



Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :

Hydraulique

Thème :

**Fonctionnement de la station de dessalement de l'eau de
mer de Cap Djinet (W. Boumerdès)**

Réalisé par :

-HELLA Badis

Encadré par :

-Mr. DAHMANI Saad

Corrigé par :

-Mme. BOUAKLINE Hanane

(Enseignante, IT Univ-Bouira)

-Mme. REZIG Amina

(Enseignante, IT Univ-Bouira)

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné puissance, la patience, le courage et la volonté de terminer ce modeste travail.

Je remercie particulièrement mon promoteur Mr. DAHMANI de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements à tous les membres de la station de dessalement de Cap Djinet pour tous les conseils et orientations en particulier Mr. FENTAZI FARID responsable de stage.

Je n'oublierai pas de remercier également nos enseignants de l'Institut de Technologie qui nous ont transmis leurs connaissances et leur savoir-faire pour assurer notre formation pendant les années d'études.

Ainsi, j'adresse mes remerciements les plus chaleureux à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je tiens c'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail :

À l'être la plus cher de ma vie, ma mère.

À celui qui m'a fait de moi un homme, mon cher père.

À mes chères sœurs.

À mes chers amis et toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

ملخص:

مع زيادة الحاجة إلى المياه العذبة نظرا للنمو السكاني و التنمية الصناعية، أصبح من الضروري اعتماد طريقة للحصول على ماء صالح للشرب. و تعد تحلية مياه البحر أحد الحلول التي تعتمد عليها دول العالم و كذلك الجزائر لسد هذا النقص.

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم وصف تفصيلي لعملية تحلية مياه البحر بتقنية التناضح العكسي و متابعة تطور النوعية الفيزيوكيميائية للمياه التي تنتجها محطة التحلية في رأس جنات ولاية بومرداس.

الكلمات المفتاحية: تحلية مياه البحر، التناضح العكسي، الجودة، النوعية الفيزيائية و الكيميائية.

Résumé:

Avec le besoin croissant en eau douce dû à la croissance démographique et au développement industriel, il est devenu nécessaire d'adopter une méthode pour obtenir de l'eau potable. Le dessalement de l'eau de mer est l'une des solutions adoptées par les pays du monde, ainsi que l'Algérie, pour combler cette pénurie.

Cette étude vise à fournir une description détaillée du procédé de dessalement de l'eau de mer par la technologie de l'osmose inverse et à suivre l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau produite par la station de dessalement de Cap Djinet, W. Boumerdès.

Mots clés : dessalement d'eau de mer, osmose inverse, qualité, qualité physique et chimique.

Abstract:

With the increasing need for fresh water due to population growth and industrial development, it has become necessary to adopt a method to obtain potable water. To fill this shortage, desalination of seawater is one of the solutions adopted by countries around the world, as well as Algeria.

This study aims to provide a detailed description of the seawater desalination process using reverse osmosis technology and to monitor changes in the physico-chemical quality of the water produced by Cap Djinet seawater desalination station at Boumerdes state.

Key words: seawater desalination, reverse osmosis, quality, physical and chemical quality.

Liste des figures

Figure 1: Logo de l'entreprise.....	2
Figure 2 : localisation de la station de dessalement Cap Djinet	3
Figure 3: Situation géographique de la station	3
Figure 4 : Organigramme de la station de dessalement Cap Djinet	7
Figure 5 : Production d'eau douce par condensation sur une éponge	9
Figure 6 : Capacités de dessalement dans le monde	10
Figure 7 : Différents procédés de dessalement.....	18
Figure 8 : Principe du procédé de distillation à simple effet	18
Figure 9 : Procédé de distillation multiflash d'eau de mer	19
Figure 10 : Procédé de distillation à effets multiples d'eau de mer	20
Figure 11 : Distillation avec compresseur de vapeur	20
Figure 12 : Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle	21
Figure 13 : Principe de l'électrodialyse	21
Figure 14 : principe de l'osmose et l'osmose inverse	22
Figure 15 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse	23
Figure 16 : Colonne échangeur d'ions	24
Figure 17 : Dessalement par congélation	25
Figure 18 : Procédé de distillation solaire d'eau de mer	26
Figure 19 : Captage d'eau de mer	28
Figure 20 : Station de pompage de l'eau de mer.....	29
Figure 21 : Réservoirs des produits chimiques	31
Figure 22 : Filtres à sable et anthracite.....	31
Figure 23 : Filtres à cartouches	32
Figure 24 : Châssis d'osmose inverse	33
Figure 25 : Echangeur de pression ERI.....	34
Figure 26 : Système de récupération d'énergie.....	34
Figure 27 : Turbidimètre	37
Figure 28 : pH mètre (HACH, sensION3)	37
Figure 29 : Multi-paramètres à sonde (HACH, sensION7).....	38
Figure 30 : Titrage par la solution d'EDTA	41
Figure 31 : La hotte à filtre.....	43
Figure 32 : Balance numérique	43
Figure 33 : Colorimètre et cuves	44
Figure 34 : Spectrophotomètre DR5000	46
Figure 35 : Mode opératoire chlorure LCK 311.....	47

Figure 36: variation mensuelle de la turbidité.....	49
Figure 37 : Variations mensuelles du potentiel hydrogène	49
Figure 38 : variation de la température	50
Figure 39 : Variations mensuelles de la Conductivité électrique	50
Figure 40 : Variations mensuelles du Total des solides dissous	51
Figure 41 : Variations mensuelles du titre hydrotimétrique.....	51
Figure 42: variations mensuelles du calcium	52
Figure 43 : variation mensuelle du magnésium.....	52
Figure 44 : Variations mensuelles de l'Alcalinité totale	53
Figure 45 : Variations mensuelles du Titre alcalimétrique complet.....	53
Figure 46 : Variations mensuelles du chlorure.....	54
Figure 47 : variation mensuelle du bore.....	55

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les principales unités de dessalement en Algérie	12
Tableau 2 : La salinité de différentes mers	14
Tableau 3 : Composition minérale de l'eau de mer	15
Tableau 4 : Détermination de CO_3^{2-} et HCO_3^- à partir du TA et TAC	40
Tableau 5 : Les résultats d'analyses de l'eau de mer et la saumure	55

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I Description de la station de dessalement de l'eau de mer de Cap Djinet

I.1. Introduction	2
I.2. Situation géographique de la station de dessalement de l'eau de mer (Cap Djinet).....	2
I.3. L'usine de dessalement « Cap Djinet »	3
I.4. Les activités de la station.....	4
I.5. Procédés d'osmose inverse.....	4
I.6. Captage de l'eau de mer	4
I.7. Pompes à haute pression	5
I.8. Prétraitement chimique.....	5
I.9. Zone des filtres	5
I.10. Zone de production.....	5
I.11. Bâtiment de saumure	6
I.12. Bâtiment d'eau produit.....	6
I.13. Différentes activités.....	6
I.14. Organigramme de la station de dessalement Cap Djinet.....	7
I.15. Conclusion.....	7

Chapitre II Généralités sur le dessalement

II.1. Introduction	8
II.2. Généralités sur le dessalement	8
II.2.1. Définition de dessalement de l'eau de mer.....	8
II.2.2. Histoire de dessalement.....	8
II.2.3. Situation de dessalement dans le monde	9
II.2.4. Dessalement en Algérie.....	11
II.2.5. L'impact de dessalement de l'eau de mer sur l'environnement	12
II.3. Caractéristiques des eaux de mer et les eaux saumâtres.....	14
II.3.1. Eau de mer.....	14
II.3.2. Compositions de l'eau de mer	15

II.3.3.	Eau saumâtre	15
II.4.	Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer	16
II.4.1.	Température.....	16
II.4.2.	Potentiel d'hydrogène (pH).....	16
II.4.3.	Conductivité	16
II.4.4.	Turbidité	16
II.4.5.	Densité.....	16
II.4.6.	Dureté	16
II.4.7.	Métaux lourds.....	17
II.4.8.	Matière organique.....	17
II.4.9.	Sels dissous.....	17
II.5.	Différents procédés de dessalement	17
II.5.1.	Procédés de distillation.....	18
II.5.1.1.	Distillation à simple effet.....	18
II.5.1.2.	Distillation multiflash.....	19
II.5.1.3.	Distillation à multiple effets.....	19
II.5.1.4.	Compression mécanique de vapeur.....	20
II.5.2.	Procédés membranaires.....	21
II.5.2.1.	L'électrodialyse.....	21
II.5.2.2.	L'osmose inverse.....	22
II.6.	Principe de l'osmose inverse.....	22
II.6.1.	Osmose et osmose inverse.....	22
II.6.2.	Schéma général d'une installation d'osmose inverse	23
II.7.	Autres procédés de dessalement.....	23
II.7.1.	Échangeurs d'ions :	23
II.7.2.	Dessalement par congélation.....	24
II.7.3.	Distillation solaire	25
II.8.	Les problèmes techniques rencontrés en dessalement.....	26
II.8.1.	Entartrage	26
II.8.2.	Le colmatage	26
II.8.3.	La corrosion.....	27
II.9.	Conclusion.....	27

Chapitre III Processus de dessalement de l'eau de mer

III.1. Introduction	28
III.2. Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Cap Djinet.....	28
III.2.1. Captation de l'eau de mer.....	28
III.2.2. Le prétraitement.....	29
III.2.3. L'étape d'osmose inverse	32
III.2.4. Post traitement.....	34
III.3. Conclusion.....	35

Chapitre IV Matériels et méthodes

IV.1. Introduction	36
IV.2. Paramètres organoleptiques.....	36
IV.2.1. Évaluation de la couleur	36
IV.2.2. Évaluation de l'odeur et de la saveur.....	36
IV.2.3. Mesure de la turbidité.....	36
IV.3. Paramètres physico-chimiques	37
IV.3.1. Mesure de pH	37
IV.3.2. Mesure de la conductivité et la température	38
IV.3.3. Mesure de TDS.....	38
IV.3.4. Mesure de l'Alcalinité	39
IV.3.5. Mesure de la Dureté Total (TH)	41
IV.3.6. Mesure de calcium (Ca^{2+}).....	42
IV.3.7. Mesure de magnésium (Mg^{2+}).....	42
IV.3.8. Mesure des MES.....	42
IV.3.9. Mesure du chlore	43
IV.3.10. Détermination des résidus secs.....	44
IV.4. Paramètres chimiques.....	45
IV.5. Conclusion.....	47

Chapitre V Résultats et interprétations

V.1. Introduction	48
V.2. Paramètres organoleptiques.....	48
V.2.1. Couleur	48

V.2.2.	Odeur	48
V.2.3.	Goût	48
V.2.4.	Turbidité	48
V.3.	Paramètres physico-chimiques	49
V.3.1.	Potentiel d'hydrogène (pH)	49
V.3.2.	Température.....	49
V.3.3.	Conductivité	50
V.3.4.	Total des solides dissous (TDS)	50
V.3.5.	La dureté totale (TH)	51
V.3.6.	Le calcium et le magnésium	52
V.3.7.	Alcalinité totale (TA)	53
V.3.8.	Titre alcalimétrique complet (TAC).....	53
V.3.9.	Chlorures	54
V.3.10.	Le bore.....	54
V.4.	Comparaison des différents composants de l'eau de mer et de la saumure	55
V.4.1.	Potentiel d'hydrogène (pH)	56
V.4.2.	Température.....	56
V.4.3.	Conductivité	56
V.4.4.	Total des solides dissous (TDS)	56
V.4.5.	Turbidité	56
V.4.6.	Matières en suspension (MES).....	56
V.4.7.	Résidu sec à 180°C.....	57
V.4.8.	Fer.....	57
V.5.	Conclusion.....	57
	Conclusion générale	58

Les références bibliographiques

Annexes

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est la matière la plus précieuse dans le monde. Toutes les civilisations anciennes ont été construites autour des sources d'eau. Notre planète est appelée planète bleue parce qu'elle est constituée de plus de 71 % d'eau, soit 1380 millions de km³. En effet, l'essentiel de cette quantité est constitué de l'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) inutilisables directement. L'eau douce facilement disponible (lacs, fleuves, certains eaux souterraines), ne représente que 0.07 % de la ressource totale.

Les besoins en eau de bonne qualité et en quantité abondante ont augmenté avec la croissance démographique et le développement industriel, particulièrement en Algérie, ce qui pousse les gouvernements à trouver des solutions durables.

Dans cette quête de l'eau et la recherche de la satisfaction des besoins en eau potable, la construction des stations de dessalement de l'eau de mer est l'une des solutions les plus efficaces et audacieuses qui ait été envisagée.

Afin d'assurer une alimentation pérenne en eau potable, l'État Algérien a implanté la station de dessalement de Cap Djinet, se trouvant au nord-est de l'Algérie (W. Boumerdès), d'une capacité de 100'000 m³/j, à fin de desservir en eau potable les habitants de la région.

L'objectif de la réalisation de ce travail est de suivre le procédé de dessalement de l'eau de mer et de contrôler sa qualité physico-chimique tout en passant par l'eau brute, l'eau produite et la saumure.

Le mémoire comporte cinq chapitres, à savoir :

- 1- Le premier chapitre donne une présentation de la station de dessalement de Cap Djinet.
- 2- Le deuxième chapitre comporte des généralités sur le dessalement de l'eau de mer.
- 3- Le troisième chapitre présente le processus de dessalement de l'eau de mer au niveau de la station de Cap Djinet.
- 4- Le quatrième chapitre qui est la partie expérimentale, elle est consacrée aux matériels et méthodes utilisés pour le contrôle organoleptique et physico-chimique de l'eau obtenu.
- 5- Le dernier chapitre est réservé aux résultats obtenus et la discussion, en comparant ces valeurs aux normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS) et aux normes algériennes NA).

En fin, le présent travail est clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I

Description de la station de
dessalement de l'eau de mer de
Cap Djinet

I.1. Introduction

La station de dessalement de l'eau de mer de Cap Djinet (W. Boumerdès) est l'une des stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie, qui a été retenue par l'État comme projet et l'une des solutions durables pour approvisionner la région et ses environs en eau potable.

L'objectif de ce chapitre est de présenter cette station, son emplacement et les zones qui l'alimentent en eau, comment elle fonctionne, son objectif, la méthode sur laquelle elle se base dans le processus de dessalement.

I.2. Situation géographique de la station de dessalement de l'eau de mer (Cap Djinet)

La station de dessalement Cap Djinet se situe au bord de la mer, près de la ville de Boumerdès ; à 30 km à l'est du chef-lieu de wilaya. La mise en service date d'octobre 2010, et sa capacité est de 100000 m³ /J. Ce sont les entreprises Sonatrach et Sonelgaz qui ont investi dans cette station avec un taux de 49 %. Deux entreprises espagnoles se sont jointes à elles, INIMA et Aqualia, qui détiennent chacune 25.5 % de cette investissement.



Figure 1: Logo de l'entreprise

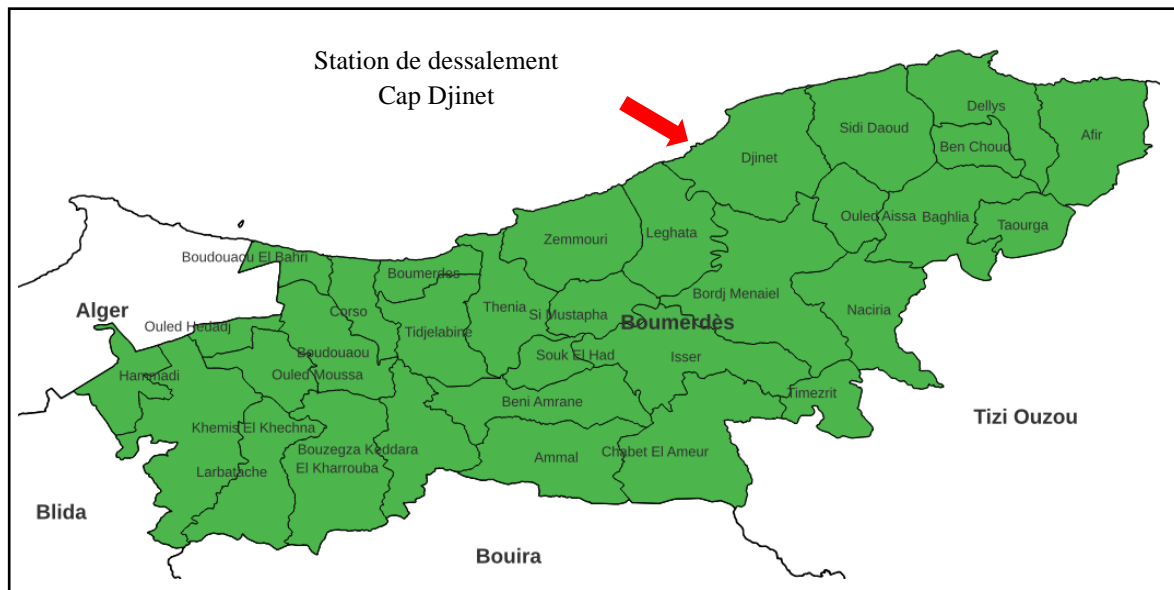


Figure 2 : localisation de la station de dessalement Cap Djinet



Figure 3: Situation géographique de la station

I.3. L'usine de dessalement « Cap Djinet »

- **Mise en service partielle:** Octobre 2010,
- **Mise en service finale :** Août 2012,
- **Capacité :** 100000 m³/j par la technique d'osmose inverse,
- **Coût du projet :** 133 millions de dollars,

- **Objectif** : renforcement des ressources en eau et l'amélioration de la qualité des eaux distribuées, production, traitement et transport,
- **Distribution** : gestion et entretien du réseau d'eau potable (Alger, Bordj-Menail, Zemmouri, Boumerdès, Dellys, Afér, Tigzirt, Azfoun),
- **Les travailleurs de L'usine** : sont formés et sensibilisés à tout ce que concernent les objectifs de l'usine et leur travail,
- **La station** : concernant le système de qualité, l'activité du laboratoire d'Ecoprogress s'est déroulée selon les normes UNE-EN-ISO-17025. L'entreprise dispose actuellement du Certificat UNE-EN ISO 9001 :2000 en tant que système de gestion de la qualité pour la réalisation d'analyses environnementales (Certificat Num. 113/ER/04/05) [1].

I.4. Les activités de la station

- **Consistance du projet** : Prise de l'eau de mer directe, station de dessalement et rejet de la saumure,
- **Procédé de traitement** : Osmose Inverse avec 8512 Membranes,
- **Débit de captation** : 222444 m³/ jour,
- **Taux de conversion** : 45 %,
- **Emissaire de captation** : DN 1800 mm, longueur 1 ,8 km, profondeur 20 m,
- **Emissaire de rejet de saumure** : DN 1200 mm, longueur 1,2 Km, profondeur 8 m.

