à 2 ml d'indicateur NET.
 - Titrer avec EDTA 0,02N (0,01M). Jusqu'à que le virage de couleur apparait du mauve au bleu et ceci à la dernière goutte V_2 .

Calcule :

$$\text{Dureté total} = N_{\text{EDTA}} \times V_2 \times 50,044 \times 1000 / V_1$$

1.3.8 Mesure de Bore

- Mode opératoire:
 - Pipette dans le test en cuve 1,0 ml de la solution A (LCK 307 A)
 - Pipette dans la même cuve 2,5 ml d'échantillon.
 - Fermer la cuve et mélanger le contenu de la cuve en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'à dissolution du lyophilisat.

- Attendre 40 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer avec le spectrophotomètre DR 5000.

1.3.9 Mesure de FER

- Mode opératoire :
 - Pipeter 2 ml de l'échantillons dans la cuve LCK 321
 - Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant, plusieurs fois de suite jusqu'à dissolution.
 - Attendre 15min bien nettoyé l'extérieur de la cuve et mesurer.

1.3.10 Mesure de Magnésium

- 1^{ère} méthode :
 - Mode opératoire :
 - Pipeter dans le test en cuve solution tampon A (LCK 326 A) 3 ml.
 - Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant, plusieurs fois de suite jusqu'à dissolution du lyophilisat.
 - Attendre 2 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.



Figure 24: les tests en cuve de Magnésium

○ 2^{ème} méthode :

Le magnésium peut être estimé par la différence entre la dureté de l'eau et le calcium exprimé en CaCO_3 .

$$\text{TH} = \text{D}(\text{Ca}^{2+}) + \text{D}(\text{Mg}^{2+})$$

Donc la dureté magnésienne calculée par :

$$\text{D}(\text{Mg}^{2+}) = \text{TH} - \text{D}(\text{Ca}^{2+})$$

1.3.11 Mesure de Nitrite

• Mode opératoire :

- Enlever délicatement la feuille de protection du Dosi Cap Zip détachable.
- Dévissez le Dosi Cap Zip.
- Pipeter 2.0 ml d'échantillon.
- Vissez immédiatement le Dosi Cap Zip, dirigeant le cannelage vers le haut.
- Secouer énergiquement jusqu'à dissolution.
- Attendre 10min, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

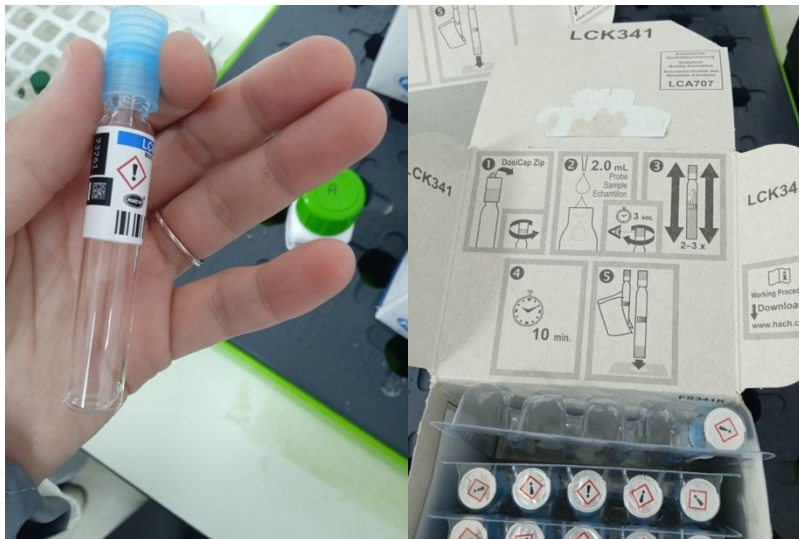


Figure 25: les tests en cuve de Nitrite

1.3.12 Mesure de Nitrates

- Mode opératoire :
 - Pipeter 1 ml d'échantillons dans la cuvette.
 - Ajouter lentement 0,2 ml du réactive A.
 - Agiter et laisser reposer 15 minutes, puis mesure.

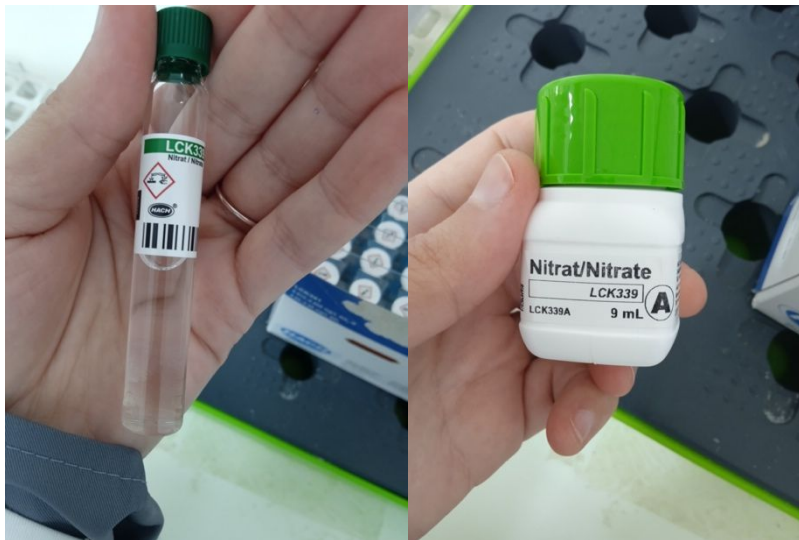


Figure 26: les tests en cuve de Nitrates et le réactive A

1.3.13 Mesure de Potassium

- Mode opératoire :
 - Pipeter 5 ml du réactive LCK 328.
 - Pipeter 1 ml de l'échantillon.
 - Bien mélanger la solution.
 - Laisser reposer 5 minutes et mesuré.



