



# MEMOIRE

Présenté

à



L'UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE  
ET DE L'UNIVERS  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Pour obtenir

## LE DIPLÔME DE MASTER PROFESSIONNEL

Spécialité

**Géo-Ressources**

par

Fatima Zohra DAHMANI

---

**CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA  
STATION DE DESSALEMENT DE FOUKA  
(TIPAZA, ALGERIE)**

---

Soutenu le 02 juillet 2022 devant les membres du jury :

Salamet MAHBOUBI MC (A), Univ. Tlemcen

Fatiha HADJI, (MCB), Univ. Tlemcen

Mohamed KHATEB, Directeur technique, Myah Tipaza

Lamia YEBDRI, MA (A), Univ. Tlemcen

Président

Encadreur

Co-encadreur

Examineur

## **DEDICACES**

*Grâce à la volonté d 'Allah Le Tout Puissant et Bienveillant que ce travail a été réalisé. Je le dédie à:*

*A mes très chers parents qui ont toujours été présents pour moi, et qui m'ont donné un magnifique exemple de perfectionnement au travail.*

*J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.*

*A mes sœurs Mokhtaria, Malika, Hanane et Abdia ;*

*A mes deux frères Kada et Mokhtar ;*

*A mes neveux Abdelilah et Farouk ;*

*A Messieurs Belkacem BELLOUTI et Mohamed TAIBI;*

*A Monsieur Kadda LABTAR ;*

*A Messieurs KHEFFACHE et CHIBANE;*

*A tous les membres de la station de dessalement d'eau de mer Fouka;*

*A tous mes enseignants pour leurs soutiens et conseils;*

*A tous mes amis et collègues;*

*A tous ceux qui me sont chers et ceux qui ont participé à ma formation.*

## TABLE DES MATIERES

	<b>Page</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	4
<b>RESUME</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	7
<b>Chapitre 1: GENERALITES</b>	
<b>I. INTRODUCTION</b> .....	9
<b>II. EAU DE MER : COMPOSITION ET SALINITE</b> .....	9
<b>III. EAU POTABLE</b> .....	10
<b>A. Critères de potabilité pour l'eau destinée à la consommation</b> .....	10
<b>IV. DÉFINITION ET HISTORIQUE DU DESSALEMENT</b> .....	10
<b>V. ÉTAPES DE DESSALEMENT</b> .....	10
<b>A. Prise d'eau de mer</b> .....	11
<b>B. Prétraitement</b> .....	11
<b>C. Installation de dessalement</b> .....	11
<b>D. Installation d'osmose inverse</b> .....	15
<b>E. Autres procédés de dessalement</b> .....	19
<b>F. Post-traitement</b> .....	20
<b>VI. CONCLUSION</b> .....	20
<b>Chapitre 2 : DESCRIPTION DE LA STATION DE DESSALEMENT DE FOUKA</b>	
<b>I. INTRODUCTION</b> .....	21
<b>II. SITUATION GÉOGRAPHIQUE</b> .....	21
<b>III. PRESENTATION DE LA STATION DE DESSALEMENT FOUKA</b> .....	22
<b>A. Les principales installations de l'usine de dessalement Fouka</b> .....	22
<b>B. Description du procédé de la station de dessalement Fouka</b> .....	23
1. La prise d'eau de mer .....	23
2. Prétraitement.....	24
3. Traitement .....	26
4. Post-traitement (reminéralisation) .....	28

<b>IV. MATERIEL ET METHODES</b> .....	32
<b>A. Sites de prélèvements</b> .....	32
<b>B. Mode et fréquences de prélèvement</b> .....	33
<b>C. Paramètres mesurés</b> .....	34
1. Au laboratoire de la station.....	34
2. Au laboratoire de SEAAL.....	39
<b>V. CONCLUSION</b> .....	39