I.5. Procédés d'osmose inverse

- **Marc des membranes** : film tec (S.W :40ie),
- **Nombre de membrane /tube de pression** : 7 unités,
- **Nombre de tube de pression/châssis** : 152 U,
- **Nombre totale de châssis** : 8 U,
- **Nombre totale de membrane** : 8512 U,
- **Module** : SW 30HRLE-400i,
- **Matériel** : polyamide aromatique,
- **Forme** : roulement en spiral,
- **Diamètre** : 200 mm,
- **Pression de pompe haute pression** : 60 bars [2].

I.6. Captage de l'eau de mer

Emissaire de captage DN 1800 mm

- Longueur 1,8 km,
- Profondeur 20.

Saumure DN 1200 mm

- Longueur 1,2 km,
- Profondeur 8 m.

I.7. Pompage à haute pression

- (4+1) pompes haute pression,
- 85 bars,
- Système de récupération de l'énergie,
- Pompes BOOSTER,
- Débit maximale : 120480 m³/j,
- Rendement garanti : 99 %.

I.8. Prétraitement chimique

L'injection et le stockage de produits :

- Hypochlorite de sodium,
- Permanganate de potassium,
- Acide sulfurique,
- Coagulant (Chlorure Ferrique (FeCl₃)),
- Flocculant (poly-électrolytes),
- Métabisulfite de sodium,
- Inhibiteur d'incrustation.

I.9. Zone des filtres

- 12 Filtres à Sable et anthracite,
- 8 filtres à sable,
- 9 filtres à cartouches (chaque filtre comporte 360 cartouches).

I.10. Zone de production

- 08 Pompes de recirculation,
- 04 unités d'Osmose Inverse,
- 05 Pompes HP.

I.11. Bâtiment de saumure

Tous les rejets (saumure) sont collectés dans ce bassin avant d'être rejeté à la mer via un canal souterrain de « DN 1200 mm » ; à 1,2 Km de la côte, de profondeur 8 m.

I.12. Bâtiment d'eau produit

- Dépôt d'eau traitée,
- Reminéralisation par calcite et avec un apport de dioxyde carbone,
- Pompage d'eau produit,
- Post de traitement (injection),
 - Hypochlorite de sodium.
 - Hydroxyde de sodium.

I.13. Différentes activités

- Équipement de nettoyage des membranes,
- Équipement de nettoyage des filtres,
- Eau de service,
- Air d'instruments et de service,
- Système de communication,
- Laboratoire,
- Ateliers,
- Système de contrôle (SCADA = Supervisory Control and Data Acquisition, en Anglais),
- Système de contre incendie [3].

I.14. Organigramme de la station de dessalement Cap Djinet

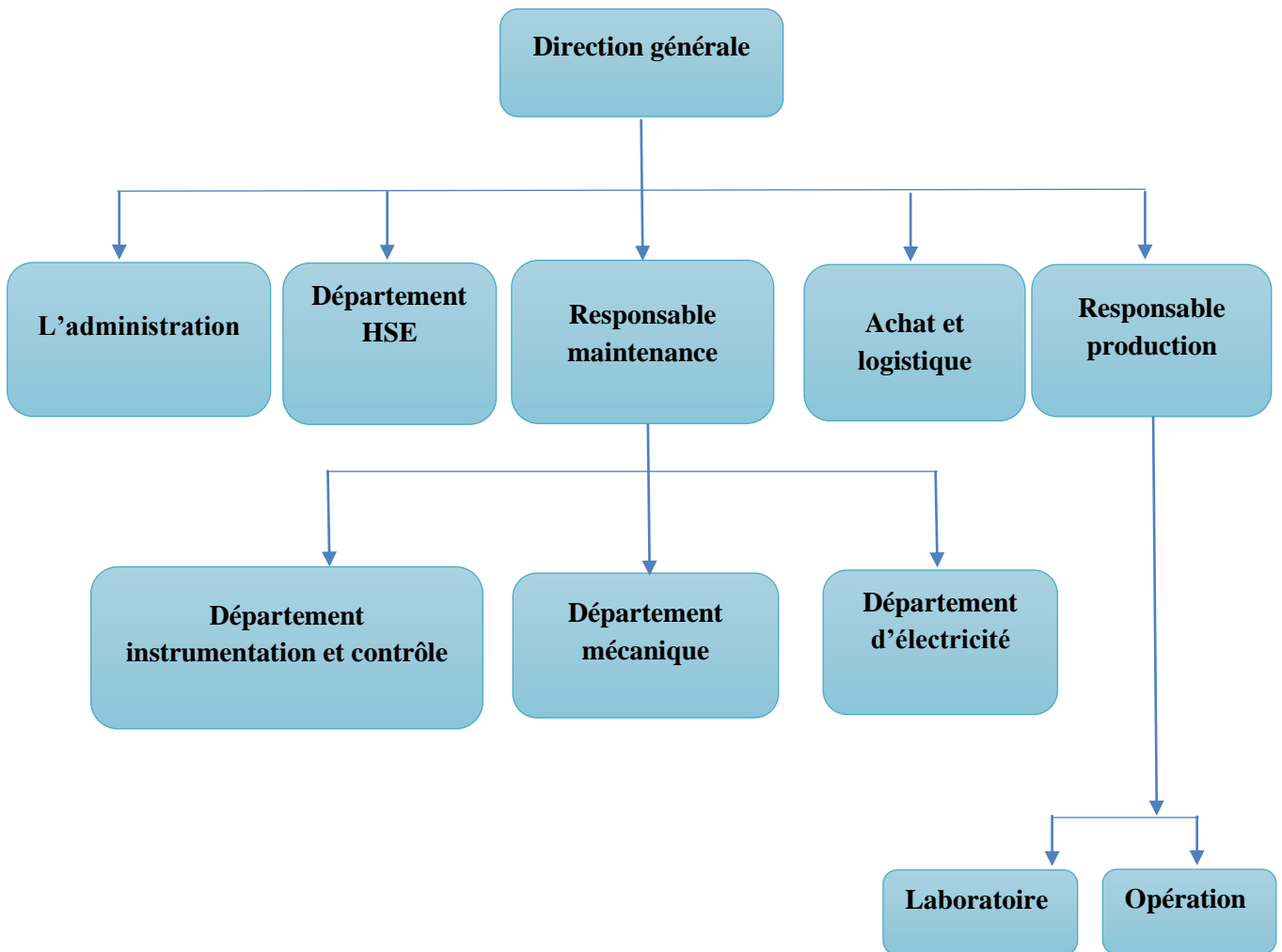


Figure 4 : Organigramme de la station de dessalement Cap Djinet

I.15. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la station de dessalement de l'eau de mer de Cap Djinet, la décrivant et mentionnant toutes ses caractéristiques et son mode de fonctionnement, ce qui est le but recherché que nous avons évoqué en introduction de ce chapitre.

En conclusion :

- Le débit de captage est : $222444 \text{ m}^3/\text{j}$,
- Le taux de conversion est : 45 %,
- Le débit traité est : $100000 \text{ m}^3/\text{j}$,
- Le débit de la saumure est : $122444 \text{ m}^3/\text{j}$.

Chapitre II

Généralités sur le dessalement

II.1. Introduction

Ces dernières années, le monde a connu des crises de l'eau, ce qui a conduit à la nécessité de trouver une solution à ce problème.

Le dessalement de l'eau de mer est parmi les solutions sur lesquelles les pays se sont appuyés et dans ce chapitre, nous nous réjouissons à la perspective d'un examen complet du dessalement de l'eau de mer, de son histoire, de son statut mondial et local, de son impact environnemental, de ses propriétés physico-chimiques, ainsi que les différentes méthodes de dessalement de l'eau salée et les problèmes techniques que nous rencontrons.

II.2. Généralités sur le dessalement

II.2.1. Définition de dessalement de l'eau de mer

Le dessalement, également connu sous le nom de dessalage, est la séparation de l'eau et des sels de l'eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre du continent [4].

Le chlorure de sodium (Na Cl) et d'autres éléments sont retirés de l'eau de mer à l'aide de cette méthode. Pour éviter les pénuries d'eau, des méthodes de production d'eau douce et potable à partir de l'eau de mer ont été mises en place. L'osmose inverse (traitement préalable de l'eau de mer par filtration et désinfection) et la distillation sont deux méthodes les plus couramment utilisées (purification par évaporation de l'eau de mer) [5].

II.2.2. Histoire de dessalement

Le concept d'obtenir de l'eau potable de la mer n'est pas nouveau. Grâce au cycle naturel de l'eau, la nature l'a toujours fait. Face au manque d'eau douce, les anciens marins imitaient la nature en faisant bouillir l'eau de mer et en condensant la vapeur produite pour en produire l'eau non salée. Dans *météorologique*, Aristote (384-322 av. J.C.) écrit : « *J'ai prouvé expérimentalement que l'eau salée qui s'évapore s'adoucit et que la vapeur condensée ne réforme pas de l'eau de mer* » [6].

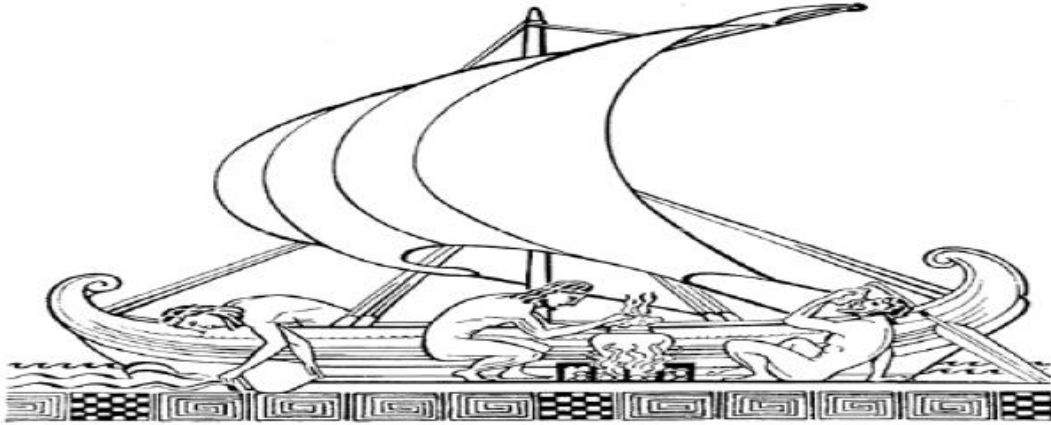


Figure 5 : Production d'eau douce par condensation sur une éponge [6].

Nous n'avons commencé à parler de techniques pour augmenter la productivité, améliorer la pureté de l'eau ou économiser l'énergie qu'au 18^{ième} siècle.

Les premiers procédés de distillation vraiment industriels, n'ont apparu qu'au début du 20^{ième} siècle, c'est-à-dire la concentration des solutions et la production d'eau douce par évaporation puis condensation.

Puis, en 1959, l'université de Californie a inventé une technologie connue sous le nom d'osmose inverse. Il s'agit d'une méthode membranaire dans laquelle l'eau douce est extraite de l'eau salée en appliquant une pression sur une membrane semi-poreuse.

Les membranes commerciales sont apparues pour la première fois en 1970. Les deux principales familles de méthodes de dessalement de l'eau de mer utilisées aujourd'hui sur une base industrielle sont les procédures de distillation et de membrane [7].

II.2.3. Situation de dessalement dans le monde

Le dessalement de l'eau est de plus en plus en croissance dans le monde entier. Parallèlement aux risques de pollution (maladies, de matières en suspension ou de pathogènes) qui subsistent à chaque étape du parcours aquatique, l'approvisionnement en eau potable, tant en quantité qu'en qualité, devient de plus en plus nécessaire. L'eau douce est distribuée de manière inégale sur toute la planète.

En raison de cette réalité, le dessalement de l'eau de mer est devenu nécessaire pour surmonter le déséquilibre de répartition. Chaque année, la capacité de dessalement installée augmente de plus de 10 % en moyenne. Plus de 15000 usines de dessalement dans 120 pays produisent aujourd'hui plus de 40 millions de m³/j d'eau, dont les trois quarts (3/4) proviennent d'eau salée et un quart (1/4) d'eau saumâtre. Soixante quinze pour cent (75 %) de

Ces 40 millions sont destinés à la consommation humaine, et 25 % à l'utilisation industrielle ou agricole. La capacité de production mondiale d'eau potable est d'environ 500 millions de m³/j).

En 2010, la Chine a déclaré qu'elle produira 1 million de m³/j d'eau de mer traitée, avec un objectif de 3 millions de m³/j d'ici 2020. Le dessalement de l'eau de mer répond à 60% des besoins en eau douce des pays du golfe arabe. Le dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre souterraine pour la production d'eau douce artificielle a commencé en Méditerranée en Malte, Baléares, Dalmatie, Chypre, Cyclades, puis en Libye et en Algérie, et maintenant rapidement dans toute la Méditerranée. L'Algérie et l'Espagne ont évidemment choisi cette approche pour pallier la pénurie d'approvisionnement en eau. La Méditerranée représente actuellement environ un quart (1/4) du dessalement mondial. D'ici 2030, la capacité de dessalement de la région pourrait être comparable à celle du reste du monde (environ 30 à 40 millions de m³/j) [8].

La figure ci-dessous représente la capacité du dessalement dans le monde entier :

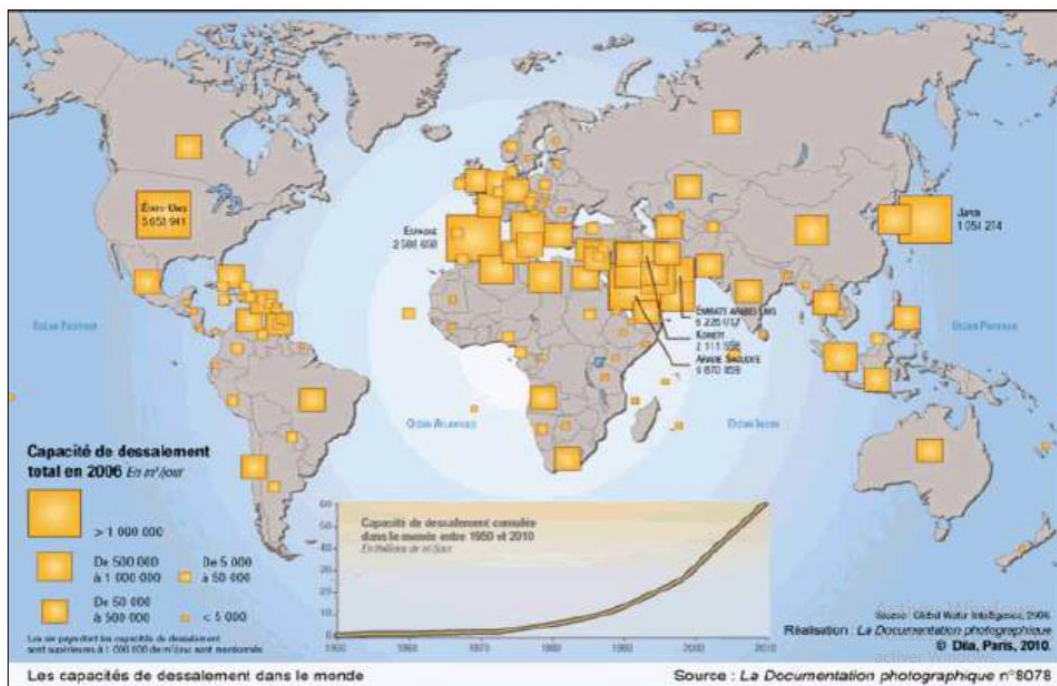


Figure 6 : Capacités de dessalement dans le monde [9].

II.2.4. Dessalement en Algérie

L'Algérie souffre de sécheresse depuis plus d'une décennie, et l'approvisionnement en eau conventionnelle a été insuffisant pour répondre à la demande en eau de la population, incitant les autorités algériennes à rechercher d'autres sources d'eau potable. Le dessalement de l'eau de mer était l'alternative la plus acceptable, car elle n'est pas affectée par les risques climatiques.

Le dessalement de l'eau de mer est un projet stratégique en Algérie puisqu'il remplacera les ressources naturelles dans la majorité des villes nord du pays.

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

- Un littoral long de plus de 1200 Kilomètres.
- Disponibilité de l'eau de mer, ressource inépuisable.
- Une population et une industrie grandes consommatrices de l'eau se trouvant à proximité de la mer.
- Disponibilité de la ressource énergétique [10].

Malgré que le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau (domestique et industrielle), quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- Les installations de dessalement coûtent chères et elles se caractérisent par leur grande consommation énergétique.
- Ces installations dégagent des gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement climatique.
- Elles détruisent les zones côtières.
- Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux provenant du nettoyage (filtres à sable, membranes et dépôts) contaminent le milieu [11].

Les grandes unités de dessalement sont citées dans le tableau suivant (Tableau 1) :

Tableau 1 : Les principales unités de dessalement en Algérie [12].

Nom	Wilaya	Année de mise en service	Capacité (m ³ /J)
Kahrama Arzew	Oran	2005	90000
El-Hamma	Alger	2008	200000
Skikda	Skikda	2009	100000
Beni saf	Ain Temouchent	2009	200000
Mostaganem	Mostaganem	2010	200000
Honaine	Tlemcen	2010	200000
Souk tleta	Tlemcen	2010	200000
Douaouda	Tipaza	2010	120000
Cap Djinet	Boumerdes	2010	100000
Mactaa	Oran	2010	500000
Oued Sebt	Tipaza	2010	100000
Ténès	Chlef	2010	200000
Echatt	Taraf	2011	50000

II.2.5. L'impact de dessalement de l'eau de mer sur l'environnement

Les impacts de l'usine de dessalement comprennent ceux qui sont limités à la phase de construction et ceux qui sont reliés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent par des changements dans l'utilisation des terres, puis passent aux effets visuels et aux nuisances sonores, et enfin aux émissions dans l'atmosphère et aux rejets dans l'eau, ainsi qu'aux dommages possibles à l'écosystème récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent avoir un éventail de répercussions sur les régions côtières, notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marine et la perturbation des écosystèmes [13].

Les impacts négatifs peuvent être résumés dans les points suivants :

II.2.5.1.Rejets atmosphériques

Les usines de dessalement créent des polluants atmosphériques comme le dioxyde de carbone, le soufre et les oxydes d'azote, ainsi que des particules solides, car elles sont principalement alimentées par des combustibles fossiles [14].

II.2.5.2.Rejets chimiques

Les produits chimiques sont utilisés dans les usines de dessalement pour le prétraitement de l'eau d'alimentation et le post-traitement de l'eau produite. La majorité des produits sont utilisés comme biocides, antisalissures, antisalissures et antimousse, et ils modifient progressivement la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion des circuits, a un impact sur la composition de la saumure de concentration [13].