Figure 27: les tests en cuve de Potassium

1.3.14 Mesure de Sulfate

- Mode opératoire :
 - Pipeter 2ml d'échantillon dans la cuve.
 - Ajouter une spatule du réactif A.
 - Agiter pendant 1 min.
 - Attendre 30 secondes bien nettoyer la cuvette et mesurer.



Figure 28: les tests en cuve de Sulfates

1.3.15 Mesure de LSI

L'indice de saturation de Langelier (LSI) permet de définir la tendance agressive ou incrustante d'une eau. Il est calculé selon la formule suivante :

$$LSI = pH - pHs$$

à partir des paramètres suivants :

- Potentiel en Hydrogène (pH) de code Sandre n°1302.
- Potentiel en Hydrogène de saturation (pHs) de code Sandre n°8264.

Si LSI = 0 alors l'eau est inerte ; Si LSI < 0 alors l'eau est agressive ; Si LSI > 0 alors l'eau est incrustante

2. Interprétation des résultats

2.1 Les Résultats d'analyse

Tableau 8: les résultats d'analyses de l'eau produite (MAGTAA)

Paramètre	Unitès	Normes	1 jour	2 jour	3 jour	4 jour	5 jour	6 jour
pH	/	6,9 – 8,5	8,35	8,43	8,50	8,44	8,48	8,37
T	°C	< 26	15,9	17,0	17,3	17,3	17,3	18,1
TDS	mg/l	150 - 500	200	189	192	191	190	195
Durté totale	mg/l	80 - 150	100	100	114	112	116	100
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	≥60	65,8	64,10	65,10	65,10	64,10	65,00
LSI		0 – 0,4	0,02	0,01	0,06	0,00	0,04	0,10
Cl	mg/l	≥ 1	1,02	1,35	1,28	1,17	1,20	1,09
Calcium Ca ²⁺	mg/l CaCO ₃	< 200	53.32	52.9	55.3	57.1	69	56.12

Magnésium	mg/l CaCO ₃	< 150	42.8	42.28	41 .6	41.8	52.3	41.8
Bore	mg/l	≤ 1	0,263	0,263	0,265	0,266	0,266	0,267
Conductivité	μs/cm	< 2500	991	960	850	740	640	775
Turbidité	NTU	< 5	0,450	0,361	0,333	0,425	0,366	0.3998

Tableau 9: résultats d'analyses de l'eau produite (SONACTER)

Paramètre	Unitès	Norms	1 jour	2 jour	3 jour	4 jour	5 jour	6 jour
pH	/	6,9– 8,5	8,38	8,38	8,39	8,32	8,35	8.33
T	C	<26	18,3	19	19.3	18.9	19.6	18.8
TDS	mg/l	150 - 500	215	214	213	214	215	214
Dureté totale	mg/l CaCO ₃	80 - 150	72	77	79	73	75	73
Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	≥60	60	61	61.2	60.2	60.1	60.1
LSI	/	0 – 0,4	0,05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05
Cl	mg/l	≥ 1	0,34	0,34	0,34	0,33	0.33	0.34
Ca ⁺⁺	mg/l CaCO ₃	< 200	38	38.6	38	38.2	39.1	39
Mg ⁺⁺	mg/l CaCO ₃	< 150	34	39.33	41.31	35,78	36.11	34.13
Conductivité	μs/cm	< 2500	443	443	444	442	442	443
Turbidité	NTU	< 5	0,95	1,14	0,96	1,54	1.49	1.52

2.2 Comparaison entre les résultats obtenus

En comparants les résultats des eaux produites des 02 stations on a constaté qu'il y a une certaine différence dans la qualité d'eau, selon les 02 tableaux

2.2.1 pH :

Le pH est une mesure de l'acidité d'une substance, déterminée par la quantité de ions sans hydrogène (H) dans la substance. C'est une propriété cruciale de l'eau, car elle permet la comparaison des ions les plus solubles. Le pH varie de 1 à 14, avec une valeur plus élevée pour les substances acides et des valeurs plus faibles pour les matières basiques.