### Chapitre 3: CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA STATION DE FOUKA

<b>I. INTRODUCTION</b> .....	40
<b>II. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE MER</b> .....	41
<b>A. Variation des paramètres organoleptiques</b> .....	41
1. Couleur.....	41
2. Odeur.....	41
3. Gout .....	41
<b>B. Variation des paramètres physico-chimiques</b> .....	41
1. Température.....	41
2. Total des sels dissous (TDS) .....	42
3. Matière en suspension (MES) .....	42
4. Silt Density index (SDI).....	42
<b>III. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX TRAITEES</b>	43
<b>A. Variation des paramètres organoleptiques</b> .....	43
1. Couleur.....	43
2. Odeur.....	43
3. Gout .....	43
<b>B. Variation des paramètres physico-chimiques</b> .....	43
1. Potentiel hydrogène (pH).....	43
2. TDS.....	43
3. Dureté totale (TH).....	43
4. Alcalinité totale .....	45
5. Chlore résiduel .....	45
6. Indice de Langelier (Langelier saturation index LSI) .....	46
7. Calcium .....	46
8. Magnésium .....	47
9. Chlorure .....	47

10. Bore .....	48
11. Teneurs en carbonates, bicarbonates et sulfates .....	48
12. Teneurs en nitrates, nitrites et ammonium.....	48
13. Teneurs en métaux.....	48
<b>IV. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SAUMURES</b> .....	48
1. Fer .....	48
2. pH .....	49
<b>V. CONCLUSION</b> .....	49
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	50
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	51
<b>WEBOGRAPHIE</b> .....	52
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	53
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	54

## REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements sont à ALLAH le Tout Puissant, qui m'a donné la volonté et la patience pour finir mes études et réaliser ce mémoire, sans oublier mes très chers parents qui m'ont aidée et m'ont fourni tous les moyens pour poursuivre mon chemin.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur, M<sup>me</sup> Fatiha HADJI, je la remercie de m'avoir encadrée, orientée, aidée et conseillée.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude aux membres de jury :

- M<sup>me</sup> Salamet MAHBOUBI pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider ce jury ;
- M<sup>me</sup> Lamia YEBDRI pour avoir accepté d'examiner ce travail ;
- Mr Mohamed KHATEB pour son encadrement durant mon stage et pour avoir répondu favorablement à notre invitation.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'université Abou Baker Belkaïd, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Je tiens à remercier spécialement Mr Belkacem BELLOUTI, qui m'a aidée pendant toute la période de mon stage.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude à Mr Kadda LABTAR, pour son soutien inestimable.

## RESUME

Le but de ce travail porte sur la caractérisation physico-chimique des eaux de la station de dessalement Fouka sise à Tipaza (Algérie). Cette unité de dessalement utilise le processus d'osmose inverse(OI) pour la production d'eau potable destinée à la consommation humaine.

A cet effet, plusieurs analyses ont été réalisées aux laboratoires de la station de Fouka et de la société des eaux et d'assainissement d'Alger (SEAAL).

Ces analyses ont porté, entre autres, sur le pH, la conductivité (CE), la température, la dureté totale (TH), l'alcalinité, les cations et anions, le bore et les métaux.

Concernant l'eau traitée, les résultats obtenus indiquent que la majorité des paramètres analysés sont conformes aux normes du Journal Officiel de la République algérienne, à l'exception du bore dont la majorité des teneurs excèdent la valeur limite de  $1\text{mg L}^{-1}$ .

Aussi, il est noté de faibles concentrations en calcium ( $22.4 - 28.1\text{ mg L}^{-1}$ ), en magnésium ( $3.4 - 6.3\text{ mg L}^{-1}$ ) et en sulfates ( $7.68\text{ mg L}^{-1}$ ).

Les valeurs de l'indice de Langelier, supérieures à zéro, indiquent que les eaux sont sursaturées et pourraient, de ce fait, conduire au colmatage des membranes.

**Mots clés :** Dessalement, RO, Fouka, Eau de mer, Eau traitée, Qualité, JORA.

## ABSTRACT

The aim of this work concerns the water physio-chemical characterization of Fouka desalination plant located in Tipaza (Algeria). This desalination unit uses the reverse osmosis (RO) process to produce potable water for human consumption.