II.2.5.3.Rejets de saumures

Les installations de dessalement déchargent la même charge de composants d'eau à traiter qu'elles reçoivent, mais dans un volume d'eau plus petit, ce qui rend l'eau plus concentrée, jusqu'à doubler la concentration initiale en osmose inverse.

Ces saumures sont rejetées à des températures plus élevées de 10 à 15 °C lorsqu'elles sont utilisées dans un procédé de distillation, en plus d'avoir une concentration excédentaire pouvant atteindre 70 g/l. Ces saumures sont soit rejetées dans la mer, soit injectées dans le sol.

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

Des étangs de sel intérieurs peuvent être utilisés, mais si l'étang n'est pas étanche, le potentiel de pollution des eaux souterraines existe. Bien que cela semble plus facile, les rejets côtiers directs devraient avoir une influence importante sur l'écologie marine en modifiant la salinité et la température.

La construction de systèmes de diffuseurs pour réguler la dilution de la saumure avec de l'eau de mer et restreindre la région impactée dans l'espace est l'approche utilisée aujourd'hui pour réduire l'effet de cet impact [14].

II.3. Caractéristiques des eaux de mer et les eaux saumâtres

Qualitativement, une eau salée a un goût appréciable de "sel". Il lui correspond le terme "salure". Quantitativement, une eau salée contient plus de 10 g/l de sels dissous. En dissout-on parlera d'eau saumâtre.

On distingue deux catégories d'eau salée : l'eau de mer et l'eau saumâtre [15].

II.3.1. Eau de mer

L'eau de mer est une eau dans laquelle la concentration en sels est relativement élevée (plus de 10 g/l en générale). Elle contient une quantité sensible de sels dissous ; plus particulièrement de chlorure de sodium. La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques est de l'ordre de 35 g/l qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation évaporation [15].

La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques :

Tableau 2 : La salinité de différentes mers [16].

Mer	Teneurs en sels (g/l)
Mer Méditerranée	36 à 39
Mer Rouge	~ 40
Mer Baltique	07
Mer Caspienne	13
Mer Morte	270
Golfe Arabo-Persique	40 à 70
Mer Noire	20

II.3.2. Compositions de l'eau de mer

Dans le cas des mers ouvertes, la proportion des différents sels en présence est relativement constante. En particulier, la somme des ions chlorures et sodium représente environ 85% du poids total des sels. Par contre, dans les mers fermées ou les grands lacs salés, la concentration par évaporation à partir d'apports d'eaux de surface faiblement salées mais relativement différentes de celle de l'eau de mer, conduit quelquefois à des compositions ioniques très particulières [16].

Tableau 3 : Composition minérale de l'eau de mer [17].

Type d'ions	Composition de l'eau de mer	Proportion (%)
Chlorures	19,841	55,08
Sulfates	2,769	7,69
Bicarbonates	0,146	0,41
Bromures	0,068	0,19
Fluorures	0,001	0,00
Sodium	11,035	30,64
Magnésium	1,330	3,69
Calcium	0,418	1,16
Potassium	0,397	1,10
Strontium	0,014	0,04
Totale	36,02	100

Cependant, quelle que soit la salinité totale, la proportion entre les éléments les plus abondants est pratiquement constante [18].

II.3.3. Eau saumâtre

C'est une eau dont la teneur en sels est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sels dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/l.

Toutes les eaux souterraines contiennent des substances dissoutes essentiellement sous forme ionique. Celles-ci proviennent de la dissolution des minéraux des roches ou des produits de leur altération par l'eau, des apports par les précipitations et les activités humaines (rejets urbains, industriels et agricoles). Cependant la source la plus importante de substances dissoutes est la dissolution des calcaires, du gypse. Les eaux très profondes sont très généralement chargées en sels, car la température augmente la solubilité de nombreuses substances [18].

II.4. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer

II.4.1. Température

Sous l'influence des courants polaires, la température de l'eau de mer peut fluctuer de quelques degrés sur les côtés jusqu'à 35 °C. Cette température peut être bénéfique à certains procédés de dessalement tout en étant nuisible à d'autres.

II.4.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

L'origine de l'eau, entre autres, influence la diversité des formes ionisées. Le pH moyen de l'eau de mer varie entre 7.5 et 8.4, l'eau de mer est donc légèrement basique [19].

II.4.3. Conductivité

La masse totale des sels dissous dans un kilogramme d'eau de mer varie selon la mer. La conductivité mesure de la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La quantité des sels dissous dans l'eau peut donc être estimée à l'aide de mesures de conductivité, qui sont également fonction de la température de l'eau. Lorsque la température monte, la conductivité devient encore plus importante [19].

II.4.4. Turbidité

La turbidité est la caractéristique de l'eau qui la rend trouble ; la mesure de la turbidité donne une indication sur la teneur en matières solides en suspension. La turbidité de l'eau de mer varie de 3 à 10 NTU [19].

II.4.5. Densité

La densité de l'eau de mer est de l'ordre de 1,03 g/cm ; soit le rapport d'une unité de masse à son volume à une température bien définie [19].

II.4.6. Dureté

La dureté d'une eau correspond à la présence des ions : Ca^{2+} et Mg^{2+} . Elle est notée TH. Il y a deux types de dureté à considérer :

II.4.6.1. Dureté temporaire : indique la concentration des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} qui précipitent après ébullition d'eau.

II.4.6.2. Dureté permanente : correspond à la concentration des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} qui reste en solution après ébullition d'eau. La dureté d'une eau de mer est en moyen de 705°F [20].

II.4.7. Métaux lourds

Les métaux lourds présents dans l'eau de mer peuvent être selon l'ordre de nocivité décroissante : mercure, cadmium, argent, plomb, zinc, nickel, cobalt...leur toxicité dépend de la forme chimique dans laquelle ils se trouvent. Les métaux lourds représentent un vrai problème de santé publique. De par leur composition chimique, ils ne peuvent pas être dégradés par les bactéries [21].

II.4.8. Matière organique

Les matières organiques présentes dans l'eau de mer peuvent provenir de diverses sources, notamment les émissions de l'industrie alimentaire, les eaux usées résidentielles et l'agriculture. Les matières organiques peuvent être dégradées par des bactéries spécifiques et donc dissoutes dans l'eau de mer, ce qui pose un défi d'un point de vue économique. La matière organique des eaux naturelles est un environnement très diversifié, mais plutôt stable dans le milieu aquatique. Les composés humiques constituent la majorité de cette matière organique, avec 30 à 50 % pour cent de carbone organique dissous et peut-être 90% pour cent dans des eaux plus colorées [21].

II.4.9. Sels dissous

La quantité de sel dissous dans l'eau de mer varie d'une eau à l'autre selon que la mer est ouverte ou fermée. Toutefois, dans le cas des océans ouverts, le pourcentage de divers sels présents et généralement stables. La somme des ions chlorure et sodium, par exemple, représente environ 85 % du poids total des sels [21].

II.5. Différents procédés de dessalement

On peut classer les méthodes de dessalement de l'eau de mer en fonction des procédés utilisés :

- Procédés thermiques.
- Procédés à membranes.

La figure suivante montre les différents procédés de dessalement employés dans le monde :

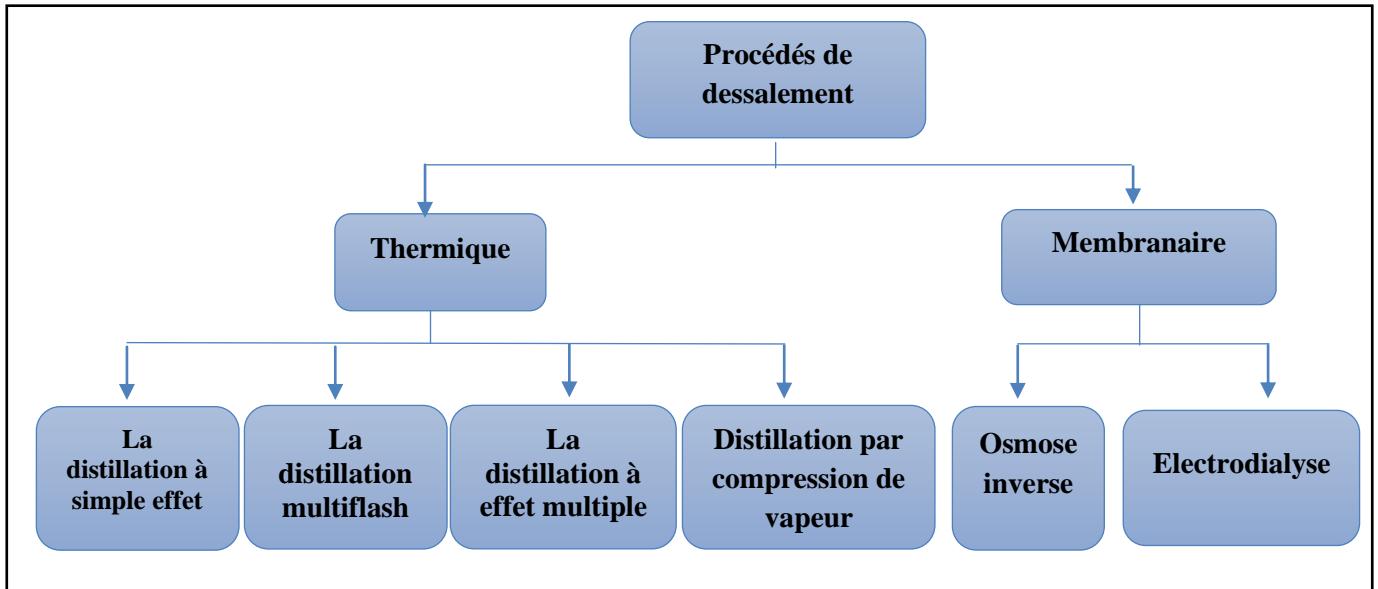


Figure 7 : Différents procédés de dessalement

II.5.1. Procédés de distillation

La distillation représente aujourd'hui environ 60 % du marché mondiale de dessalement. C'est la technique de dessalement la plus ancienne et la plus simple [22].

II.5.1.1. Distillation à simple effet

Ce type de distillation ressemble au processus de dessalement naturel. Il nécessite également de l'eau de mer bouillante pour en pulvériser une partie. Comme la vapeur créée ne contient pas de sels, il suffit de refroidir la vapeur pour la transformer en forme liquide afin d'obtenir de l'eau potable [22].

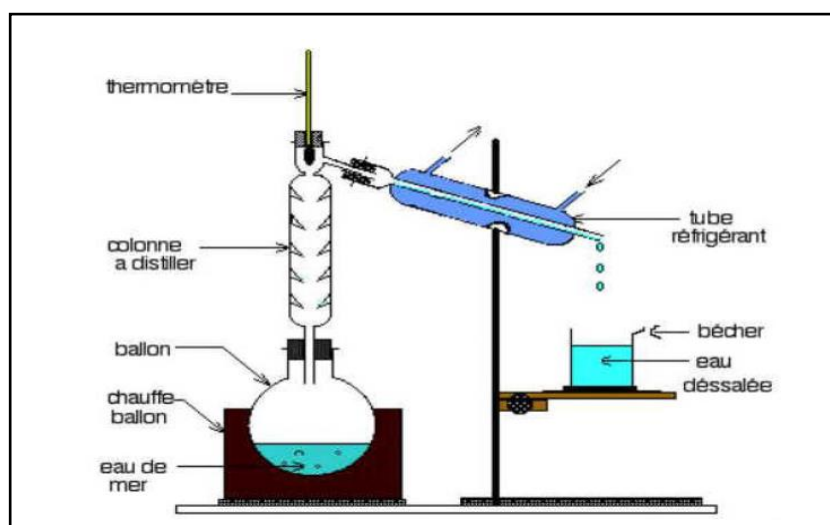


Figure 8 : Principe du procédé de distillation à simple effet [22].

II.5.1.2. Distillation multistage

Le multistage a l'avantage d'avoir un faible coût énergétique. En fait, plus la pression est basse, plus la température à laquelle l'eau devient gazeuse est basse. L'eau de mer est envoyée dans des conduits, où elle est chauffée à 120 °C avant d'être placée dans une chambre à pression réduite (sa température d'ébullition est donc plus basse) [22].

L'eau est ensuite convertie en vapeur à la suite d'un processus de détente appelé « Flash ». La vapeur produite augmentera au fur et à mesure qu'elle entrera en contact avec les premières conduites de l'eau de mer. Comme les conduites sont relativement froides, la vapeur se condense et est ensuite récupérée dans un état liquide. Pour l'eau qui ne s'est pas évaporée dans ce compartiment, elle est collectée et transférée vers un deuxième compartiment du même type mais avec une pression atmosphérique encore plus faible. Et donc la procédure se fait plusieurs fois (d'où le nom de multi-flash). Les usines de dessalement ont d'environ 40 compartiments dans lesquels le procédé est répété [22].

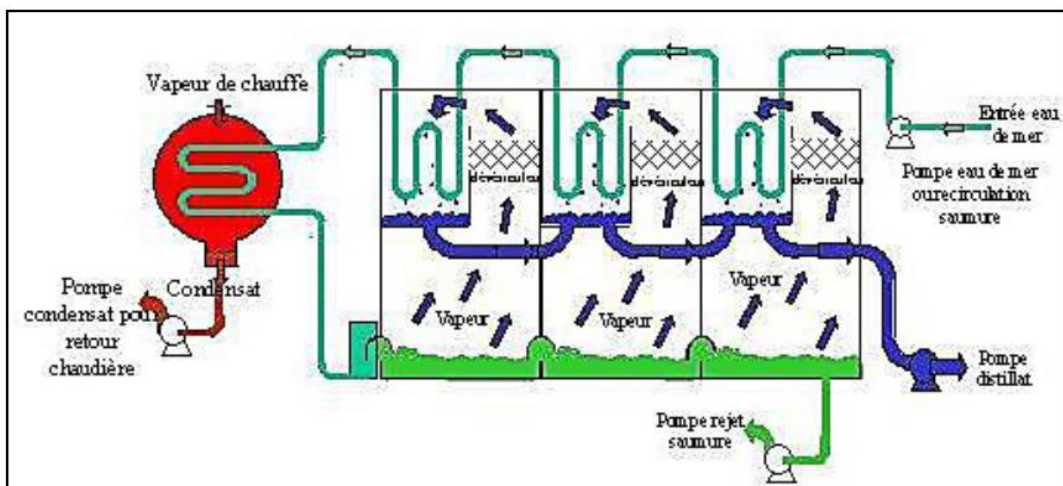


Figure 9 : Procédé de distillation multistage d'eau de mer [23].

II.5.1.3. Distillation à multiples effets

Comme il ne génère pas d'énormes quantités d'eau douce et nécessite une installation sensible et coûteuse, la distillation multi-effet est moins répandue. Cependant, par rapport à la technique multistage, cette approche permet des économies de l'ordre de 15 à 20 %. L'idée de base consiste en une séquence de modules évaporateur/condensateur, disposés de manière à minimiser les pertes de chaleur tout en maintenant une haute faisabilité technique. Cette méthode améliore également la récupération de la chaleur latente de la condensation d'eau [22].

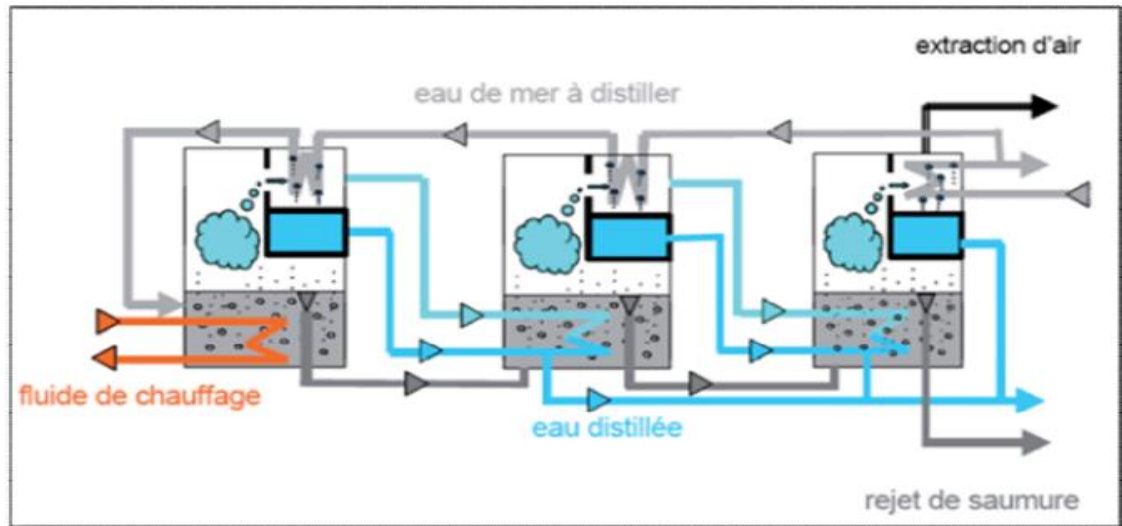


Figure 10 : Procédé de distillation à effets multiples d'eau de mer [24].

II.5.1.4. Compression mécanique de vapeur

L'eau salée est vaporisée à environ 100 °C dans un évaporateur ou à l'aide d'un serpentin de vapeur auxiliaire, qui est ensuite éteint. La vapeur d'eau est captée par un compresseur à pression atmosphérique et à environ 100 °C, et transportée à une pression relative de l'ordre de 0,2 bar, avec seulement une surchauffe de 6 °C. La vapeur surchauffée est ensuite forcée de se condenser dans la bobine principale de l'évaporateur. La grande efficacité de la compression thermique est un de ses avantages ; à partir de 1 m³ d'eau brute, environ 0,8 m³ d'eau douce peuvent être obtenus [25].

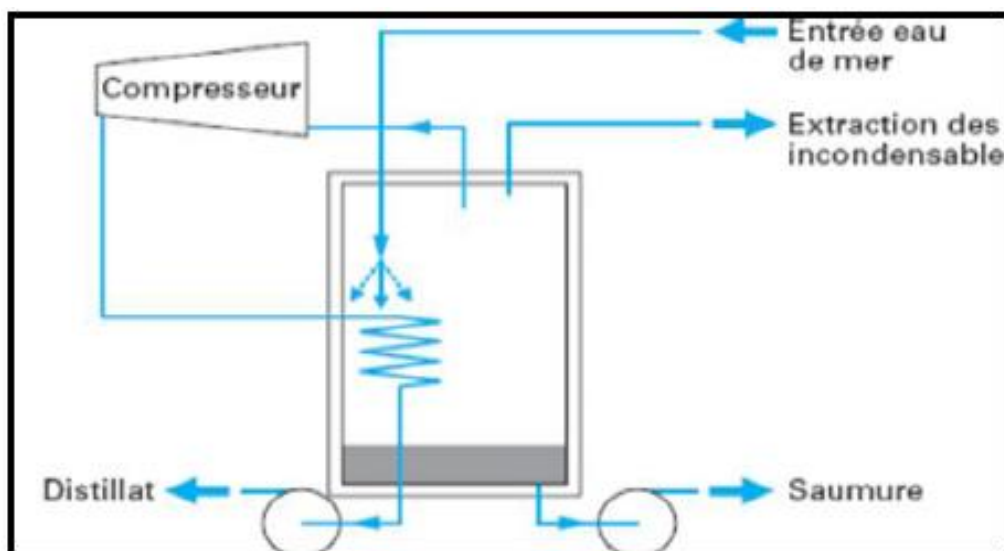


Figure 11 : Distillation avec compresseur de vapeur [26].