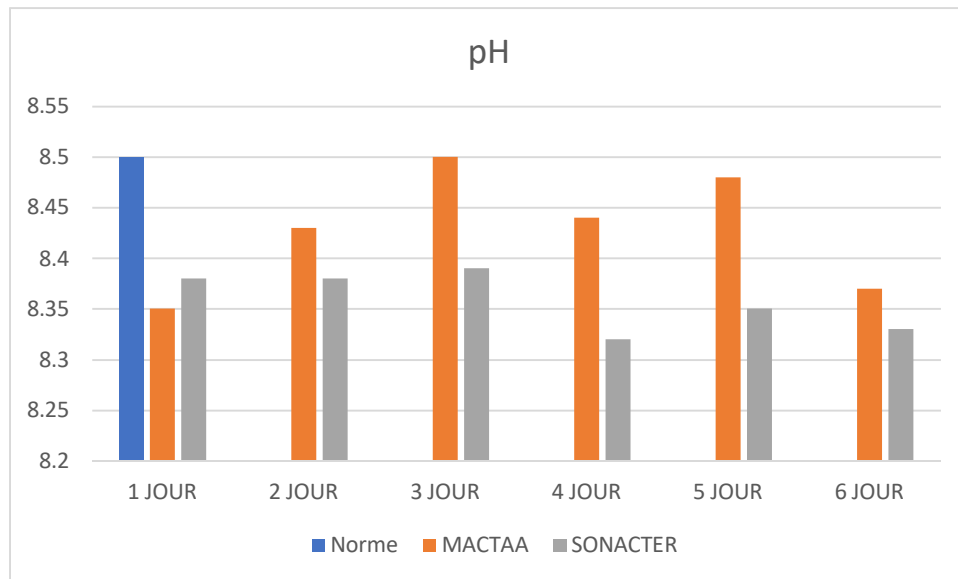


Figure 29: variation du pH

Une différence notable dans les valeurs de pH est observée entre les eaux produites au stations MAGTAA et SONACTER. La moyenne du pH de l'eau produite au MAGTAA est de 8,42, tandis que la moyenne du pH de l'eau produite au SONACTER est de 8,35.

2.2.2 Température :

C'est important de connaitre la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du PH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuel, ect.

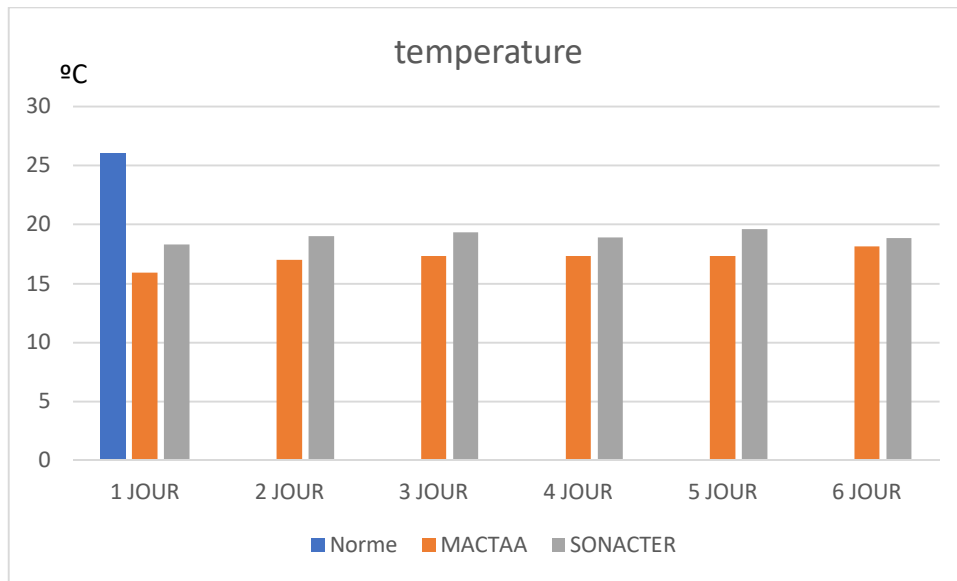


Figure 30: variation de température

Les relevés de température indiquent que l'eau produite au station SONACTER présente une température plus élevée que celle produite au station MACTAA.

2.2.3 TDS :

Le total des solides dissous ou TDS présentes dans l'eau potable a été fixe a ≤ 500 mg/l. Une concentration plus grande peut rendre l'eau trop dur, lui donner un mauvais gout et entrainer des dépôts minéraux et de la corrosion. En revanche, la présence de faibles concentrations de TDS dans l'eau contribue à lui donner bon gout.

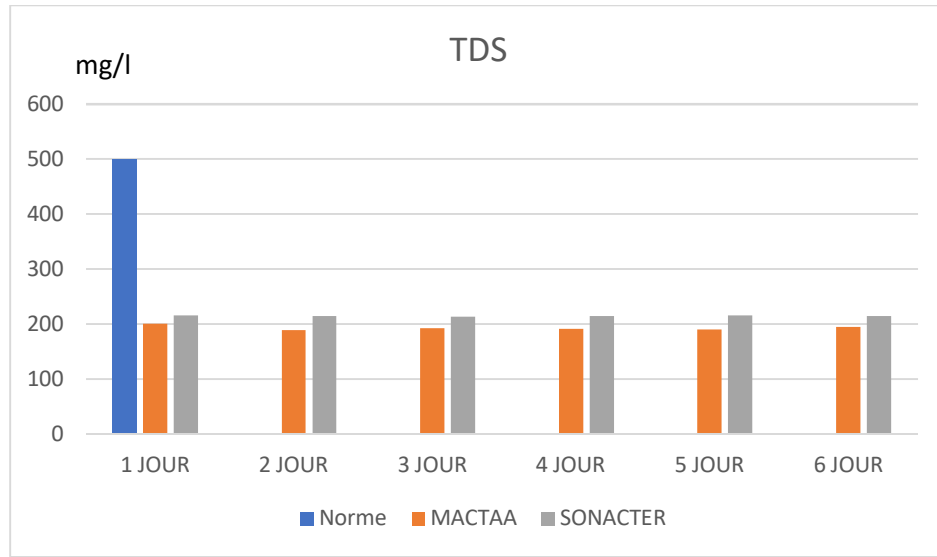


Figure 31: variation de TDS

La petite différence de TDS entre l'eau obtenue à la station de MACTAA et l'eau obtenue au SONACTER est notable, avec des valeurs moyennes respectives de 192,83 et 214,16 mg/l.

2.2.4 La dureté totale :

La dureté de l'eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium.