For this purpose, several analyzes were carried out at the laboratories of Fouka plant and the Water and Sanitation Company of Algiers (SEAAL).

These analyzes concerned, among others, pH, conductivity (EC), temperature, total hardness (TH), alkalinity, cations and anions, boron and metals.

Concerning the treated water, the obtained results indicated that the majority of the analyzed parameters comply with the standards of the Official Journal of the Algerian Republic, with the exception of boron, where its contents exceeded, in the majority of water samples, the limit value ( $1\text{ mg L}^{-1}$ ).

Also, low concentrations of calcium ( $22.4 - 28.1\text{ mg L}^{-1}$ ), magnesium ( $3.4$  and  $6.3\text{ mg L}^{-1}$ ) and sulfates ( $7.68\text{ mg L}^{-1}$ ) were noted.

Values of the Langelier index, greater than zero, indicate that waters are oversaturated and could, therefore, lead to the fouling of the membranes.

Keywords: Desalination, RO, Fouka, Seawater, Treated water, Quality, JORA.



## INTRODUCTON GENERALE

L'eau, c'est la vie. Chaque jour, les gens s'engagent dans une grande variété d'activités qui sont directement ou indirectement liées à la consommation d'eau. Cette dernière est nécessaire pour toutes les activités industrielles, agricoles et domestiques. La consommation varie considérablement selon les régions géographiques de la planète Terre. La consommation moyenne d'eau aux États-Unis atteint 400 litres par personne et par jour (L/j/habitant), tandis que dans d'autres pays occidentaux qui ont mis en œuvre avec succès des mesures pour réduire la consommation d'eau douce, la consommation moyenne d'eau peut être réduite à 150 L/j/habitant. En comparaison, dans certains pays africains comme l'Algérie, la consommation moyenne des résidents est de 80 à 150 L/j/habitant.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande une limite de survie minimale de 15 à 20 litres par personne et par jour, couvrant uniquement les besoins de base tels que la boisson l'eau, la préparation des aliments, l'hygiène personnelle et la lessive. Pour répondre aux demandes au-delà des besoins individuels, par exemple, cette quantité minimale doit être considérablement augmentée à 50 litres par personne et par jour.

Plusieurs facteurs ont contribué à l'augmentation de la consommation mondiale d'eau douce, notamment l'augmentation de la démographie mondiale et une amélioration globale de la qualité de vie à tous les niveaux, ce qui a entraîné une augmentation de la demande d'eau douce à diverses fins. Dans l'ensemble, la demande mondiale de cette dernière devrait dépasser la disponibilité d'ici 2040. Des scénarios futurs comme ceux-ci nécessitent clairement une réflexion approfondie et tous les efforts doivent être faits pour assurer la demande continue d'eau douce.

À cette fin, les scientifiques et les ingénieurs déploient de grands efforts pour optimiser la gestion des ressources en eau conventionnelles afin d'optimiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Malgré les progrès réalisés dans ce domaine, il existe maintenant un besoin évident de ressources d'eau douce alternatives pour répondre aux tendances actuelles et futures de la demande d'eau douce.

Dans le passé, l'eau douce était considérée comme une ressource naturellement disponible, non traitée et, au mieux, devait être traitée par des procédés physicochimiques simples pour obtenir les propriétés souhaitées pour une utilisation finale.

Jusqu'à récemment, l'eau douce était considérée comme un produit manufacturable et ses normes de qualité dépendaient de son utilisation spécifique. Par conséquent, le dessalement peut représenter un moyen non conventionnel mais durable couvrir les besoins en eau douce.

L'Algérie souffre de graves pénuries d'eau douce car la majeure partie de son territoire est classée comme zone aride et semi-aride. Pour faire face au manque d'eau, surtout dans les grands centres urbains où les ressources conventionnelles ne suffisent plus, la technique du dessalement de l'eau de mer, devenue indispensable, a été mise en place en Algérie pour satisfaire les besoins en eau potable de la population.