II.5.2. Procédés membranaires

Les membranes ont la capacité de faire la distinction entre les sels et l'eau et de les séparer de façon sélective. Deux méthodes de dessalement membranaire ont été créées et sont actuellement disponibles sur le marché, utilisant ces capacités mais de manières différentes dans chaque cas : l'électrodialyse et l'osmose inverse [27].

II.5.2.1. L'électrodialyse

L'électrodialyse fonctionne sur un concept bien connu. Un champ électrique généré par deux électrodes plongeant dans le liquide déplace les ions d'un sel dissous dans l'eau, tels que le chlorure de sodium.

L'électrode négative (ou cathode) attire les ions positifs, ou cations (par Na^+), tandis que l'électrode positive attire les ions négatifs (Cl^-).

Les membranes filtrantes imperméables aux anions et cations perméables, ou imperméables aux cations et perméables aux anions, sont alternativement insérées dans l'électrodialyse. En conséquence, une série de compartiments avec des concentrations élevées de sel et d'autres avec des concentrations faibles de sel sont créés.

L'électrodialyse est idéale pour les eaux saumâtres dont la salinité est inférieure à celle de l'eau de mer. Les membranes d'électrodialyse permettent aux ions de circuler tout en restant étanches. L'inverse est vrai pour les membranes utilisées en osmose inverse [28].

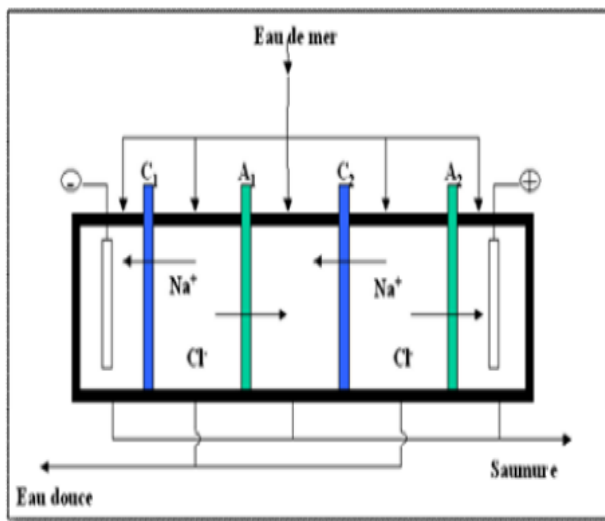


Figure 12 : Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle [29].

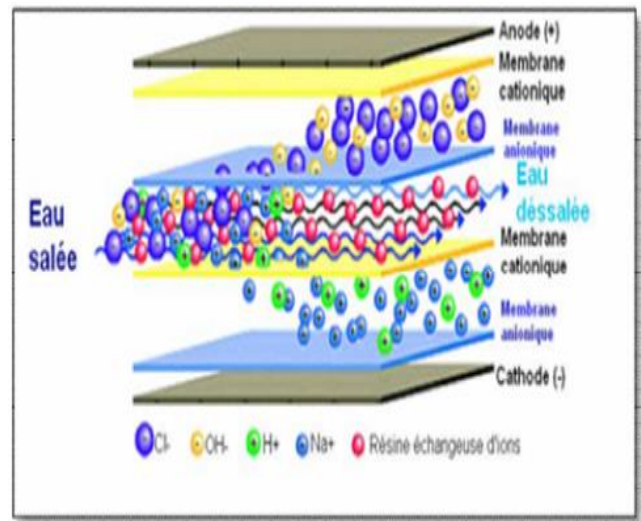


Figure 13 : Principe de l'électrodialyse [30].

II.5.2.2. L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (de 54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase [22]. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques dont la taille est supérieure à 10^{-7} mm.

II.6. Principe de l'osmose inverse

II.6.1. Osmose et osmose inverse

On appelle « osmose » le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane sous l'action d'un gradient de concentration.

Considérons un récipient constitué de deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable. Les deux compartiments sont remplis, au même niveau, l'un d'eau pure, l'autre d'eau salée ; on constate rapidement le passage de l'eau pure vers le compartiment renfermant l'eau salée.

Au fur et à mesure que le niveau d'eau élève dans le compartiment de la solution concentrée, la membrane semi-perméable est soumise à une pression hydrostatique de plus en plus élevée côté eau salée, et de plus en plus faible côté eau pure.

A l'équilibre, aucun flux ne traverse la membrane, le système est alors soumis à une pression d'équilibre appelée « pression osmotique ».

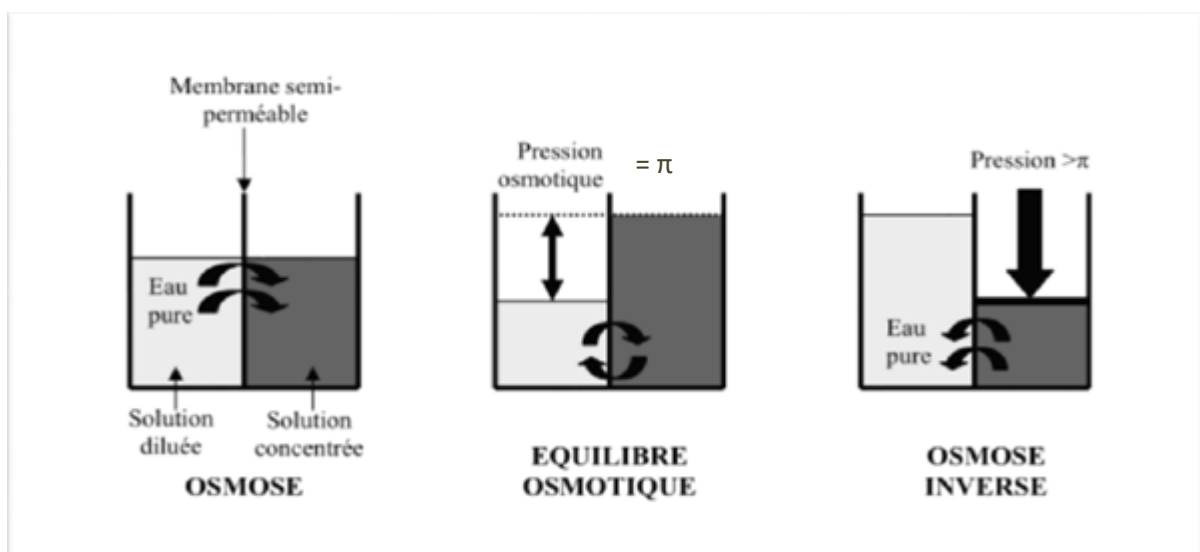


Figure 14 : Principe de l'osmose et l'osmose inverse [31].

Ce phénomène d'osmose est réversible, il suffit d'appliquer à la solution la plus concentrée une pression mécanique supérieur à la pression osmotique pour inverser le sens du flux d'eau : c'est le phénomène d'osmose inverse [32].

II.6.2. Schéma général d'une installation d'osmose inverse

Le système d'osmose inverse est composé principalement de :

- Membrane.
- Le module contenant la membrane.
- La pompe haute pression (Une pompe de mise à pression du liquide afin de lui donner la pression efficace de production qui doit être supérieure à la pression osmotique des modules).
- Le poste de traitement.

Ci-dessous (Figure 15) une représentation d'une filière de traitement par osmose inverse :

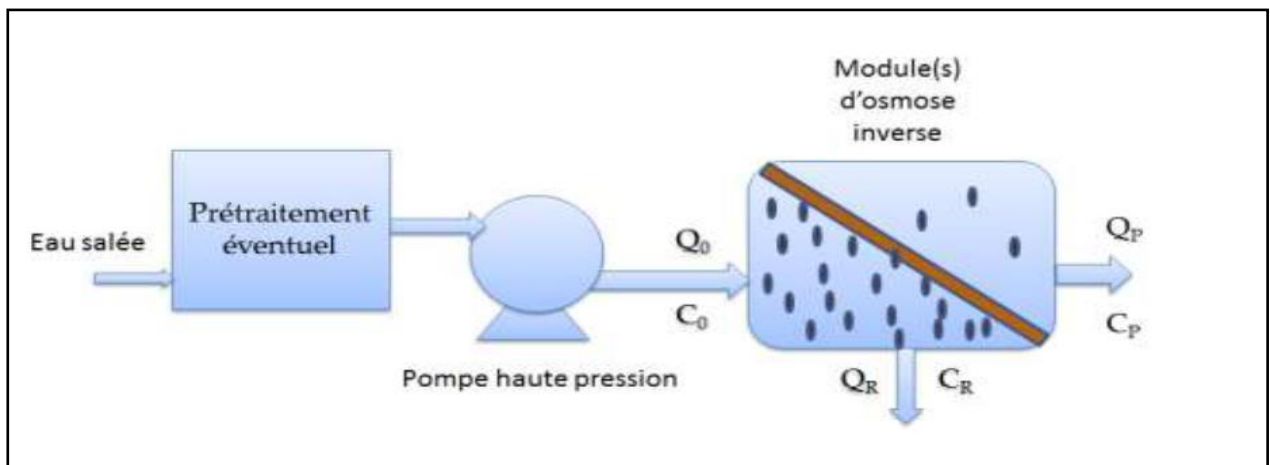


Figure 15 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse [4].

Sur la membrane, le flux fluide est continu et tangentiel. Ce flux tangentiel empêche de nombreuses espèces (particules, molécules et ions) de s'accumuler sur la membrane. Le débit d'admission de la membrane (Q_0) est divisé en deux sections avec des concentrations différentes. La membrane permet à un composant (débit Q_p) de passer à travers (perméat), tandis que l'autre partie est maintenue par la membrane (concentrat ou retentat) [33].

II.7. Autres procédés de dessalement

II.7.1. Échangeurs d'ions :

L'échange d'ions (Figure 16) est la méthode privilégiée pour éliminer certains polluants de l'eau potable. L'échange d'ions est un processus très sélectif par rapport à d'autres

méthodes et il est utilisé dans de nombreuses applications à grande échelle pour l'élimination de la dureté, des nitrates, du bore, de la matière organique naturelle, des perchlorates, des chromates, de l'uranium et d'autres métaux [34].

L'échange d'ions est la permutation réversible d'ions structuraux dans un matériau, appelé "échangeur d'ions", et d'ions en solution, qui sont en contact avec l'échangeur d'ions [35].

❖ Application en dessalement

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

Les atomes d'hydrogènes et d'oxygènes auxquels ils leurs manquent des électrons se reconstituent et s'unissent finalement pour former des molécules de matière en l'occurrence de l'eau [36].

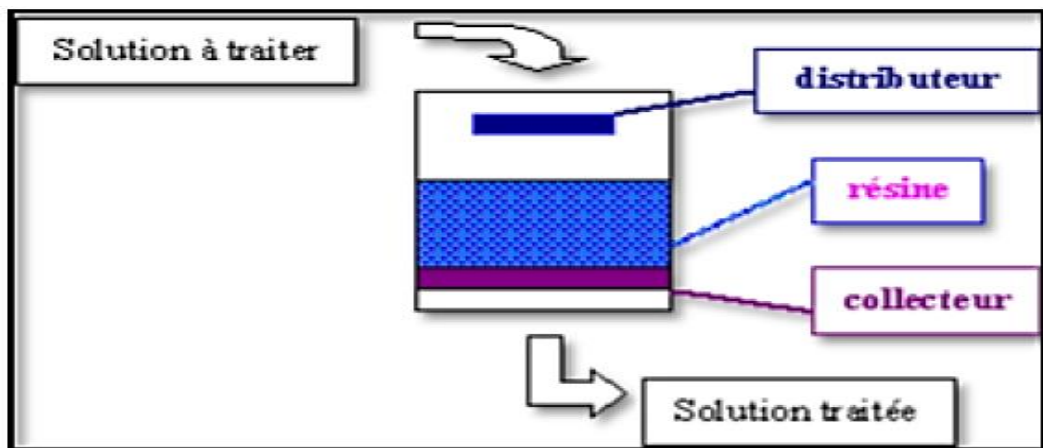


Figure 16 : Colonne échangeur d'ions

II.7.2. Dessalement par congélation

Elle est fondée sur le fait que lorsqu'une concentration saline est exposée à une température inférieure à 0 °C, elle se transforme partiellement en glace d'eau douce. L'autre moitié, cependant, n'est pas affectée par ce processus et se concentre dans le sel. La glace doit encore être fondue, ce qui semble facile au début, mais est compliqué par le fait que les cristaux de glace sont encore recouverts d'une fine couche de saumure [37].

Les opérations unitaires d'un procédé de dessalement par congélation sont :

1. Le prétraitement de l'eau de mer (élimination des solides en suspension, élimination des gaz dissouts pour les procédés sous vide).
2. La formation des cristaux de glace à partir de la solution saline (pour les procédés en suspension, des cristaux de grande taille sont souhaités pour faciliter le lavage).
3. Le lavage et/ou ressuage des cristaux de glace (pour les procédés continus, lavage dans une colonne par environ 5 % de l'eau produite).
4. La fusion des cristaux de glace [38].

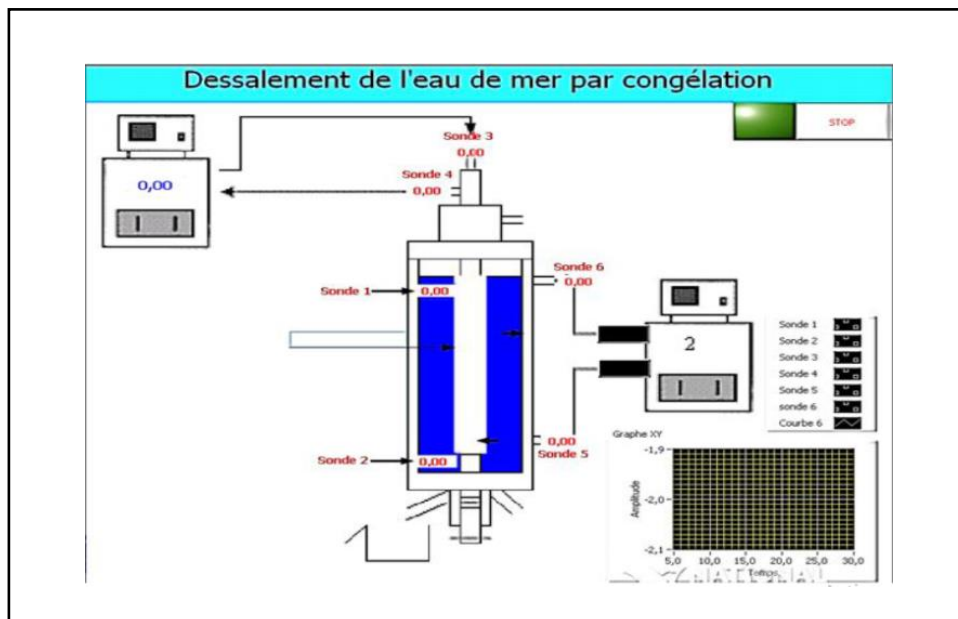


Figure 17 : Dessalement par congélation

II.7.3. Distillation solaire

En 1872, le distillateur solaire a été employé pour la première fois dans les mines de nitrate du nord du Chili. Il a donné de l'eau potable aux animaux de trait de l'eau salée de la mer, et il fonctionne principalement sur l'effet de serre. Il s'agit d'une enceinte fermée, composée d'un bac de surface noire et qui contient une lame d'eau et d'une couverture vitrée servant à obtenir l'effet de serre nécessaire au processus de l'évaporation/condensation [39].

La surface noire au fond du bassin est chauffée par le rayonnement solaire. Le rayonnement chauffe l'eau pendant qu'elle s'évapore et se condense sur le verre puisqu'elle ne peut pas partir (gouttes d'eau). Sur la surface noire, le sel est resté. Après cela, les gouttes d'eau propre tombent dans les chutes. Son principal inconvénient est son faible rendement. Certains pays du désert du Moyen-Orient et du bassin méditerranéen utilisent maintenant de tels systèmes pour résoudre les problèmes d'approvisionnement en eau douce.

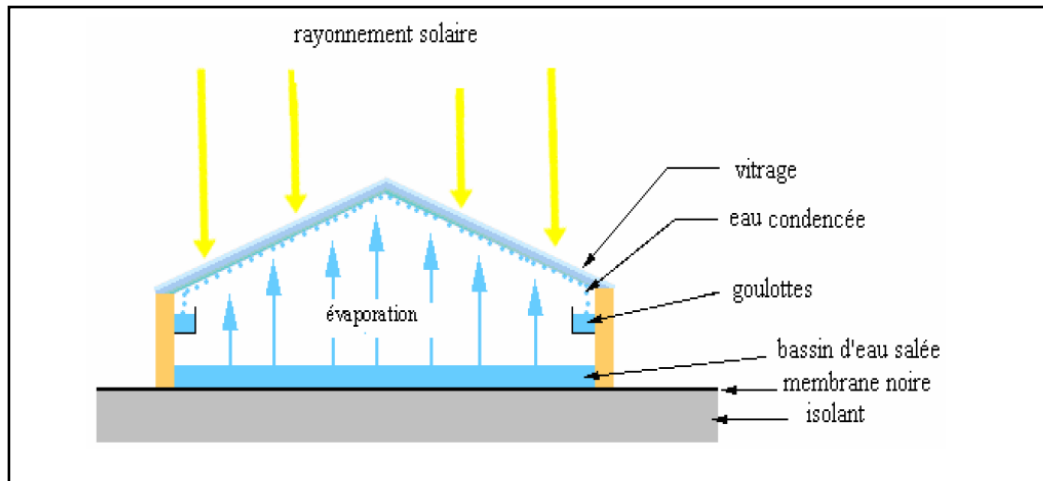


Figure 18 : Procédé de distillation solaire d'eau de mer [39].

II.8. Les problèmes techniques rencontrés en dessalement

II.8.1. Entartrage

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. A cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonates et sulfate).

Ces dépôts sont constitués principalement par de carbonate de calcium (CaCO_3) de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4)...etc [40].

Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement :

- Réduction de la section de passage ;
- Dégradation des états de surface ;
- Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit ;
- Augmentation des pertes de charge pour un débit constant ;
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre [40].