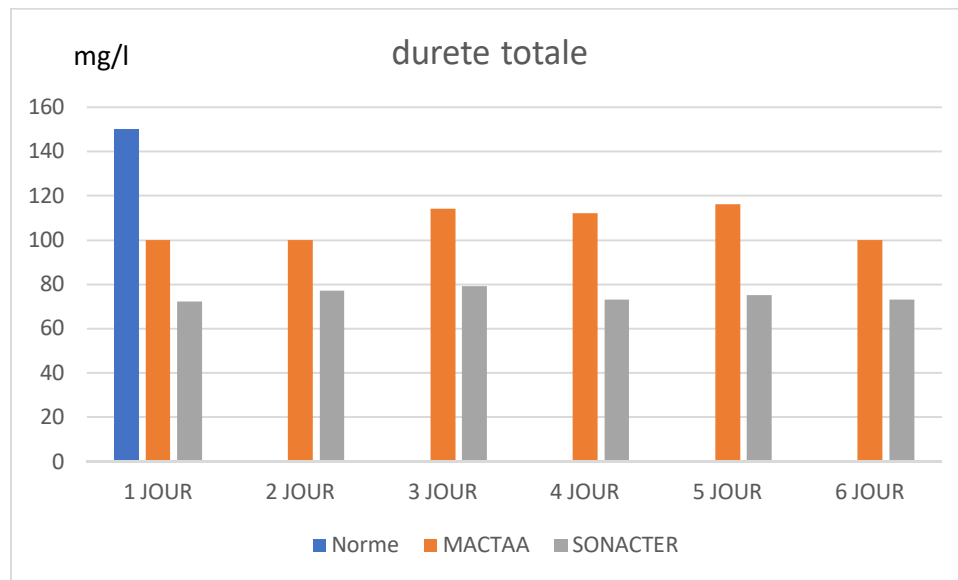


Figure 32 : variation de la dureté totale

Les valeurs de la dureté de l'eau produite au MACTAA se situent entre 100 et 116 milligrammes par litre (mg/l) de (CaCO₃). Ces valeurs sont significativement plus élevées que celles de l'eau produite au SONACTER, qui varient entre 72 et 79 mg/l de CaCO₃.

2.2.5 L'alcalinité

L'alcalinité correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions hydrogène (OH⁻), les ions carbonates (CO₃⁻²) et les ions bicarbonates (HCO₃⁻).

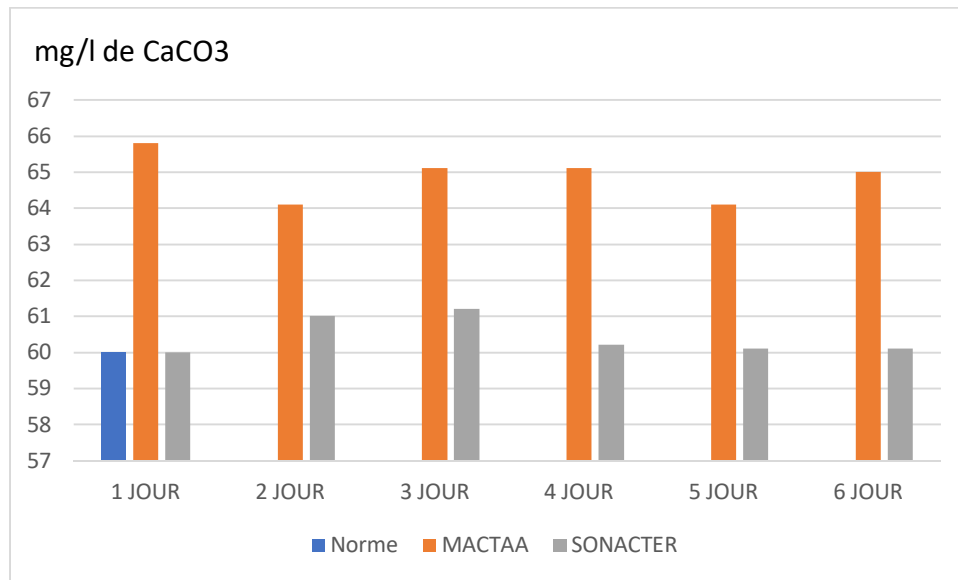


Figure 33: variation de l'alcalinité

Une différence significative a été observée entre les valeurs d'alcalinité de l'eau produite par les deux systèmes de traitement. L'eau traitée au MACTAA présente des valeurs d'alcalinité plus élevées, comprises entre (64,1 et 65,8) mg/l de CaCO₃ comparées à celles de l'eau traitée au SONACTER, qui se situent entre (60 et 61,2) mg/l de CaCO₃.

2.2.6 LSI :

Le LSI est un calcul qui nous indique l'état corrosive ou incrustant de l'eau.

Cet indice devra se situer entre (0 et 0,4)