Dans cette optique, plusieurs stations de dessalement ont été mises en place dont la station de Fouka, sise à Tipasa (Algérie) qui fait l'objet de la présente étude. Dans ce travail, une étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de mer et traitées et des saumures a été menée. Elle comprend les chapitres suivants :

- Un premier dans lequel une idée sur le dessalement sera donnée.
- Le second chapitre concernera la description de l'usine de dessalement de Fouka ;
- Le troisième chapitre sera consacré à la caractérisation physico-chimiques des eaux de mer et traitées et des saumures.

# Chapitre 1: GENERALITES

**GENERALITES****I.INTRODUCTION**

L'eau de mer est la ressource en eau la plus importante sur La Terre. En raison de sa salinité élevée, elle peut être utilisée à des fins différentes telles que la production d'eau potable après dessalement et la production d'énergie (électricité et énergie des vagues).

**II.EAU DE MER : COMPOSITION ET SALINITE**

L'eau de mer est la solution aqueuse la plus abondante sur Terre : 3.3 % de sa composition est représentée par des sels dissous dont sept éléments (Na, Mg, Ca, K, Cl, S et Br) représentent 93.5 % des espèces ioniques (Drioli et al 2005).

Les principaux ions présents dans l'eau de mer sont  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , et  $\text{Cl}^-$ . D'autres ions présents dans la nature sont aussi dans l'eau de mer, mais à une concentration beaucoup plus faible. L'eau de mer comprend une grande variété de matières fines en suspension qui comprennent du sable, de l'argile, des micro-organismes, des virus et des matières colloïdales. La taille de ces composés varie entre  $5 \times 10^{-2}$  et  $0.15 \mu\text{m}$  (El-Dessouky et al 2002). Le tableau 1 montre la composition typique de l'eau de mer à une salinité totale de 36000 ppm.

**Tableau 1 :Composition typique de l'eau de mer avec une salinité de 36 000 ppm  
(El-Dessouky et al 2002)**

Composé	Pourcentage	Ppm
Chlorure ( $\text{Cl}^-$ )	55.03	19810.8
Sodium ( $\text{Na}^+$ )	30.61	11019.6
Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	7.68	2764.8
Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	3.69	1328.4
Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	1.16	417.6
Potassium ( $\text{K}^+$ )	1.16	417.6
Carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	0.41	147.6
Brome ( $\text{Br}^-$ )	0.19	68.4
Acide borique ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )	0.07	25.2
Strontium ( $\text{Sr}^{2+}$ )	0.04	14.4
Total	100	36000

### **III. EAU POTABLE**

L'eau potable peut être définie comme étant l'eau livrée au consommateur pouvant être utilisée en toute sécurité pour boire, cuisiner et se laver.

L'eau potable doit répondre aux normes des paramètres physiques, bactériologiques et aux radionucléides lorsqu'elle est fournie par une source approuvée et livrée à une installation de traitement et de désinfection de conception, de construction et d'exploitation appropriées, et livrée à son tour au consommateur par un système de distribution protégé en quantité et en pression suffisantes (De Zuane1997).

#### **A. Critères de potabilité pour l'eau destinée à la consommation**

Les normes sont généralement fondées sur les travaux établissant les concentrations maximales admissibles de substances (CMA), c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber quotidiennement en toute sécurité tout au long de sa vie. Sur cette base, la quantité maximale pouvant être apportée par l'eau est calculée, en prenant une marge de sécurité confortable. Tout dépassement des normes n'entraîne pas nécessairement un risque pour la consommation. Ils ont été fixés avec beaucoup de prudence, de sorte qu'un individu de 70 kg peut consommer en toute sécurité 2 L / jour d'eau contaminée à ces niveaux pendant 70 ans. Il est néanmoins souhaitable de maintenir au plus bas les concentrations de ces produits dans l'eau potable (Maurel 2006).