II.8.2. Le colmatage

Les composés organiques et les bactéries peuvent être trouvés dans l'eau brute naturelle. Ces organismes qui sont retenus par les membranes pourraient les obstruer et trouver des circonstances idéales pour la croissance en osmose inverse. Ils développent ensuite un biofilm, qui peut causer un blocage de la membrane. Cela a une influence directe sur la capacité de production des installations ainsi que sur le coût du processus.

Comme pour les autres problèmes il est possible de réduire le colmatage par un prétraitement adéquat. Dans certains cas une étape de coagulation-floculation suivie d'une filtration sera indispensable [40].

II.8.3. La corrosion

C'est l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur un matériau, en particulier un métal ou un alliage, qui provoque la dégradation de la substance. La corrosion est une expression qui désigne l'impact lent des agents naturels sur les métaux, comme l'air ou l'eau salée [41].

Les principales conséquences de la corrosion sont :

- Rupture des conduites ;
- Augmentation de la rugosité des conduites ;
- Fuites d'eau ;
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs.

II.9. Conclusion

Le dessalement de l'eau de mer est l'une des solutions les plus efficaces pour éliminer le manque d'eau potable connu dans monde.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts généraux sur le dessalement, à partir de ses aspects positifs et de ses conséquences négatives.

L'Algérie mise sur la méthode de l'osmose inverse dans le procédé de dessalement, en raison du faible investissement et du coût énergétique d'un tel procédé.

Chapitre III

Processus de dessalement de
l'eau de mer

III.1.Introduction

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée. En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

L'objectif de ce chapitre est de savoir comment conduire le processus de dessalement de l'eau de mer dans la station de Cap Djinet, à partir de l'arrivée de l'eau à la station en passant par les étapes suivies par cette station pour la rendre potable jusqu'à sa distribution.

III.2.Processus du dessalement appliqué dans la station du dessalement de Cap Djinet

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

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

III.2.1. Captation de l'eau de mer

Le captage de l'eau de mer est la première opération qui s'effectue au niveau de la station. Cette phase a pour objectif de capter l'eau de mer par gravité dans un réservoir de réception, éliminer les particules grossières et préparer l'eau pour la phase de filtration.

Le captage de l'eau de mer se réalise à travers d'un émissaire de captage dont le diamètre nominal est de 1800 mm, placé à une profondeur de 20 m sur une longueur de 1,8 Km plongé dans l'eau de mer. Le débit maximal de captage est de 222444 m³/j.

La pression d'entrée de l'eau de mer dans la station est de 2 à 4 bars.



Figure 19 : Captage d'eau de mer

Le groupe de pompage de l'eau de mer est composé de 5 pompes (4 pompes en service et 1 de secours).



Figure 20 : Station de pompage de l'eau de mer

III.2.2. Le prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer est une étape essentielle, c'est la deuxième étape du processus de dessalement dont le but est d'éliminer :

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

Cette phase est aussi nécessaire pour éviter :

- L'incrustation,
- L'encrassement,
- La dégradation des membranes d'osmose inverse par les micro-organismes.

Elle comporte deux types de prétraitement, à savoir :

III.2.2.1. Prétraitement chimique

III.2.2.1.1. La chloration

L'utilisation de différents dérivés chlorés, normalement l'hypochlorite de sodium (NaOCl), au niveau de la tour de captage d'eau de mer et après la station de pompage.

L'injection d'hypochlorite de sodium est dans le but de :

- Désinfecter et stériliser l'eau afin de réduire la croissance biologique à l'usine de traitement.

- L'inactivation des micro-organismes (bactéries principalement), micro-algues et les champignons.

III.2.2.1.2. Injection de permanganate de potassium (KMnO_4)

Un équipement de dosage de permanganate de potassium (KMnO_4) est installé au niveau de la station dans le but d'oxyder la matière organique.

III.2.2.1.3. Injection d'acide sulfurique (H_2SO_4)

Un dosage de l'acide sulfurique est effectué au niveau de système de pompage, de même que les autres agents chimiques ; son rôle est un catalyseur dans la coagulation/floculation.

III.2.2.1.4. Coagulation-Floculation

La coagulation et la floculation est appliquée dans le cas où l'eau de mer a une turbidité élevée.

III.2.2.1.5. Coagulation

Dans le système de pompage de l'eau de mer on ajoutant le coagulant (Chlorure Ferrique (FeCl_3)), il déstabilise la charge électrique des particules colloïdales pour favoriser leur agglomération.

Le but de la coagulation est d'éliminer ou réduire au maximum la présence des matières colloïdales.

III.2.2.1.6. Floculation

On injecte le floculant poly-électrolytes dans le système de pompage, il augmenter la probabilité des contacts entre les particules.

Le but de la floculation est d'éviter l'entartrage des membranes en empêchant la précipitation du carbonate de calcium.

III.2.2.1.7. Injection de métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)

Le chlore ne doit pas être laissé atteindre les membranes d'osmose inverse car il oxydera les membranes. L'enlèvement de ce dernier de l'eau de mer est réalisé par le dosage du métabisulfite de sodium qui réagit avec le chlore en évitant qu'ils ne parviennent aux membranes et qu'ils ne les détériorent.

III.2.2.1.8. Injection d'inhibiteur anti-scalant

Afin de protéger les membranes et d'éviter les précipitations de sel, on dosera un inhibiteur dont l'action est destinée à empêcher la formation des réseaux cristallines.



Figure 21 : Réservoirs des produits chimiques

III.2.2.2. Prétraitement physique

Ce traitement est destiné à éliminer fondamentalement les éléments solides, les algues et la matière organique.

III.2.2.2.1. Filtration à sable et anthracite

Ce système est constitué de 20 filtres cylindriques horizontaux avec un diamètre de 4 m et une longueur de 24 m répartis en 12 filtres à sable et anthracite pour la première phase et 8 filtres à sable pour la seconde phase.

Ce système est destiné à éliminer fondamentalement la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer et produit une eau filtrée à basse turbidité prête pour l'étape d'osmose inverse.

Les filtres sont soumis à un système de lavage, il y'a un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme, qui indiquera quand il sera nécessaire de nettoyer les filtres.



Figure 22 : Filtres à sable et anthracite

III.2.2.2. Filtration à cartouche

Afin de filtrer et d'éliminer les particules de dimensions supérieures à 5 μm et protéger le système d'osmose inverse et pour assurer une meilleure qualité de l'eau nous faisons la dernière étape du prétraitement qui est la microfiltration, c'est une étape une fois l'eau a reçu les dosages des réactifs appropriés et qu'elle a été filtré.

C'est une microfiltration assurée par des cartouches en polypropylène à membrane de 25 microns et d'un diamètre de 61 mm, dans des réservoirs métalliques en position verticale qu'on appelle « filtre à cartouche ». Le nombre de ses derniers est de 9 filtres comportant 360 cartouches chacun, et quand il sera nécessaire de remplacer les cartouches filtrantes nous disposons d'un manomètre différentiel muni de contact électrique pour alarme.



Figure 23 : Filtres à cartouches

III.2.3. L'étape d'osmose inverse

Après le prétraitement de l'eau, cette dernière arrive l'étape de l'osmose inverse qui est la partie principale du processus. Avant de l'entrée dans les membranes de l'osmose inverse, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression qui fonctionne généralement par une pression de 55 à 85 bars.

Le nombre des pompes est de 5, dont 4 sont fonctionnelle et une de secours, en fournissant une pression totale de l'ordre de 60 bars.

Dans la station de dessalement de Cap Djinet, le bloc d'osmose inverse est constitué de quatre unités, chaque unité est répartie en deux châssis. Chacun de ses derniers comporte 152 tubes de pressions, et 7 membranes dans chaque tube.

Les tubes de pression sont disposés pour avoir un taux de conversion de 45 % (perméat), donc on déduit que 55 % de l'eau de mer rejetée représente le concentrât.



Figure 24 : Châssis d'osmose inverse

III.2.3.1. Récupération d'énergie

Dans les stations de dessalement principalement, comme mentionné précédemment où elle fonctionne avec des pressions comprises entre 55 et 85 bars, la récupération de l'énergie contenue dans le débit de rejet, est obligatoire pour des raisons énergétiques-économiques.

III.2.3.1.1. Mode de fonctionnement

Depuis quelques années, un nouveau concept de récupération fait ses preuves sur les installations de dessalement par osmose inverse et permet de récupérer 95 % de l'énergie du rejet de saumure, c'est le système d'échangeur de pression PX (Pressure Exchanger, en Anglais) de la compagnie américaine ERI (ENERGY RECOVERY INC, en Anglais).

Les rejets des membranes est dirigées vers le PX, qui transfère la pression du rejet à l'eau de mer, et la renvoie vers les membranes. Le PX fournit l'eau prétraitée par l'énergie du concentrât qu'il reçoit.

La station de pompage fournit à l'installation la même quantité de l'eau de mer (9250 m³/h) à 4 bars, mais seulement 4233,3 m³/h sont dirigés vers une pompe HP (Haute Pression). Le complément de 5016,7 m³/h est envoyé vers l'échangeur de pression PX qui transmet la pression de 58 bars, des 5087,5 m³/h de saumure à cette nouvelle eau de mer.

L'eau de mer montée à 57 bars sort de l'échangeur, récupère sur un booster en ligne les 3 bars qui lui manque pour rejoindre l'eau de mer sortant de la pompe haute pression (pompe HP) et c'est bien un débit de 9250 m³/h à 60 bars qui entre dans le module d'osmose inverse.

La production est donc identique à savoir 4162,5 m³/h d'eau douce. La différence de 5087,5 m³/h reviennent vers l'échangeur pour fournir l'énergie à l'eau de mer. Cette dernière, après avoir perdu sa pression sort de l'échangeur vers le rejet à pression atmosphérique.



Figure 25 : Echangeur de pression ERI

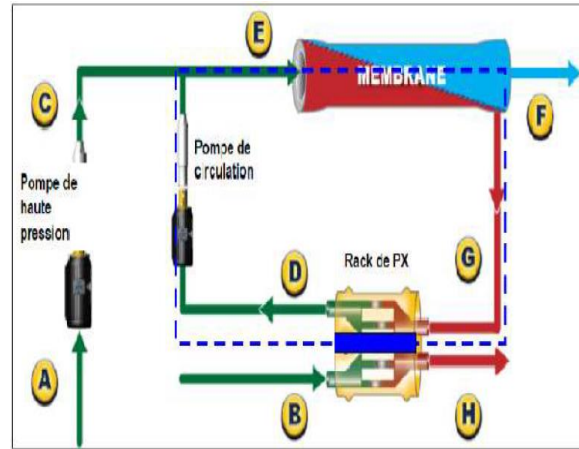


Figure 26 : Système de récupération d'énergie

III.2.3.2. Nettoyage chimique

Pour protéger les membranes et les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à réduire les performances qualitatives et quantitatives du système, les membranes doivent être nettoyées périodiquement. Cette élimination est obtenue en faisant recycler des solutions chimiques acides (pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques) et basiques (pour les dépôts biologiques et bactériens).

III.2.4. Post traitement

C'est la dernière étape de traitement où se fait la reminéralisation de l'eau produite pour les rendre appropriées à la consommation humaine.

Dans l'usine de Cap Djinet les étapes de post traitement sont basées essentiellement sur :

1. Une reminéralisation par calcite (carbonate de calcium) et avec un apport de dioxyde carbone.
2. Dans la chambre CO₂, on injecte une dose de CO₂ pour réduire le pH qui permet de rendre plus efficace le processus de reminéralisation. Ensuite, l'eau est dirigée vers la tour de reminéralisation et s'enrichie du carbonate de calcium qui se dissout dans l'eau pour atteindre le fond (réservoir) par un canal à l'intérieur de la tour.
3. Une fois passée la réaction de reminéralisations, on obtient l'équilibre calco-carbonique. Après cela pour désinfecter l'eau contre toute contamination microbienne éventuelle et pour le protéger lors de son stockage et de son transport, il y aura un

ajout d'hypochlorite de sodium à l'aide d'un doseur automatique et on ajoute des fois aussi l'hydroxyde de sodium « la soude NaOH » pour la correction de pH.

4. Après la désinfection et la reminéralisation, l'eau traitée sera stockée dans un réservoir de stockage afin de la distribuer par l'entreprise concernée « l'algérienne des eaux (ADE) ».

III.3. Conclusion

La station de dessalement de l'eau de mer de Cap Djinet repose dans son processus de dessalement sur plusieurs étapes. Après avoir reçu l'eau de mer, elle subit un prétraitement chimique et physique avant de passer à l'étape la plus importante du processus de dessalement, qui est l'osmose inverse jusqu'à ce que nous atteignons l'étape de reminéralisation dans laquelle l'eau devient potable.

La station reçoit un débit quotidien de la mer estimé à environ de 222444 m³/j, elle produit un débit de 100000 m³/j et les 122444 m³/j restants, ce sont des rejets qui remontent à la mer.

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV.1. Introduction

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses organoleptiques et physico-chimiques au niveau de laboratoire d'analyse de la station de dessalement Cap Djinet du 09/05/2021 au 23/05/2021 ont pour but de contrôler la qualité de l'eau de mer, l'eau traitée et la saumure. Ce contrôle permettra d'assurer le bon fonctionnement de l'unité ainsi que l'obtention d'une eau de bonne qualité.

Nous avons effectué des prélèvements au niveau de trois points de la station dans des flacons en plastique et parfois des bouteilles en verre :

- A l'entrée de la station (eau de mer),
- A la sortie de la station en deux points (eau produite, eau rejeté (saumure)).

IV.2. Paramètres organoleptiques

IV.2.1. Évaluation de la couleur

La couleur de l'eau contenue dans des bouteilles en verre transparent est utilisée pour contrôler la couleur des échantillons prélevés dans le réservoir de l'eau traitée.

IV.2.2. Évaluation de l'odeur et de la saveur

L'odeur a été évaluée par sensation lors du prélèvement de l'eau, et après un stockage de 48 h des échantillons, de même que la saveur, par une simple dégustation par six dégustateurs.

IV.2.3. Mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité a été effectuée à l'aide d'un Turbidimètre (HACH, 2100Q) qui est étalonné d'avance à 0,02 NTU. L'échantillon sera analysé en utilisant des capsules en verre bien nettoyées et bien séchées, remplies de l'eau à analyser. Le résultat est affiché en NTU (Nephelométric Turbidity Unit).



Figure 27 : Turbidimètre

IV.3. Paramètres physico-chimiques

IV.3.1. Mesure de pH

Dans le laboratoire de la station de dessalement Cap Djinet, La mesure du pH est réalisée à l'aide d'un appareil à sonde (HACH, sensION3).



Figure 28 : pH mètre (HACH, sensION3)

IV.3.1.1. Mode opératoire

- 1) Allumer le pH mètre,
- 2) Agiter l'échantillon doucement et verser 100 ml de l'eau à analyser dans un bécher propre,
- 3) Rincer la sonde avec de l'eau ultra pure puis avec de l'eau à analyser,
- 4) Immerger la sonde dans l'échantillon et essayer d'éliminer les bulles d'air au cours de la stabilisation de la mesure avec une simple agitation de la sonde,

- 5) Enregistrer la valeur du pH qui est affichée sur l'appareil après la stabilisation de la lecture,
- 6) Rincer la sonde,
- 7) Arrêter l'appareil.

IV.3.2. Mesure de la conductivité et la température

La conductivité est mesurée par un conductimètre multi-paramètres à sonde (HACH, sensION7).



Figure 29 : Multi-paramètres à sonde (HACH, sensION7)

IV.3.2.1. Mode opératoire

- 1) Allumer le conductimètre,
- 2) Étalonner le avec de l'eau distillée,
- 3) Plonger ensuite la sonde tout en agitant légèrement dans un béccher qui comporte environ 100 ml de notre échantillon,
- 4) Laisser stabiliser et lire ensuite la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$,
- 5) Il faut également rincer la sonde après chaque mesure,
- 6) Arrêter l'appareil.

IV.3.3. Mesure de TDS

Les sels dissous totaux représentent une évaluation totale des sels minéraux contenus dans l'eau (en solution). Au niveau du laboratoire de la station de dessalement de Cap Djinet, la mesure de la concentration des solides dissous se fait par le rapport entre la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la concentration ionique (ppm), qui s'exprime par :

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

- Pour l'eau produite $K = 0,5$
- Pour l'eau de mer $K = 0,61$
- Pour la saumure $K = 0,7$

IV.3.3.1. Matériels et réactifs

- Un Becher,
- Conductimètre.

IV.3.3.2. Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre, mettre environ 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du conductimètre pour mesurer le TDS, exprimé en mg/l.

IV.3.4. Mesure de l'Alcalinité

IV.3.4.1. Titre alcalimétrique simple (TA)

Le titre alcalimétrique d'une eau correspond à la mesure des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-) par la méthode titrage, cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau à analyser par l'acide chlorhydrique (HCl) dilué en présence de phénophtaléine et un indicateur coloré.

IV.3.4.1.1. Matériels et réactifs

- Erlenmeyer,
- Burette,
- Solution d'HCl (0,02N),
- Solution de phénophtaléine 0,5 %.

IV.3.4.1.2. Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml, prélever 100 ml d'eau à analyser et ajouter 2 à 3 gouttes de phénophtaléine, une couleur rose est révélée suite au changement du pH qui s'avère inférieur à 8,3. Titrer et agiter avec la solution de HCl de 0,02N jusqu'à décoloration complète de la solution, dans le cas contraire le TA est nul. Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$\text{TA (meq/l)} = (\text{N}_{\text{HCl}} \times \text{V}_{\text{HCl}}) \times 1000 / \text{V}_0$$

Tels que :

N_{HCl} : Normalité de HCl,

V_{HCl} : Volume de HCl,

V_0 : Volume de l'échantillon.

IV.3.4.2. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC mesure la teneur en hydrogénocarbonate, hydroxyde libre et en carbonate contenus dans l'eau. Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par l'acide chlorhydrique (HCl) dilué en présence de méthyle orange.

IV.3.4.2.1. Matériels et réactifs

- Erlenmeyer,
- Burette,
- Solution d'HCl (0,02N),
- Solution de phénophtaléine 0,2 %.

IV.3.4.2.2. Mode opératoire

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer de 250 ml, ajouter 2 à 3 gouttes de solution de méthyle orange, une couleur jaune doit se développer. Titrer avec la solution de HCl de 0,02N à l'aide d'une burette, en agitant constamment, jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH = 4,3) de la solution.

Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$\text{TAC (meq/l)} = (N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}}) \times 1000 / V_0$$

Tels que :

N_{HCl} : Normalité de HCl,

V_{HCl} : Volume de HCl,

V_0 : Volume de l'échantillon.