Si le : $LSI = 0$ l'eau est en équilibre chimique

Si le $LSI < 0$ l'eau a une tendance corrosive

Si le $LSI > 0$ l'eau a une tendance incrustante

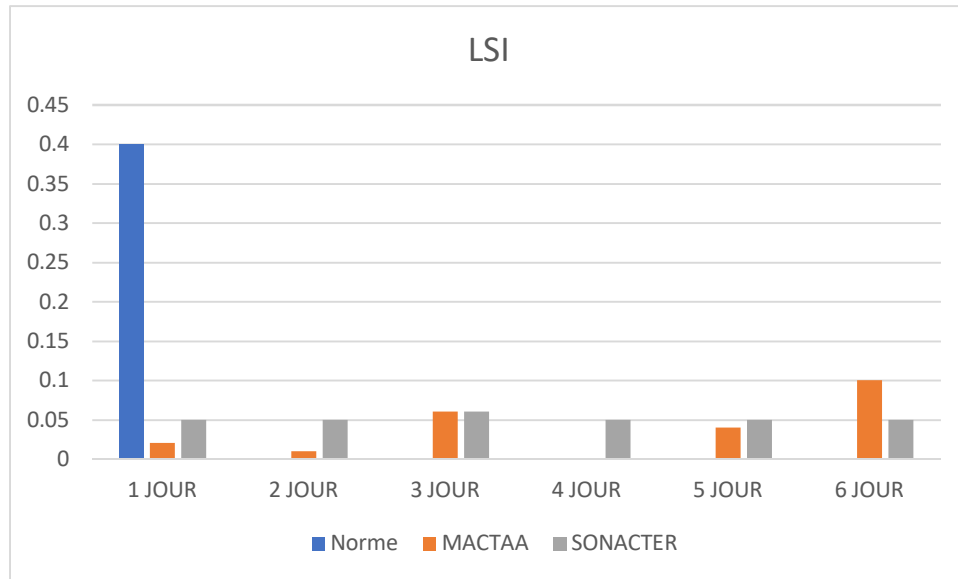


Figure 34: variation de LSI

Le rapport de LSI (Langelier Saturation Index) entre les eaux produites au MACTAA et SONACTER montre un déséquilibre notable entre les valeurs de LSI de l'eau produite au MACTAA. Cependant, il existe un certain équilibre entre les valeurs de LSI de l'eau produite au SONACTER.

2.2.7 Chlore :

Le chlore introduit dans l'eau est consommé prioritairement par les matières organiques pour donner du chlore combiné à faible pouvoir germicide, indésirable pour la santé et donnant un mauvais goût à l'eau

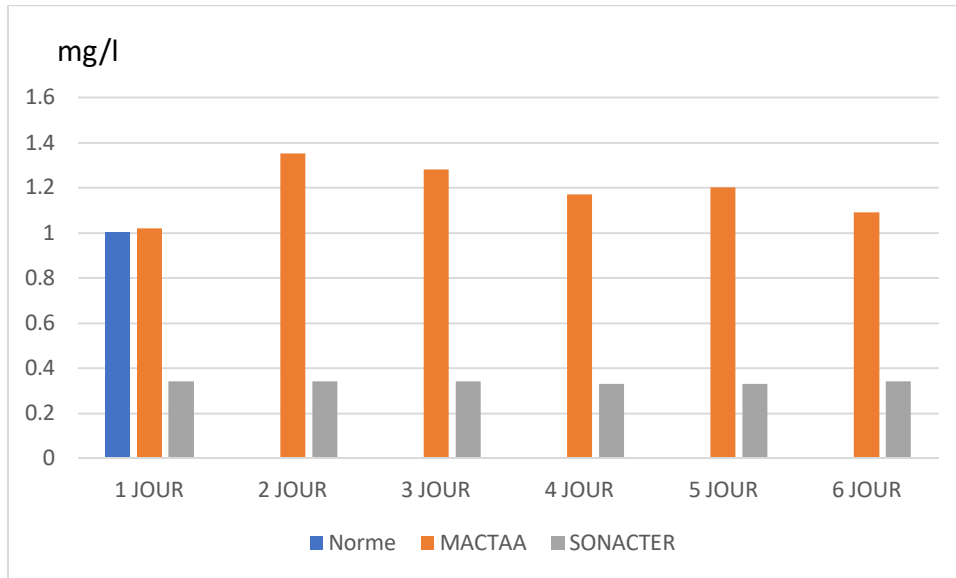


Figure 35: variation de la concentration en chlore

La concentration en chlore de l'eau produite au SONACTER est faible et ne respecte pas les normes, contrairement à celle produite au MACTAA.