### **IV. DÉFINITION ET HISTORIQUE DU DESSALEMENT**

La majeure partie de l'eau de la Terre est constituée d'eau de mer, d'eau saumâtre et d'eau souterraine riche en solides dissous totaux (TDS). Ces eaux sont soit indésirables, soit indisponibles pour une utilisation sans l'application de technologies capables d'éliminer de grandes parties de la salinité et des solides dissous. Les technologies de dessalement ont été introduites, en particulier dans la région du Golfe d'Asie occidentale, il y a environ 50 ans, et elles ont pu élargir l'accès à l'eau, mais à des coûts relativement élevés. La mise au point d'importantes technologies nouvelles et améliorées a maintenant considérablement élargi les possibilités d'accès à de grandes quantités d'eau salubre dans de nombreuses régions (Cotruvo et al 2010).

L'expérience algérienne en matière de dessalement est étroitement liée au développement des industries pétrochimiques et sidérurgiques. Le recours au dessalement pour l'objectif unique d'allouer de l'eau à la population n'a jamais été envisagé sérieusement et est presque inexistant (Bessenasse et al 2010).

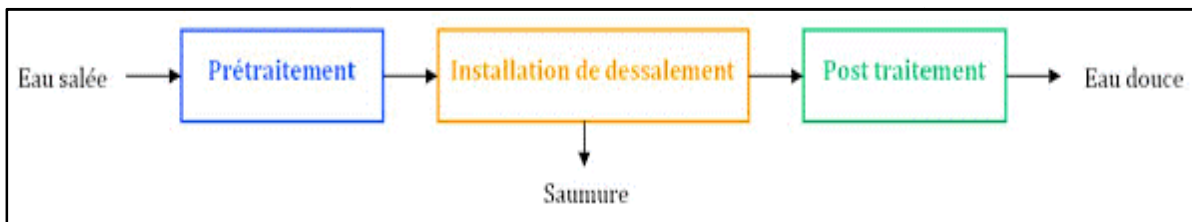
Le dessalement (ou élimination des sels) est le processus qui permet l'extraction des sels dissous de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre afin de devenir potables et propres à la consommation.

### **V. ÉTAPES DE DESSALEMENT**

L'installation et l'exploitation d'une unité de dessalement comprennent 4 postes :

- la prise d'eau de mer ;

- le prétraitement ;
- l'unité de dessalement elle-même ;
- le post-traitement.



**Figure1 : Schéma des étapes de dessalement.**

### **A. Prise d'eau de mer**

Elle consiste à pomper de l'eau de mer vers l'usine de dessalement. Cette eau doit être de bonne qualité du point de vue des solides en suspension.

Deux types de technologies sont utilisés dans cette étape :

- Forage côtier : soit verticalement, soit sous forme de galeries horizontales pour obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stable ;
- Prise d'eau de surface pouvant être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants et ne pas être sous l'infiltration de rejets (Maurel 2006).

### **B. Prétraitement**

Le prétraitement de l'eau de mer avant l'osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage et une bonne qualité de l'eau à l'entrée des modules d'osmose inverse est essentielle pour assurer des performances stables d'osmose inverse à long terme(Tsiourtis2001).

Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories :

- Prétraitement physique : comprend les préfiltres mécaniques, la clarification (coagulation-floculation), la décantation, la filtration et la microfiltration.
- Prétraitement chimique : consiste à l'ajout d'inhibiteurs de détartage, les antiscalants et les désinfectants.

### **C. Installation de dessalement**

Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en eau douce, contenant une faible concentration de sels dissous, et une solution concentrée de sels. Il s'agit notamment de la distillation, de l'osmose inverse, de la congélation et de l'électrodialyse. Cependant, les deux technologies actuellement utilisées à l'échelle industrielle sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse (Mandri 2011).