IV.3.4.3. Détermination des bicarbonates (HCO_3^-) et des Carbonates (CO_3^{2-})

Les carbonates sont les sels de l'acide carbonique, les sels ont en commun l'anion (CO_3^{2-}). Le carbonate le plus abondant est le carbonate de calcique (CaCO_3). Les bicarbonates sont des sels dérivés de l'acide carbonique qui contiennent l'anion (HCO_3^-).

La détermination de carbonate et de bicarbonate est faite selon le tableau suivant :

Tableau 4 : Détermination de CO_3^{2-} et HCO_3^- à partir du TA et TAC

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

IV.3.5. Mesure de la Dureté Total (TH)

Appelée aussi le titre hydrométrique (TH), elle détermine la concentration en sel de calcium et de magnésium dissout dans l'eau. Elle se détermine par titrage par l'EDTA, à pH=10, en utilisant le NET (Noir d'Eriochrome T), comme indicateur de fin de réaction. La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium [10].

IV.3.5.1. Matériels et réactifs

- Fiole,
- Burette,
- Solution de NaOH,
- Noir d'Eriochrome T (N.E.T),
- Solution d'EDTA.

IV.3.5.2. Mode opératoire

Mettre dans un erlenmeyer 100 ml d'eau à analyser et ajouter 5 ml de la solution tampon de NaOH (pH = 9,5 à 10) et trois gouttes d'indicateur coloré NET (Noir d'Eriochrome T). La solution se colore en rouge ou violet, à ce stade, un titrage par la solution d'EDTA (0,02 N), sous agitation jusqu'au virage au bleu permet de mesurer la TH.

Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$TH = (N_{EDTA} \times V_{EDTA}) \times 1000 / V_0$$

Tels que :

N_{EDTA} : La normale de la solution EDTA,

V_{EDTA} : Volume en millilitres, de la solution EDTA, utilisé pour le dosage,

V_0 : Volume en millilitres, d'échantillon dosé.



Figure 30 : Titrage par la solution d'EDTA

IV.3.6. Mesure de calcium (Ca^{2+})

Le calcium est présent dans les eaux de manière naturelle. Pour déterminer la dureté calcique on utilise l'EDTA comme complexant, le dosage se fait à un pH élevé (12-13). L'indicateur utilisé est le Murexide qui est sensible aux seuls ions Ca^{2+} pour former un complexe rouge.

IV.3.6.1. Matériels et réactifs

- Erlenmeyer,
- Burette,
- Solution de NaOH,
- Murexide,
- Solution d'EDTA 0,02N.

IV.3.6.2. Mode opératoire

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, et ajouter 5 ml de la solution NaOH (0,1N) et une pincée de Murexide, puis remuer soigneusement pour homogénéiser la solution, une couleur rose apparaît. Un titrage par l'EDTA (0,02N) a lieu jusqu'au virage rose au mauve.

La dureté calcique est calculée par la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = (\text{N}_{\text{EDTA}} \times \text{V}_{\text{EDTA}}) \times 1000 / \text{V}_0 \times 20$$

Tels que :

- N_{EDTA} : La normale de la solution EDTA,
- V_{EDTA} : Volume en millilitres, de la solution EDTA, utilisé pour le dosage,
- V_0 : Volume en millilitres, d'échantillon dosé.

IV.3.7. Mesure de magnésium (Mg^{2+})

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

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

La dureté magnésienne est calculée par la formule suivante :

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

IV.3.8. Mesure des MES

Les matières en suspensions (MES) caractérisent la teneur des éléments non dissous de diverses granulométries transportées par l'eau de mer. Ces matières peuvent être d'origine minérale ou organique.

IV.3.8.1. Mode opératoire

On mesure la quantité de MES dans l'eau à l'aide d'une Hotte à filtre. On verse 1 L d'eau dans le verre filtreur, ensuite l'eau est aspirée par une pompe et traverse le cercle glass microfibre filtre pesé déjà et qui retient les MES. On fait sécher le cercle glass dans l'étuve pendant 25 min et on le pèse à nouveau. La quantité des MES est la différence de masse entre la masse initiale et la masse finale.



Figure 31 : La hotte à filtre

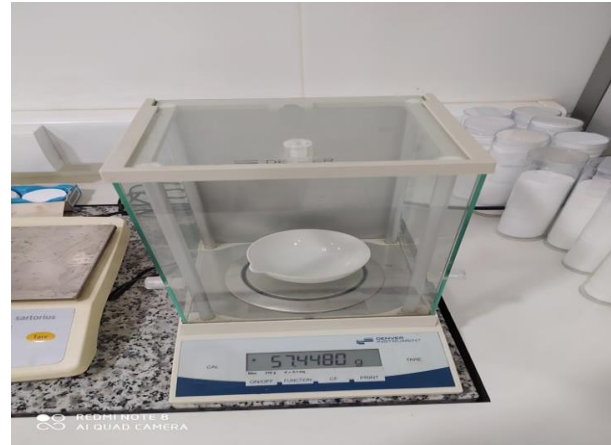


Figure 32 : Balance numérique

IV.3.9. Mesure du chlore

La concentration en chlore peut être exprimée en chlore libre, chlore combiné et chlore total. La mesure du chlore libre est généralement la plus importante dans la plupart des applications possibles. La méthode au Diéthyl-p-Phénylène-Diamine (DPD) permet de mesurer le chlore libre, combiné et total.

Les réactifs sont dans cette méthode fournis sous forme de pastilles afin de simplifier l'utilisation. Le chlore libre réagit avec la molécule DPD (Diéthyl-p-Phénylène-Diamine) afin de produire une coloration rose. L'intensité de cette couleur produite est proportionnelle à la concentration en chlore libre recherchée.

IV.3.9.1. Matériels et réactifs

- Cuve propre,
- Colorimètre,
- Pipette graduée,
- Pastille DPD (chlore).

IV.3.9.2. Mode opératoire (méthode Colorimétrique)

On utilise un colorimètre, en choisissant la mesure du paramètre chlore libre. Mettre 10 ml de l'échantillon dans une cuve propre et la mettre dans le colorimètre et étalonner ce dernier à 0 mg/l ; et 10 ml de l'échantillon dans une autre cuve propre et ajouter une pastille de DPD, introduire la cuve dans le colorimètre et effectuer la lecture immédiatement. Le résultat (concentration du chlore libre) est exprimé en mg/l.



Figure 33 : Colorimètre et cuves

IV.3.10. Détermination des résidus secs

L'élimination de l'eau par évaporation suivie de la pesée du résidu qui subsiste est un procédé simple permettant d'évaluer la teneur en matières dissoutes ou en matières totales (dissoutes et en suspension dans l'eau).

IV.3.10.1. Matériels et réactifs

- Fiole jaugée.
- Capsule en porcelaine, en verre borosilicaté ou de préférence.
- Balance permettant la pesée à 0,1 mg près.
- Étuve dont la température est réglable à $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ou $180\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Eau distillée ou de qualité équivalente.
- Acide chlorhydrique dilué à environ 10 % (v/v).

IV.3.10.2. Mode opératoire

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

Le calcul du résidu sec à 180 °C \pm 5 °C, se fait selon l'équation suivante :

$$RS (180^{\circ}C) = \frac{M_1 - M_2}{V} * 1000$$

Où :

RS (180 °C) : le résidu sec à 180 °C \pm 5 °C, en milligrammes par litre.

M1 : La masse de la capsule et de son contenu, après chauffage à 180 °C \pm 5 °C, en milligrammes.

M2 : La masse de la capsule vide, en milligrammes.

V : Le volume de la prise d'essai en millilitres.

IV.4. Paramètres chimiques

Le dosage des paramètres chimiques a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre DR5000, au niveau du laboratoire de la station de dessalement Cap Djinet.

Les paramètres mesurés sont :

- Chlorure Cl^-
- Fer Fe
- Potassium K^+
- Sulfate SO_4^{-2}
- Bore B
- Nitrate NO_3^-
- Nitrite NO_2^-
- Ammonium NH_4^+

Le DR5000 est un spectrophotomètre UV-VIS de haute précision, doté de toutes les fonctions nécessaires pour le travail quotidien d'un laboratoire de contrôle ou de recherche.

La qualité supérieure des composants optiques assurent des résultats précis et une durée d'utilisation accrue.

Le DR5000 est également doté d'un support pour les tests en cuve. Un laser identifie la cuve insérée grâce à son code-barres (IBR = Integrated Barcode Reading System). Le DR5000 commence la mesure automatiquement et affiche le résultat en mg/l. La mesure s'effectue sans autre manipulation.



Figure 34 : Spectrophotomètre DR5000

Les tests en cuve LCK permettent de déterminer le dosage des paramètres chimiques de l'eau en suivant le mode opératoire représenté à l'intérieur de la couverture de chaque boîte LCK qui indique la quantité de l'eau à ajouter, la manière d'agitation de la solution dans la cuve et le temps de réaction. La cuve contient la quantité exacte de réactif.

Exemple : la boîte (LCK 311) mesure des chlorures

On prend le dosage des chlorures comme un modèle d'explication et pour les autres analyses Chaque élément à sa méthode de mesure.

Gramme de mesure (I) : 1-70 mg/l

1. pipette 1 ml d'échantillon
2. fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite.
3. Attendre 3 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

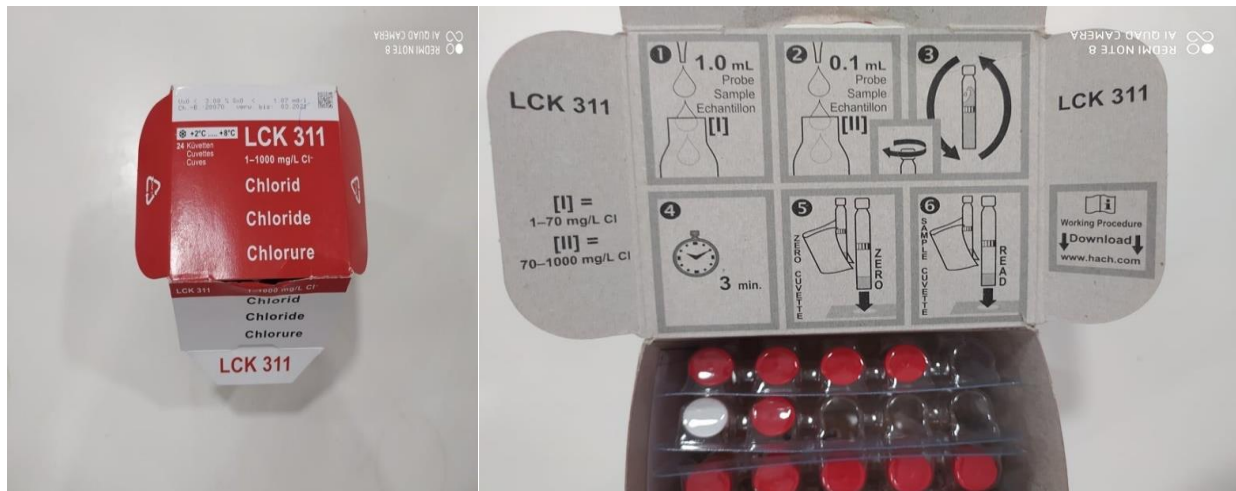


Figure 35 : Mode opératoire chlorure LCK 311

La même méthode pour la gamme de mesure (II) 70-1000 mg/l avec 0,1 ml d'échantillon.

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le travail que nous avons effectué dans le laboratoire de la station de dessalement de Cap Djinet, ainsi que les matériels et les réactifs utilisés, les mesures que nous avons effectuées dans ce laboratoire, ainsi que le mode opératoire.

Chapitre V

Résultats et interprétations

V.1.Introduction

Dans le but d'évaluer les performances de fonctionnement de la station de dessalement Cap Djinet, nous avons effectué une série de mesures dans cette station. Le travail expérimental a été réalisé sur une période de 15 jours allant du 09/05/2021 jusqu'au 23/05/2021.

Nous avons effectué des analyses des paramètres organoleptiques et physico-chimiques. Ces paramètres sont évalués selon les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS) et selon les normes algériennes (NA).

V.2.Paramètres organoleptiques

V.2.1. Couleur

Le premier signe que l'on peut observer d'une eau de mauvaise qualité est qu'elle a une couleur (eau n'est pas claire). Après avoir analysé les échantillons de l'eau traitée par la station de dessalement, nous avons constaté que l'eau est claire et incolore.

V.2.2.Odeur

La connaissance des substances responsables des odeurs que l'on peut rencontrer dans l'eau est un critère essentiel. Après traitement, l'eau est devenue inodore et sans odeur désagréable.

V.2.3. Goût

L'eau traitée n'a pas de goût étrange et se comporte donc comme une eau à goût normal.

V.2.4. Turbidité

La turbidité est un paramètre important à suivre lors de la production de l'eau destinée à la consommation humaine car il rend compte de la bonne efficacité des étapes de clarification et de filtration.

La norme algérienne (NA) fixe une valeur de 5 NTU de la potabilité de l'eau, les échantillons analysés ont une valeur plus proche de zéro ; ce qui est dans la norme (Figure 36).

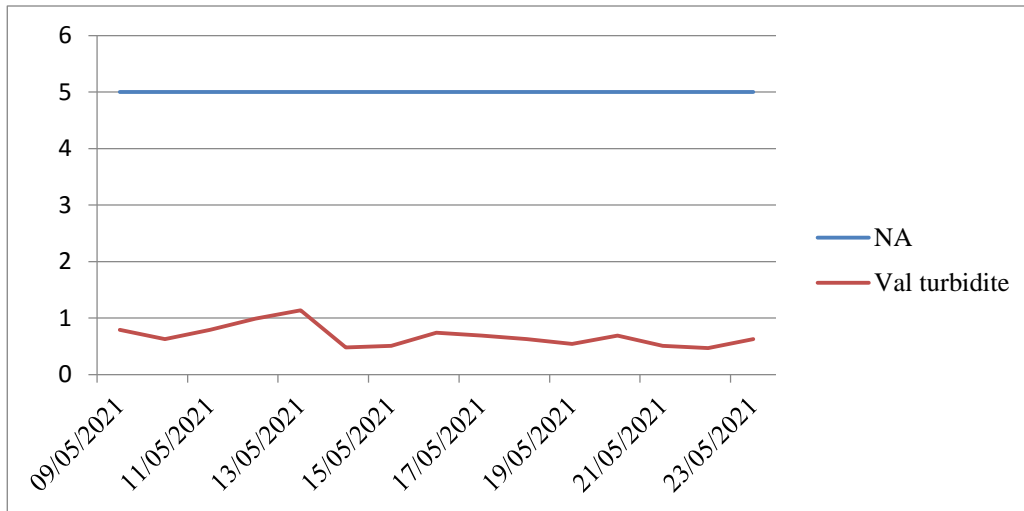


Figure 36: Variation mensuelle de la turbidité

V.3. Paramètres physico-chimiques

V.3.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs du pH des eaux traitées se situent entre 8,28 et 8,36 avec une valeur moyenne de 8,32 ; ces valeurs sont conformes à la norme de OMS et à la norme algérienne (NA) dont les valeurs sont fixées de 6,5 à 8,5 et de 6,5 à 9 respectivement (Figure 37).

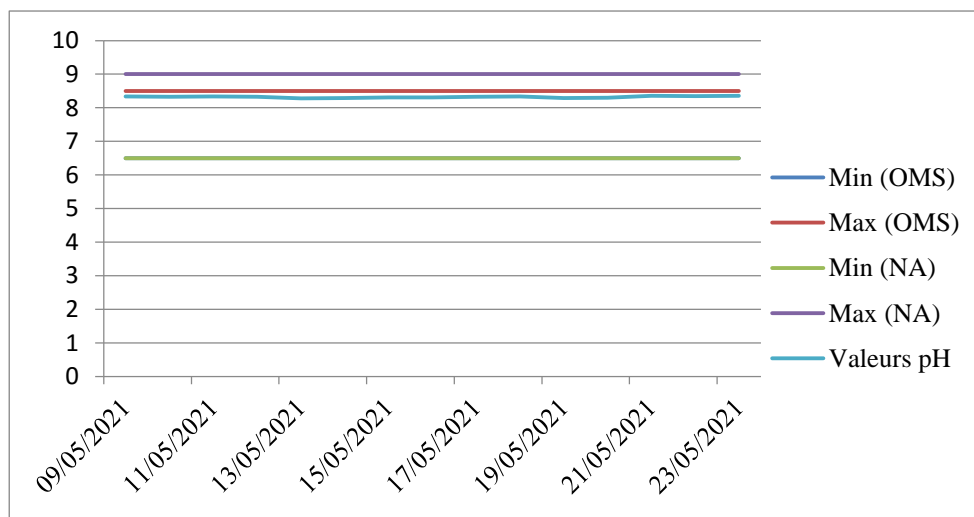


Figure 37 : Variations mensuelles du potentiel hydrogène

V.3.2. Température

La température de l'eau produite varie entre 18,4 et 21,3 °C (Figure 38). L'OMS ne mentionne aucune référence concernant la température de l'eau potable. La norme algérienne indique une valeur maximale de 25 °C, donc ces résultats sont conformes.

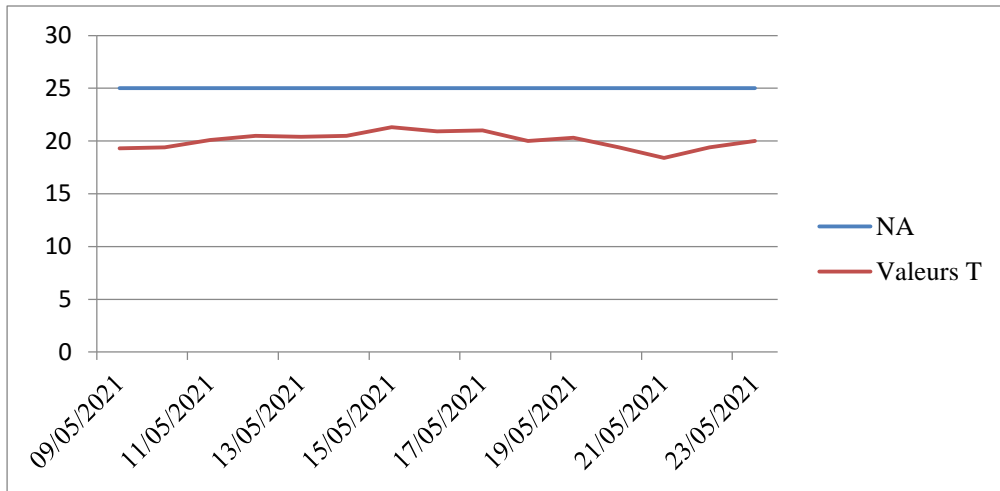


Figure 38 : variation de la température

V.3.3. Conductivité

Les mesures de la conductivité électrique de l’eau traitée obtenues sont comprises entre 438 et 492 $\mu\text{s}/\text{cm}$ avec une valeur moyenne de 465 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ces valeurs sont conformes à la norme de l’OMS, et même pour la norme algérienne dont les concentrations maximales admissibles respectivement sont inférieures à 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Figure 39).