2.2.8 Concentration en cations de Ca^{++} et Mg^{++} :

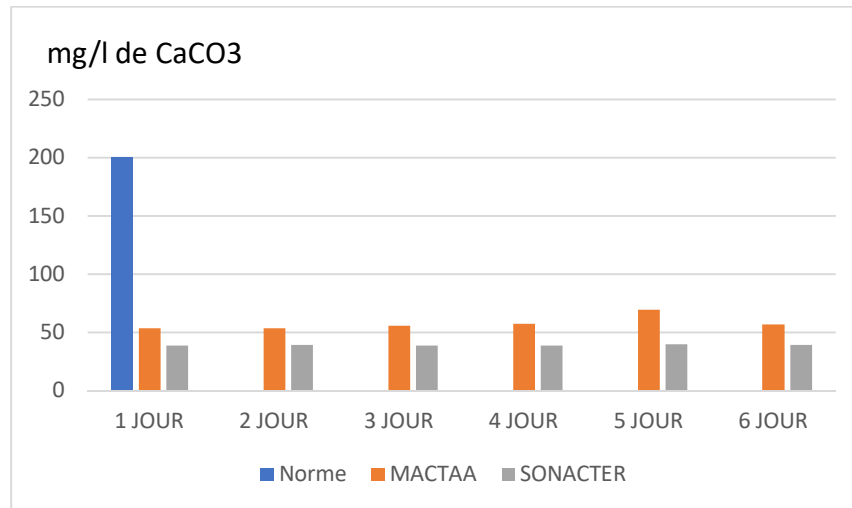


Figure 36: variation de concentration en cation Ca^{++}

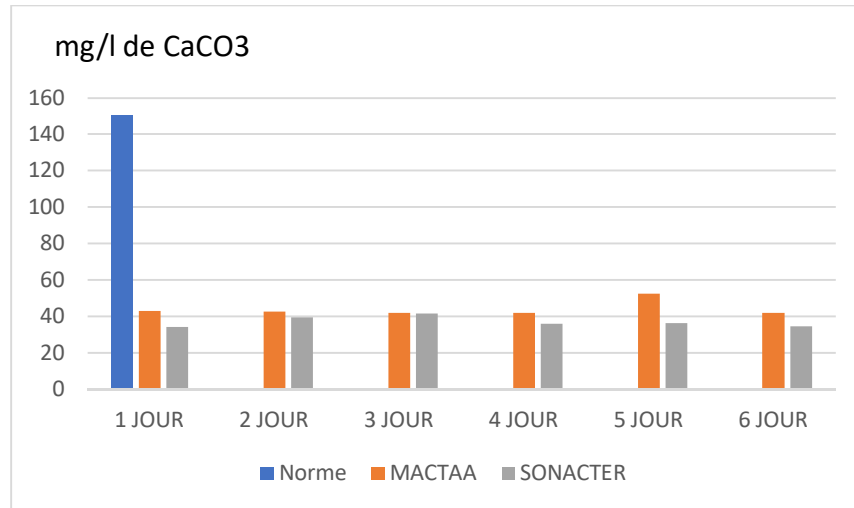


Figure 37: variation de concentration en cation de Mg^{++}

La teneur en magnésium et calcium de l'eau produite au SONACTER est inférieure par rapport à celle produite au MACTAA.

2.2.9 Conductivité :

La conductivité de l'eau dépend d'une large variété de substances ou de matières inorganiques et solides dissoutes dans les solutions d'eau. Les substances dissoutes communes sont sodium, chlorure, sulfates, calcium, bicarbonate, phosphates, fer et magnésium, tous ces matériaux à certaines concentrations ont la capacité de porter un courant électrique.

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température.

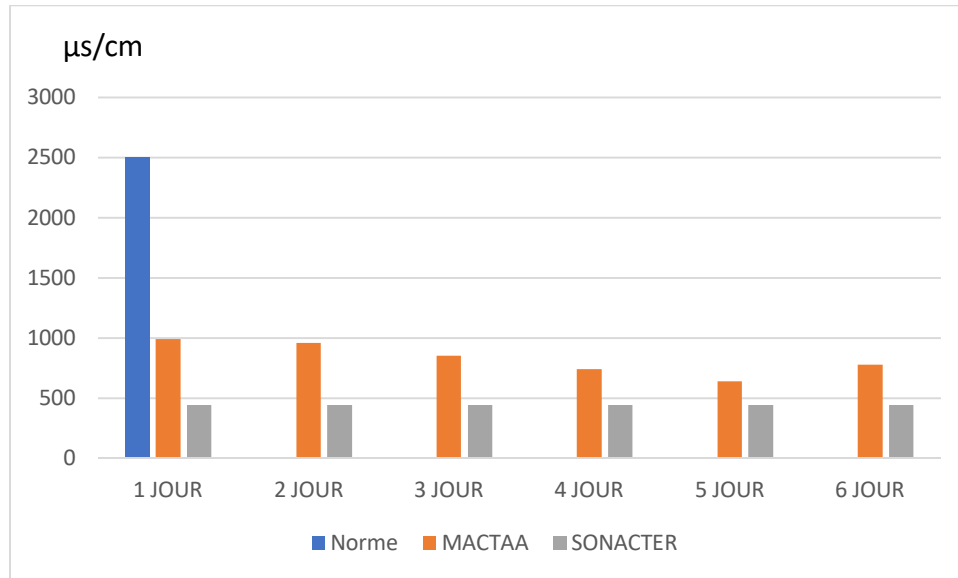


Figure 38: variation de la conductivité

La conductivité de l'eau produite au SONACTER ou MACTAA appartient à une norme OMS estimée à 2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Cependant, la conductivité de l'eau produite au MACTAA représente le double des valeurs de conductivité de l'eau produite au SONACTER.

2.2.10 Turbidité :

La turbidité de l'eau est dû à la matière en suspension organique ou inorganiques comme la vase, l'argile, le plancton ou d'autre microorganisme. La turbidité exprime la dispersion ou l'absorbance de la lumière au lieu de traverse en linge droit.

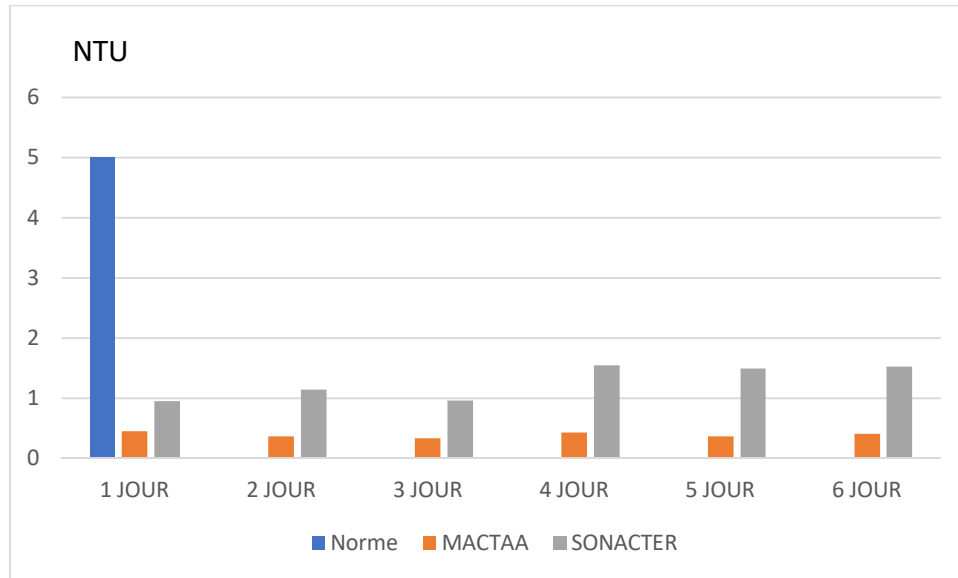


Figure 39: variation de la turbidité

L'eau produite au MACTAA est moins turbide que celle de SONACTER, ce qui est confirmé par les valeurs de turbidité de SONACTER qui sont presque le double de celles de MACTAA. Cependant, toutes les eaux produites par ces deux stations respectent les normes de turbidité pour l'eau potable.