#### **1. Distillation et techniques thermiques**

Les principaux systèmes de distillation comprennent la distillation flash en plusieurs étapes (MSF), la distillation à effets multiples (MED) et la distillation par compression de vapeur (VCD). Les usines de distillation peuvent produire de l'eau avec une TDS compris entre 1 et 50 mg L<sup>-1</sup>.

Dans les processus de distillation, l'eau de source est chauffée et vaporisée ; la vapeur condensée a une TDS très faible, tandis que la saumure concentrée est produite sous forme résiduelle. Les sels inorganiques et de nombreux composés organiques naturels de haut poids moléculaire sont non volatils et donc facilement séparés ; toutefois, il existe des circonstances dans lesquelles des produits chimiques pétroliers volatils sont présents en raison de déversements et d'autres contaminations. Même si les pressions de vapeur des produits pétrochimiques peuvent varier de faibles à très élevées, certains de ceux qui ont des poids moléculaires plus élevés peuvent également être distillés à la vapeur. Pour l'eau, le point d'ébullition (où la pression de vapeur du liquide est la même que la pression externe) est de 100°C à 101.3 kPa. À mesure que la concentration de soluté augmente, le point d'ébullition de la solution augmente ; à mesure que la pression diminue, la température d'ébullition diminue. La quantité d'énergie nécessaire pour vaporiser un liquide est appelée la chaleur de vaporisation. Pour l'eau, cela représente 2256 kJ/kg à 100°C. La même quantité de chaleur doit être retirée de la vapeur pour la condenser en liquide au point d'ébullition. Dans les processus de dessalement, la chaleur générée par la condensation de vapeur est transférée à l'eau d'alimentation pour provoquer sa vaporisation et ainsi améliorer l'efficacité thermique du processus et réduire la consommation de carburant et le coût.

### 1.1 Distillation par détente à étages multiples

Dans le procédé MSF, l'eau de mer est chauffée dans une chaudière. Cela est généralement réalisé en condensant la vapeur sur un faisceau de conduite qui transporte l'eau mer qui passe à travers la chaudière. Cette eau de mer chauffée coule alors dans une autre cuve correspondant à un autre étage où la pression ambiante est plus basse, si bien que l'eau commence aussitôt à bouillir. L'introduction soudaine de l'eau chauffée à chaque étage déclenche une détente et son évaporation instantanée (« flash »). En général, seule une petite partie de cette eau est convertie en vapeur, selon la pression maintenue au stade, car l'ébullition se poursuivra jusqu'à ce que l'eau tombe au point d'ébullition. Le concept de distillation de l'eau dans des étages successifs dont chacun est maintenu à la pression inférieure à la pression saturante correspondant à la température de l'eau dans l'étage n'est pas nouveau et est appliqué depuis plus d'un siècle (Buros 1992). La figure 2 illustre le schéma d'une installation de MSF.

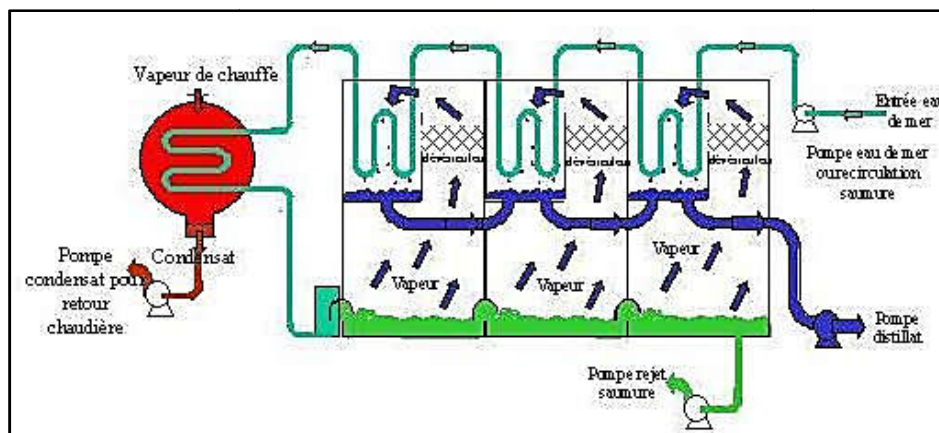


Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un système par détente successive (MSF) à 3 étages (Renaudin 2003).