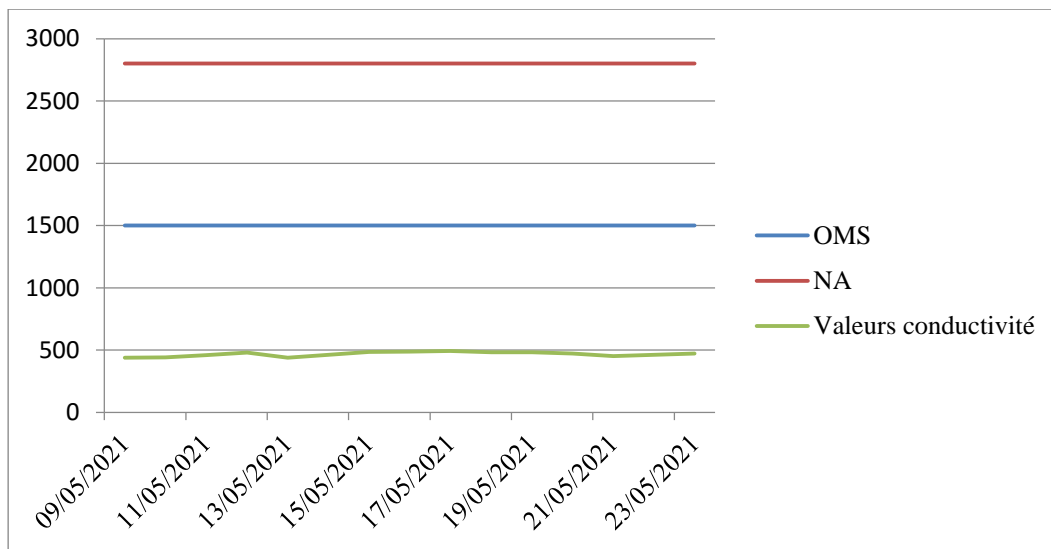


Figure 39 : Variations mensuelles de la conductivité électrique

V.3.4. Total des solides dissous (TDS)

Les résultats obtenus après l’analyse des eaux de consommation ont montré que le taux du TDS varie entre 219 et 246 ppm, soit une valeur moyenne mensuelle de 232,5 ppm. Ces

valeurs sont conformes aux normes préconisées par l’OMS qui sont de 150 à 500 ppm dans les eaux traitées par dessalement (Figure 40).

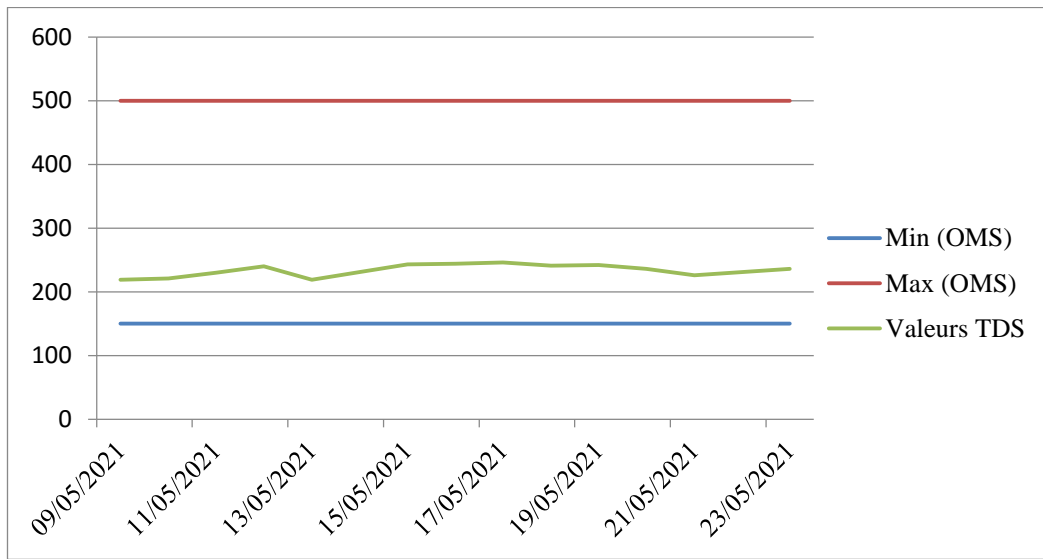


Figure 40 : Variations mensuelles du Total des solides dissous

V.3.5. La dureté totale (TH)

Les mesures de la dureté totale de l’eau traitées comprises entre 65,31 et 65,98 mg/l en CaCO_3 avec une valeur moyenne de 65,65 mg/l (Figure 41). Les valeurs enregistrées s’avèrent légèrement supérieures à la valeur minimale admissible recommandée par la norme de l’OMS qui est 65 mg/l et inférieures à la valeur maximale admissible recommandée par la norme algérienne (NA) qui est 500 mg/l.

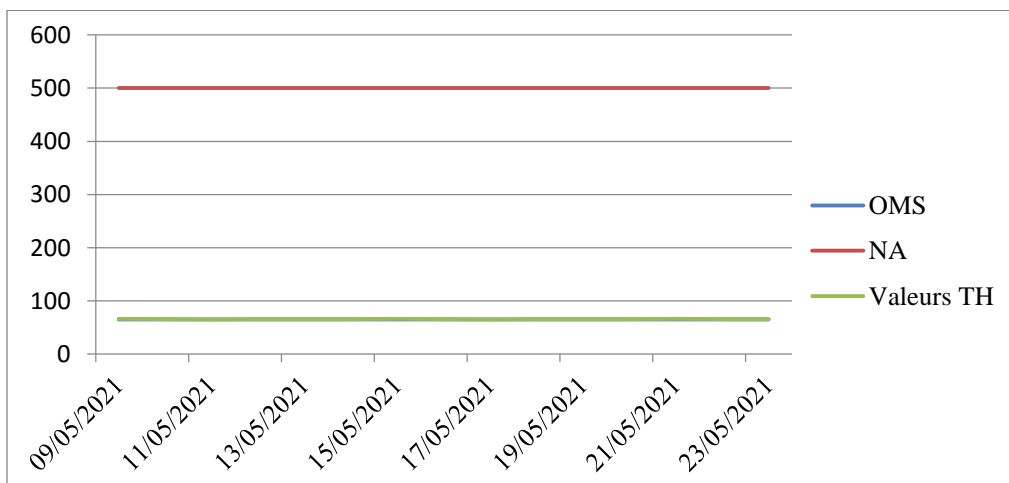


Figure 41 : Variations mensuelles du titre hydrotimétrique

V.3.6. Le calcium et le magnésium

V.3.6.1. Le calcium

L'analyse des concentrations en calcium est comprise entre 54,86 et 58,87 mg/l en CaCO_3 avec une valeur moyenne mensuelle de 56,87 mg/l CaCO_3 (Figure 42). Ces valeurs sont également conformes aux normes de l'OMS dont les concentrations maximales admissibles sont inférieures à 75 mg/l et à la norme algérienne fixée à 200 mg/l.

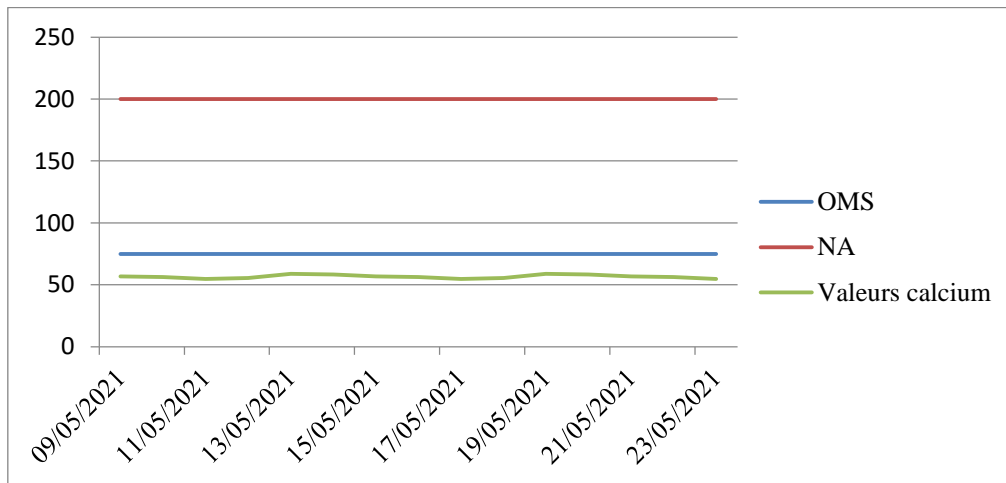


Figure 42: variations mensuelles du calcium

V.3.6.2. Le magnésium

Les valeurs enregistrées pendant les analyses sont entre 2,19 et 2,51 mg/l en CaCO_3 avec une valeur moyenne mensuelle de 2,35 mg/l (Figure 43). Ces valeurs sont conformes à la norme de l'OMS, dont les concentrations maximales admissibles sont inférieures à 150 mg/l en CaCO_3 .

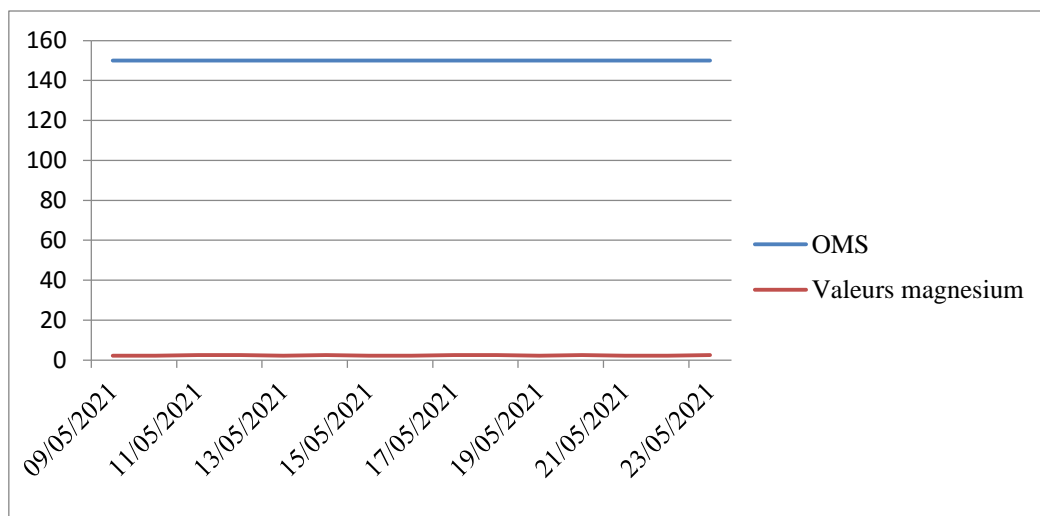


Figure 43 : Variation mensuelle du magnésium

V.3.7. Alcalinité totale (TA)

L'alcalinité des échantillons analysés varie de 2,28 à 2,85 mg/l en CaCO_3 avec une valeur moyenne de 2,57 mg/l en CaCO_3 (Figure 44). Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à 65 mg/l en CaCO_3 .

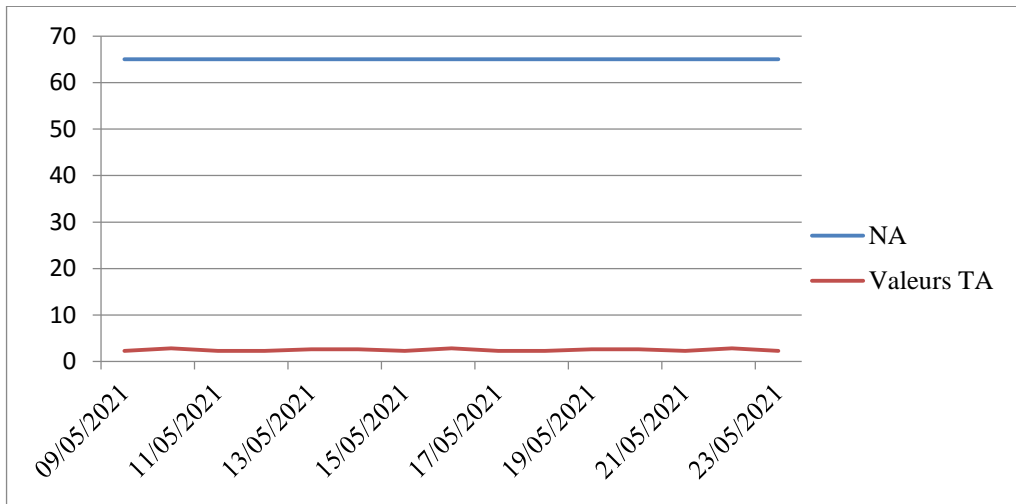


Figure 44 : Variations mensuelles de l'Alcalinité totale

V.3.8. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Nos résultats d'analyses montrent une présence du titre alcalimétrique complet qui varie entre 55,86 et 58,71 mg/l en CaCO_3 avec une valeur moyenne mensuelle de 57,29 mg/l (Figure 45). Ces valeurs sont également conformes aux normes de l'OMS qui limitent le taux de titre alcalimétrique complet des eaux de consommation de 50 à 65 mg/l en CaCO_3 .

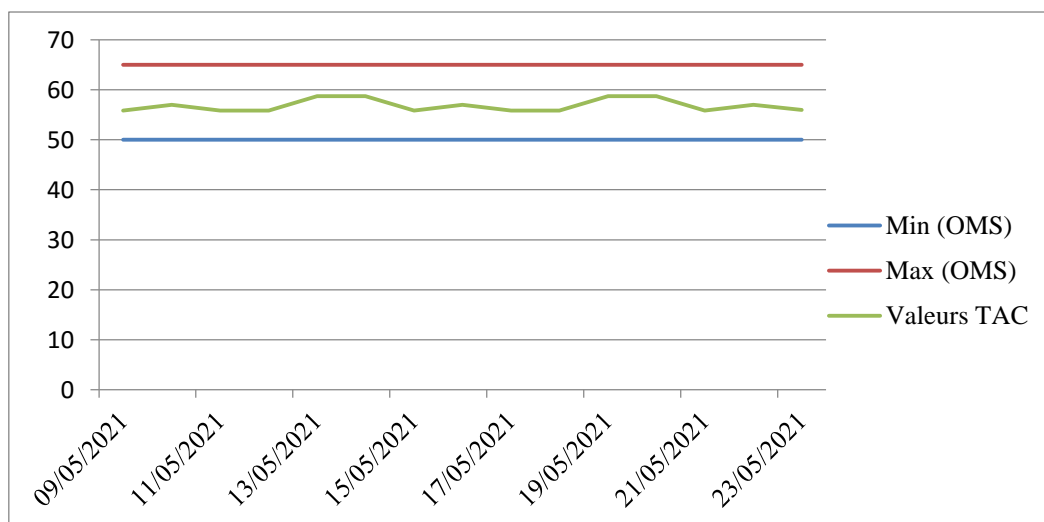


Figure 45 : Variations mensuelles du Titre alcalimétrique complet

V.3.9. Chlorures

Le chlore est l'un des réactifs le plus utilisés lors de la désinfection. Les eaux destinées à la consommation humaine, ont une teneur en chlorure inférieure à 250 mg/l selon la norme OMS et 500 mg/l selon la norme algérienne (NA). Les résultats de chlorures mesurés dans les échantillons de la station de dessalement se situent entre 110 et 120 mg/l avec une moyenne de 115 mg/l (Figure 46) et sont conformes et inférieurs aux valeurs limites fixées par les normes OMS et algériennes.

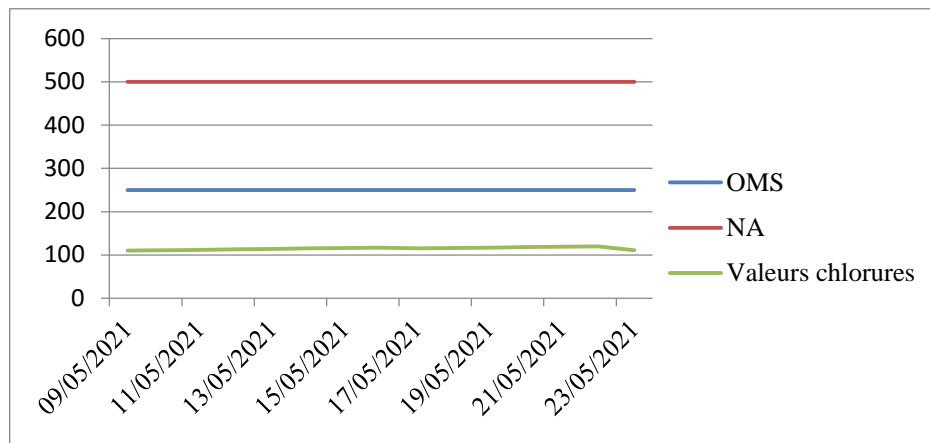


Figure 46 : Variations mensuelles du chlorure

V.3.10. Le bore

Le bore est présent avec des teneurs respectives de 0,665 mg/l comme valeur minimale ; 0,733 mg/l comme valeur maximale et 0,699 mg/l comme valeur moyenne (Figure 47). Les concentrations quotidiennes obtenues ne dépassent pas les lignes directrices fixées par l'OMS et la norme algérienne (NA) en ce qui concerne la qualité de l'eau potable.

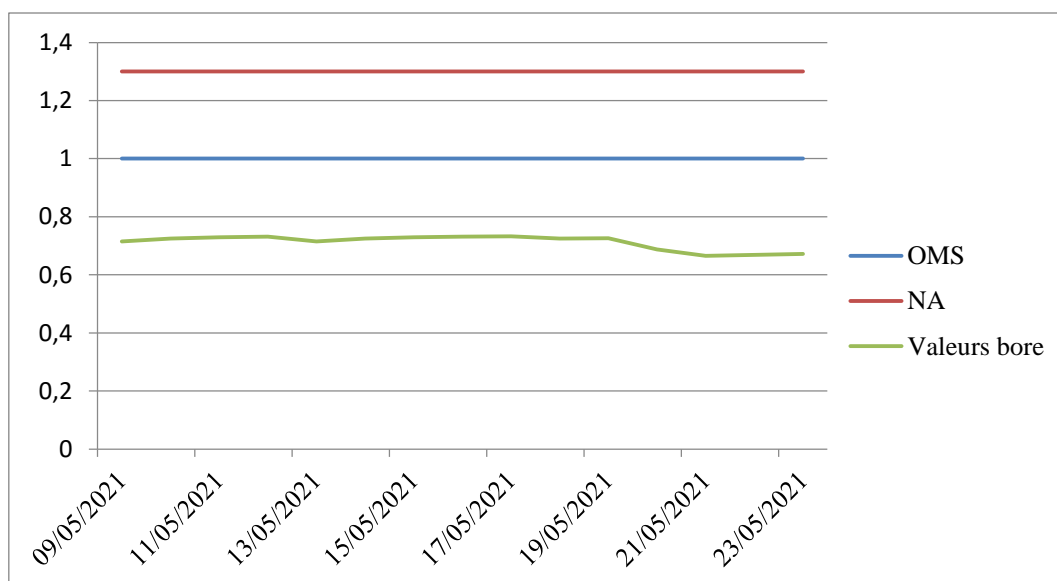


Figure 47 : Variation mensuelle du bore

- Pour les résultats d'analyses de sodium, potassium, sulfate, le fer, nitrites et les nitrates, ils sont inférieurs aux limites de spectrophotomètre DR5000. Donc d'après les normes fixées par l'OMS et algérienne, ces résultats sont conformes.