D'après ces résultats on peut dire en termes de qualité que l'eau produite par la station de SONACTER est moins salée, moins corrosive et moins conductible avec des valeurs en voisinage des normes par rapport celle de la station d'ELMACTAA c'est-à-dire elle est plus potable et moins d'impacts négatifs sur la santé humaine et même sur les installations hydrauliques.

2.3 Discussions des résultats obtenus par les deux stations de dessalement

- Dans le cas général, les résultats des deux stations (SONACTER) (MACTAA) répondent aux normes de L'OMS.
- Une différence de la dureté totale dont la moyenne est de 74 mg/l pour la station de Sonacter tandis que pour la station d'Elmactaa est de 100 mg/l.
- Une légère différence d'alcalinité avec un taux élevé pour la station d'Elmactaa.
- des concentrations en chlore qui respectent les normes pour la station d'Elmactaa 1.03 mg/l par contre sont inférieures aux normes pour la station de Sonacter 0.33mg/l.
- des concentrations en cations de Ca et Mg de la station de Sonacter qui sont faibles par rapport celles d'Elmactaa une différence de 20mg/l.
- Un double taux de conductivité de la station d'Elmactaa (850 $\mu\text{s/cm}$) par rapport cel de Sonacter (440 $\mu\text{s/cm}$).
- La turbidité de l'eau de la station de Sonacter est doublée par rapport de la station d'Elmactaa mais qui respectent les normes.

Selon ces résultats, il est possible d'affirmer que dans la station de dessalement de Mostaganem (SONACTER), les étapes de prétraitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce qualité et présente une conformité aux normes OMS, par rapport celle de la station d'ELMACTAA.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le dessalement est une question cruciale pour l'avenir des régions en situation de stress hydrique. C'est une manière futuriste de résoudre les problèmes d'eau. Il permet une utilisation et une gestion efficaces des ressources en eau et facilite l'accès à l'eau potable par des moyens appropriés.

Le procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse a connu un grand développement et présente de nombreux avantages. Sur le plan environnemental, il fonctionne à basse température, ce qui évite toute pollution thermique. En termes d'énergie, ce procédé utilise principalement de l'énergie électrique ; c'est relativement simple et plus efficace.

L'objectif de notre travail est de comparer l'amélioration de la qualité des eaux obtenues par la station de Mostaganem (SONACTER) grâce à la microfiltration au niveau du laboratoire des analyses de la station de Mostaganem à celle obtenue par ultrafiltration à la station de MACTAA.

L'usine de Mostaganem (SONACTER) utilise des étapes de prétraitement pour assurer un bon entretien des équipements, produire une eau douce de bonne qualité moins salée, moins corrosive et moins conductrice que celle obtenue par ultrafiltration. Les valeurs de qualité de l'eau produites par SONACTER sont conformes aux normes de l'OMS et sont plus potables que celles de l'usine EL MACTAA, réduisant ainsi les impacts négatifs sur la santé humaine et les installations hydraulique

Reference

- [1] F. DEHAR, K. BELABEDDOU, Étude comparative entre deux techniques de dessalement de l'eau de mer (station de Mostaganem SONACTER), Faculté des sciences exactes et d'informatique, 2020.
- [2] N. ASNOUNE, F. BENMAZOUZA, Étude comparative entre deux stations de dessalement de l'eau de mer,
- [3] <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/cycle-de-leau/>
- [4] Gleick, P. H., Allen, L., Christian-Smith, J., Cohen, M. J., Cooley, H., Heberger, M., Palaniappan, M., Schulte, P. (2012). The World's Water Volume 7: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island press.
- [5] A. BOUCHARB, Étude théorique et expérimentale de dessalement par osmose inverse de l'eau saumâtre, Université de Bouira-Akli Mohand Oulhadj-Faculte des Sciences et des Sciences Appliquées, 2019.
- [6] JEAN-Pierre Mericq, Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salina et possibilités de couplage avec l'Energie solaire, Université de TOULOUSE, 2009.
- [7] N. MAIZI, dessalement de l'eau de mer, l'Université de Guelma, Faculté des Sciences et de la Technologie, 2020.
- [8] Jean-Marie ROVEL, Dessalement de l'eau de mer, Techniques de l'Ingénieur V1, 2017
- [9] RODIER. J et al, « L'analyse e de l'eau ». 9ème Ed. Dunod. France, 2019.
- [10] D. MOUDJEBER, Utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement : Cas de l'Algérie, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Faculté des sciences et de la technologie, 2015.
- [11] Copin-Montégut, G. (1996). Chimie de l'eau de mer. Paris: Institut Océanographique.
- [12] L. HABET, Contribution à l'étude des impacts dessalement des eaux de mer sur l'environnement : cas du littoral de Boumerdes, Université M'hames Bougara-Boumerdes, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, 2010.
- [13] Ayite Ambroise Mensah Fabrice Sitti, Étude de l'effet de la bentonite activée dans le traitement de l'eau de mer avant et après le dessalement, Université Abdelhamid Ibn Badis, Faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique,2022.