V.4. Comparaison des différents composants de l'eau de mer et de la saumure

Tableau 5 : Les résultats d'analyses de l'eau de mer et la saumure

Paramètres	Unités	Valeurs	
		Eau de mer	Saumure
TDS	g/l	38,41	69,93
Ph		8,17	7,93
T	°C	16,03	17,47
Conductivité	ms/cm	55,85	94,49
Turbidité	NTU	3,95	0,96
MES	mg/l	43,52	4,05
Résidu sec à 180°C	mg/l	38,48	63,68
Fer	mg/l	0,134	0,038

V.4.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs de pH de l'eau de mer sont comprises entre 8,14 et 8,20 par rapport à l'eau rejetée qui sont entre 7,8 et 8,01.

D'après ces résultats on remarque une légère différence entre le pH de l'eau de mer et celui de la saumure qui est dû au transfert d'ions H^+ dans les membranes d'osmose inverse.

V.4.2. Température

Les valeurs de la température de l'eau de mer sont entre 15,7 et 16,4 °C, et celle de la saumure sont entre 16,3 et 19,7 °C.

D'après les résultats on remarque une petite variation de température, cela est dû à l'énergie mécanique nécessaire pour le processus de dessalement qui est l'osmose inverse.

V.4.3. Conductivité

Les valeurs de conductivité de l'eau mer sont comprises entre 55,1 et 56,6 mS/cm par rapport à la saumure, qui sont très élevées de 88,2 à 97,2 mS/cm. Cela est dû à la forte présence d'ions liés contenus dans ces eaux.

V.4.4. Total des solides dissous (TDS)

Les résultats enregistrés indiquent que les valeurs de TDS de l'eau mer sont dans l'intervalle de 37,9_38,8 g/l et celle de la saumure sont de 65,268 à 71,928 g/l cela est due à la forte présence d'ions dans l'eau de mer.

Le TDS de la saumure est élevé d'environ deux fois de plus par rapport à celui de l'eau de mer, ce qui montre la capacité de traitement du procédé d'osmose inverse.

V.4.5. Turbidité

La turbidité de l'eau de mer varie de 1,3 à 11,5 NTU et de 0,41 à 1,44 NTU pour la turbidité de la saumure.

Ces résultats montrent que la turbidité de la saumure est inférieure à celle de l'eau de mer, cela nous renseigne sur l'efficacité de l'étape de prétraitement.

V.4.6. Matières en suspension (MES)

Le résultat d'analyse de la matière en suspension contenus dans l'eau de mer varie de 3,5 à 326,2 mg/l ; celle de la saumure sont de 2,4 à 5,6 mg/l.

On déduit que les MES sont arrêtés dans le système de filtration, d'où une protection sûre contre le colmatage des membranes d'osmose inverse.

V.4.7. Résidu sec à 180 °C

Les concentrations en résidus secs sont de 37,99 à 38,88 g/l pour l'eau de mer et de 58,2 à 67,78 g/l pour la saumure, ces valeurs sont élevées pour les deux eaux, c'est due à la forte présence des minéraux dissous, des minéraux non dissous et des matières organiques.

Donc d'après les résultats on remarque une grande augmentation de la concentration des résidus secs pour la saumure par rapport à l'eau de mer, ce qui montre l'efficacité du procédé étudié pour éliminer les résidus secs.

V.4.8. Fer

Le fer est un élément métallique présent dans l'eau de mer avec une teneur qui varie entre 0,014 et 0,145 mg/l tandis que dans la saumure nous obtenons des résultats qui passent de 0,031 à 0,045 mg/l.

Cette variation est due à la passation du fer à travers les membranes qui retient une quantité minimale du fer.

V.5. Conclusion

Après l'analyse des eaux de la station de dessalement au laboratoire, nous avons obtenu de bons résultats. En effet, la station fonctionne bien avec un bon rendement.

La station produit une eau douce de bonne qualité et présentent une conformité aux normes d'OMS et aux normes algériennes.

Conclusion générale

Conclusion générale

De nos jours et pendant ces dernières années, le dessalement des eaux de mer par la technique de l'osmose inverse est considéré comme l'une des solutions alternative pour remédier au déficit en eau et pour faire face aux demandes croissantes en eau potable.

L'objectif de ce mémoire était de savoir comment dessaler l'eau de mer pour la rendre potable et quels contrôles sont effectués pour en assurer la qualité ?

Dans la station de dessalement, les étapes de prétraitement utilisées garantissent le bon entretien de l'équipement de la station, produisant une eau douce de bonne qualité et présente une conformité aux normes de l'organisation mondiale de la santé « OMS » et aussi aux normes algériennes, à l'exception de la dureté totale.

Ces résultats montrent bien, l'intérêt de l'implantation de cette station pour résoudre le problème de pénurie en eau potable de la ville de Boumerdès et même les villes limitrophes.

La saumure comparativement à l'eau de mer présente une salinité beaucoup plus élevée, ce qui est l'inconvénient majeur du dessalement.

La capacité de la station de dessalement de Cap Djinet « CDJ » :

Le débit d'entrée : $Q_{\text{entrée}} = 222444 \text{ m}^3/\text{j}$

Le taux de conversion $Y = 45\%$

Le débit de perméat :

$$Q_{\text{perméat}} = (222444 * 45) / 100$$

$$Q_{\text{perméat}} \approx 100000 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le débit de la saumure :

$$Q_{\text{saumure}} = Q_{\text{entrée}} - Q_{\text{perméat}}$$

$$Q_{\text{saumure}} = 222444 - 100000 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{saumure}} = 122444 \text{ m}^3/\text{j}$$

Les références bibliographiques

Les références bibliographiques

- [1] Document interne station de dessalement Cap Djinet (CDJ).
- [2] Technical Manual; dow water solution, FILMTEC Reverse Osmosis Membranes, document interne de station de dessalement Cap Djinet (CDJ), 2012.
- [3] service de formation professionnelle, Document interne de CDJ 2012.
- [4] Maurel A., 2006 : « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2ème Ed. Tec&Doc Lavoisier.
- [5] Dictionnaire environnement:« Dessalement ». [Enligne].Disponible sur : https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/dessalement.php4.
- [6] James D. Birkett, « The History of Desalination Before Large-Scale Use », 2012, in Desalination and Water Resources - History, Development and Management of Water Resources, Vol.I. Paris: Unesco.
- [7] Rovel, J.M, « Dessalement de l'eau de mer », 2012, Technique de l'Ingénieur.
- [8] BOYE.H 2008. Eau, énergie dessalement et changement climatique en méditerrané .Plan bleu centre d'activité régional, conseil général du l'environnement et du développement durable.
- [9] Blanchon D., 2010 : « Les capacités de dessalement dans le monde ». [En ligne].Disponible sur :<https://www.ladocumentationfrancaise.fr/cartes/eau-ressources-etinfrastructures/c001259-les-capacites-de-dessalement-dans-le-monde>.
- [10] BOUKELLAL Imane et HANANE Abdelghani. « ETUDE DU PROCEDE DE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DESSALEE DE LA STATION DE CAP DJINET DE LA WILAYA DE BOUMERDES » Mémoire de fin d'études. Master. Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.
- [11] M.SEBKI et l. AISSAOUI. « Etude paramétrique pour le dimensionnement du diffuseur de saumure de la méga station de dessalement de Magtâa » ; mémoire fin d'étude Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2016.

[12] ALGERIENNE DES EAUX (ADE), rapport, 2007.

[13] HAMITI Omar (2010) : « L'influence des paramètres physico-chimique sur la performance de la station de dessalement de GHAZAOUET ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[14] François de Dardel, directeur technique, Rohm and Haas : « Les résines échangeuses d'ions en traitement d'eau potable ». http://dardel.info/IX/processes/Article_EIN.

[15] MRE (Ministère des Ressources en Eau), Etude générale sur le dessalement de l'eau de mer.

[16] <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/>.

[17] <http://www.encyclo-ecolo.com/Image:Eausaum2>.

[18] RAYMOND DESJARDINS. Le traitement des eaux. 2ème édition revue. Édition de l'école polytechnique de Montréal.

[19] Francis Alberd Fr. sci géoscience : d'après Francis Alberd (professeur à l'école normal supérieure de Lyon news groups : Fr. géosciences.

[20] Henry et Monique : étude générale sur dessalement de l'eau de mer 2002.

[21] Algérienne des eaux, 2005, dessalement d'eau de mer, Algérie.

[22] V. RENAUDIN, « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres » CNRS, Nancy 2003.

[23] Plan d'action pour la méditerranée. Réunion des points focaux du PAM. Athènes, 11-14 septembre 2001 : « Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens: évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure ». Réunion des coordonnateurs nationaux pour le MED POL Venise, Italie, 28-31 mai 2001 http://www.pseau.org/outils/ouvrages/pnue_dessalement_eau_de_mer_pays_mediterraneens.

[24] <http://www.ecotoxicologie.fr/Dessalement>.

- [25] D. BECHKI ,2011. « Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes ». Thèse de doctorat en génie mécanique. Université Hadj Lakhdar Batna.
- [26] Y. MANDRI, 2011. « Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froid ». Thèse de doctorat. Génie des procédés, université- Claud bernard lyon1, n°d'ordre : CT12.
- [27] NICOS X. TSIOURTIS, « desalination and the environment » ; desalination vol 141, 2005.
- [28] Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril 2012.
- [29] <http://www.lenntech.fr/index.htm>.
- [30]Valérie JACQUET VIOLLEAU (1999) « DEMINERALISATION PAR ELECTRODIALYSE EN PRESENCE D'UN COMPLEXANT APPLICATION AU LACTOSERUM », THESE présentée pour obtenir le titre de DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE SPECIALITE : Sciences des Agroressources P122.
- [31] Maurel, A. (2001) « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. » Technique et documentation, Paris.
- [32] KAMEL. F et CHHEIBI. H « Le dessalement des eaux saumâtres et l'expérience Tunisienne ». SONEDE-TUNISIE, Gabès 11-18 juillet 2004.
- [33] Anonyme : « L'osmose-inverse ». [En ligne]. Disponible sur : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1281>.
- [34] W.J.MASSCHELEIN (1996) : « Processus unitaires du traitement de l'eau potable », 11 rue Lavoisier. Paris, France.
- [35] Mr SAOUDI Abdenour (2010) : « l'influence de la filtration sur sable sur la qualité des eaux potable ». Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en Hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.

[36] <http://www.elgalabwater.com>.

[37] DUPONT. A Hydraulique urbaine. Tome 1 « édition EYROLES » 1981.

[38] W.E. Johnson. State of the art of freezing processes, 1976.

[39] Sadi A., 2000 : « Le dessalement solaire : considérations techniques ». Centre de développement des Energies Renouvelables, Bouzareah, Alger.

[40] D. BOIXADERA, « Le dessalement d'eau de mer. BRL Ingénierie »2001.

[41] Tome1. Dégrement « Mémento technique de l'eau », Lavoisier-Lexique technique de l'eau, Paris, 2005.

Annexes

Annexe 01 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer

PARAMETRE	U	09/05/2021	10/05/2021	11/05/2021	12/05/2021	13/05/2021	14/05/2021	15/05/2021	16/05/2021	17/05/2021	18/05/2021	19/05/2021	20/05/2021	21/05/2021	22/05/2021	23/05/2021
		09:15	09:30	09:30	9:30	09:00	09:30	09:00	09:30	09:30	09:30	09:30	09:30	09:00	09:50	09:00
TDS	g/l	38,8	38,3	38,2	38,5	38,4	38,1	38,8	38,7	38,6	38,1	38,2	38,8	38,4	38,3	37,9
pH		8,17	8,15	8,14	8,19	8,17	8,16	8,19	8,18	8,17	8,16	8,15	8,17	8,18	8,2	8,19
T	°C	16,3	16,3	15,9	16,4	16,1	16,1	16,1	16	15,9	15,8	15,7	15,8	16	16,1	15,9
Conductivité	mS/cm	56,3	55,6	55,5	55,9	55,8	55,4	56,3	56,2	56,1	55,4	55,5	56,3	55,7	56,6	55,1
Turbidité	NTU	2,46	3,5	7,25	6,3	2,2	2,8	2	2,01	2,6	1,8	1,3	1,5	11,5	7,1	4,94
Chlore libre	ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chlore total	ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fer	mg/l	0,144	0,143	0,143	0,143	0,145	0,143	0,142	0,142	0,142	0,142	0,142	0,142	0,142	0,142	0,014
Fe++	mg/l	0,119	0,119	0,119	0,119	0,121	0,119	0,123	0,122	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,12	0,12
Fe+++	mg/l	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,019	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,023	0,022	0,02
MES	mg/l	5,9	8,1	57,7	25,9	5,6	6,2	7,2	6,6	6,8	4,9	3,5	3,8	326,2	114,4	70
Bore	mg/l	4,42	4,42	4,41	4,42	4,41	4,42	4,4	4,4	4,41	4,41	4,4	4,42	4,4	4,4	4,4
Résidus sec à 180 °C	g/l	38,88	38,38	38,29	38,59	38,48	38,11	38,8	38,79	38,69	38,19	38,29	38,88	38,48	38,39	37,99
Salinité	‰	37,2	36,9	36,5	36,9	36,8	36,4	37,2	37,1	37	36,7	36,8	37,2	37	36,9	36,2

Annexe 03 : Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure

PARAMETRE	U	09/05/2021	10/05/2021	11/05/2021	12/05/2021	13/05/2021	14/05/2021	15/05/2021	16/05/2021	17/05/2021	18/05/2021	19/05/2021	20/05/2021	21/05/2021	22/05/2021	23/05/2021
		14:00	13:30	14:00	14:00	13:45	13:45	13:30	14:00	14:00	13:45	13:30	14:00	14:00	13:45	14:15
TDS	g/l	70,078	69,782	69,116	69,856	65,268	70,67	69,782	71,928	70,522	70,374	69,93	70,004	70,374	69,782	71,41
pH		7,8	7,93	7,9	7,98	8,01	7,94	7,98	7,92	7,98	7,89	7,95	7,92	7,95	7,81	7,97
T	°C	16,4	17,9	18	17,7	17,3	16,3	19,7	17,1	17,8	17,6	18	16,9	16,6	17,2	17,6
Conductivité	mS/cm	94,7	94,3	93,4	94,4	88,2	95,5	94,3	97,2	95,3	95,1	94,5	94,6	95,1	94,3	96,5
Turbidité	NTU	1,27	1,44	1,42	0,89	0,64	0,41	0,87	0,92	0,91	0,95	0,99	1,06	1,02	0,84	0,79
MES	mg/l	3,9	2,7	2,4	4,5	3,5	2,8	4,7	4,5	5,1	5,6	3,8	4,3	4,9	4,2	3,9
Résidu sec a 180°C	mg/l	63,21	63,37	63,95	64,21	58,2	67,78	62,23	63,94	63,12	63,62	62,6	63,07	65,92	64,62	65,35
Fer	mg/l	0,034	0,034	0,034	0,038	0,045	0,038	0,035	0,041	0,031	0,041	0,039	0,04	0,041	0,038	0,043

ANNEXE
Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine
Tableau 1 : paramètres avec valeurs limites

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux désalées ou déminéralisées : 1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanures	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (1,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01	
Benzène	µg/l	10	
Toluène	µg/l	700	
Ethylbenzène	µg/l	300	

ANNEXE (suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Xylènes	µg/l	500
	Styrène	µg/l	100
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2
	Epychlorehydrine	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	1
	Pesticides par substance individualisée		
	- Insecticides organochlorés persistants	µg/l	0,1
	- Insecticides organophosphorés et carbamates	µg/l	0,1
	- Herbicides	µg/l	0,1
	- Fongicides	µg/l	0,1
	- P.C.B	µg/l	0,1
	- P.C.T	µg/l	0,1
	- Aldrine	µg/l	0,03
	- Dieldrine	µg/l	0,03
	- Heptachlore	µg/l	0,03
	- Heptachlorépoxyde	µg/l	0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
	Chlorite	µg/l	0,07
	Trihalométhanes par substance individualisée :		
-Chloroforme	µg/l	200	
- Bromoforme	µg/l	100	
- Dibromochlorométhane	µg/l	100	
- Bromodichlorométhane	µg/l	60	
Chlorure de vinyle	µg/l	0,3	
1,2-Dichloroéthane	µg/l	30	
1,2-Dichlorobenzène	µg/l	1000	
1,4-Dichlorobenzène	µg/l	300	
Trichloroéthylène	µg/l	20	
Tetrachloroéthylène	µg/l	40	
Radionucléides	Particules alpha	Picocuriel/L	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductices y compris les spores	n/20ml	0

Tableau 2

Paramètres avec valeurs indicatives

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

Décret exécutif n° 14-97 du 2 Jomada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 portant dissolution de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun.

Le Premier Ministre,

Sur le rapport du ministre des ressources en eau,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-3° et 125 (alinéa 2),

Vu le décret présidentiel n° 13-312 du 5 Dhou El Kaâda 1434 correspondant au 11 septembre 2013 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 94-294 du 19 Rabie Ethani 1415 correspondant au 25 septembre 1994 relatif aux modalités de dissolution et de liquidation des entreprises publiques non autonomes et des établissements publics à caractère industriel et commercial ;

Vu le décret exécutif n° 07-337 du 19 Chaoual 1428 correspondant au 31 octobre 2007 portant création de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun ;

Après approbation du Président de la République ;

Décrète :

Article 1er. — L'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun, créée par les dispositions du décret exécutif n° 07-337 du 19 Chaoual 1428 correspondant au 31 octobre 2007 portant création de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun est dissoute.

Art. 2. — La dissolution de l'agence prévue à l'article 1er ci-dessus, donne lieu à l'établissement d'un inventaire quantitatif, qualitatif et estimatif dressé conformément aux lois et règlements en vigueur par une commission dont les membres sont désignés conjointement par le ministre des finances et le ministre chargé des ressources en eau.

Art. 3. — Le présent décret sera publié au *Journal Officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger le 2 Jomada El Oula 1435 Correspondant au 4 mars 2014.

Abdelmalek SELLAL.