- [14] https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/chea_bh.pdf
- [15] Journal officiel de la Republique Algerienne N°13, 9 mars 2014.
- [16] A.MAKAOUI,D.ETTAOUAJE, M.TOUNANI, T.BAIBAI, L.SOUMOUE, S.CHARIB, M.ZBIRY, I.AFANDI, R.CHFIRI, F.ZOHRA, N.A.ELGARNI, A.BOUHALAOUI, B.ELHAIMER, H.OUBAMOUEH, A.BENNOUNA, K.BELKADI, A.BENHARA, Revue bibliographique et étude de cas sur le dessalement d'eau de mer et son impact sur le milieu marin. Institut national de recherche halieutique. 11/2023
- [17] O. CHARROUF, Commande et Optimisation D'un Système de Dessalement Hybride : Solaire-Eolien, Université Mohamed Khider - Biskra Faculté des Sciences et de la technologie, 2018
- [18] <https://www.energy.gov.dz/?article=projet-de-dessalement-de-l'eau-de-mer>
- [19] <https://www.lenntech.fr/desalination.htm>
- [20] Y. MANDRI, Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide, L'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1 et préparée en cotutelle avec L'UNIVERSITÉ MOHAMMED V- AGDAL de RABAT, 13/12/2011
- [21] M. ZABBAR, Diagnostic et Commande Tolérante dans les Systèmes de Dessalement D'eau, UNIVERSITE IBN-KHALDOUN TIARET, FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES, 2019-2020
- [22] M. Qasim, M. Badrelzaman, N. N. Darwish, N. A. Darwish, et N. Hilal, « Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review », *Desalination*, vol. 459, p. 59–104, 2019.
- [23] Jiaping Paul Chen, Edward S. K. Chian, Ping-Xin Sheng, K. G. Nadeeshani Nanayakkara, Lawrence K. Wang, and Yen-Peng Ting, Handbook of Environmental Engineering, Volume 13: Membrane and Desalination Technologies, Edited by: L.K. Wang et al.
- [24] <https://www.hydranet.net/hydranet-content/telechargements/descriptions-principaux-procedes/eaux-usees-osmose-inverse-hydranet.pdf>
- [25] <https://www.roagua.com/fr/news/how-to-choose-the-right-reverse-osmosis-membrane-for-you/>
- [14] H. HYPPÖNEN, "Treatment of surface water with hydraulically cleaned reverse osmosis modules", 2009.
- [26] M. ZAGRA, B.JIN & S.DAI, *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*, First Edition. Volume 6 : Development and application of reverse osmosis for separation, 2015.

[27] F. BELARIBI, utilisation des méthodes d'aide multicritère a la décision dans la gestion des ressources en eau : Application de la méthode PROMETHEE a la sélection d'un procédé de dessalement de l'eau de mer, Université Abou Bekr Belkaid Faculté des sciences économiques, commerciales et des sciences de gestion, 27/06/2021

[28] <https://www.algerie360.com/dessalement-deau-de-mer-lalgerie-inaugurera-5-nouvelles-stations-a-lhorizon-2024/>

[29] <https://www.lesoirdalgerie.com/contribution/impact-environnemental-et-social-du-dessalement-65629>

[30] https://www.iwra.org/congress/2008/resource/authors/abs398_article.pdf

[31] <https://ecotoxicologie.fr/impacts-dessalement-eau-mer>

[32] M. AMMITOUCHE, H. BALOU, Empreinte de carbone des stations de dessalement en Algérie, Journal de l'Economie Circulaire et Développement Durable, Vol.2. N°1. (2022)

[33] M. BOUCHA, Impact environnemental du dessalement de l'eau de mer, École Nationale polytechnique, 14/07/2017.

[34] <https://elwatan-dz.com/dessalement-de-leau-de-mer-quel-impact-sur-le-milieu-cotier>

[35] Manuel D'exploitation et D'entretien de L'usine de dessalement de MOSTAGANEM, 02/02/2011.

[36] <https://fr.constructionreviewonline.com/Actualités/Egypte/Egypte%3A-construction-d'une-usine-de-dessalement-98-6m/>

[37] mostaganem

[38] https://tmm-spa.direct.quickconnect.to/wordpress/?page_id=94

[39] A. Kara Omar, A. Khaldi, Dessalement de l'eau de mer et impacts environnementaux : cas de la station d'el-MACTAA, V0L. 1, 2017.

[40] S. Jiang, Y. Li, et B. P. Ladewig, « A review of reverse osmosis membrane fouling and control strategies », *Sci. Total Environ.*, vol. 595, p. 567–583, 2017.

[41] M. Badruzzaman, N. Voutchkov, L. Weinrich, et J. G. Jacangelo, « Selection of pretreatment technologies for seawater reverse osmosis plants: A review », *Desalination*, vol. 449, p. 78– 91, 2019.

[42] S. F. Anis, R. Hashaikeh, et N. Hilal, « Reverse osmosis pretreatment technologies and future trends: A comprehensive review », *Desalination*, vol. 452, p. 159–195, 2019.

[43] C. CHARCOSSET, «Ultrafiltration, microfiltration, nanofiltration, and reverse osmosis in integrated membrane processes», *integrated membrane systems and processes*, 2016.

[44]<https://www.carbotecnia.info/learning-center/filtration-methods/what-is-microfiltration/?lang=en>