## 1.2 Distillation à effets multiples (MED)

Les configurations des installations MED comprennent des tubes verticaux ou horizontaux. La vapeur est condensée d'un côté d'un tube 5 (Figure3), avec un transfert de chaleur provoquant l'évaporation de l'eau saline de l'autre côté. La pression est réduite séquentiellement dans chaque effet (étape) à mesure que la température diminue, et de la chaleur supplémentaire est fournie dans chaque étape pour améliorer les performances.

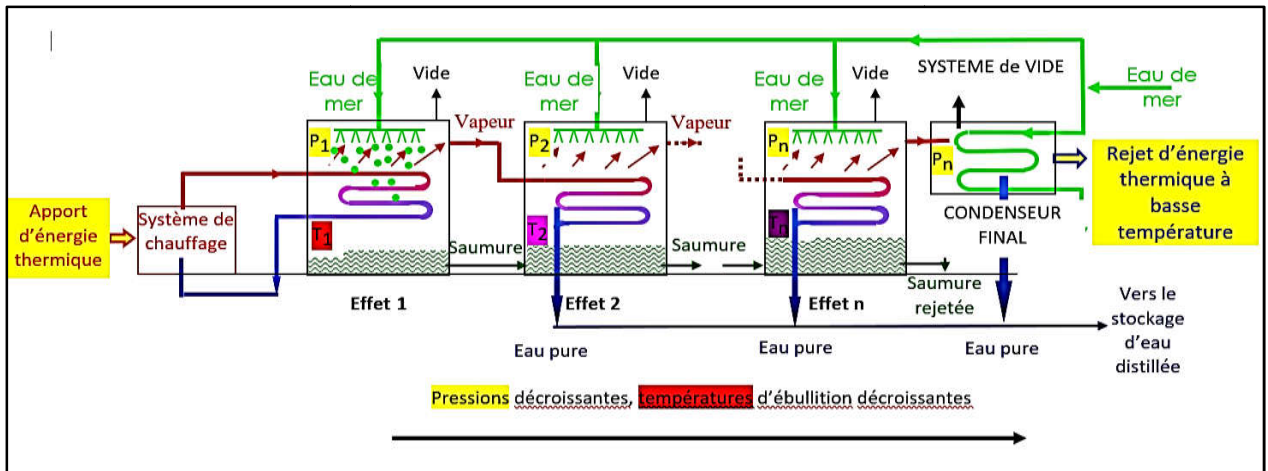


Figure 3 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED) (Renaudin 2003).

## 1.3 Distillation par compression de vapeur (VCD)

Les systèmes VCD fonctionnent en comprimant la vapeur d'eau, provoquant de la condensation sur une surface de transfert de chaleur (tube) ; cela permet de transporter la chaleur de la condensation vers la saumure de l'autre côté de la surface, ce qui entraîne une vaporisation. Le compresseur est le principal besoin en énergie (Figure 4). Il augmente la pression du côté de la vapeur et abaisse la pression du côté de la saumure d'eau d'alimentation pour abaisser sa température d'ébullition. La figure 4 montre la distillation à effets multiples et la distillation par compression de vapeur.

## 2. Technologies membranaires

Les membranes courantes sont des matériaux polymères tels que (à l'origine) le triacétate de cellulose ou plus probablement les polyamides et les polysulfones. Les membranes sont généralement des composites stratifiés ou à couche mince. La couche de contact de surface (couche de rejet) est collée à un support poreux, qui peut être produit à partir du même matériau que la surface. L'épaisseur de la membrane est de l'ordre de 0.05 mm. Les facteurs de sélection des membranes comprennent la stabilité du pH, la durée de vie au travail, la résistance mécanique, la capacité de pressurisation, ainsi que la sélectivité et l'efficacité pour l'élimination des solutés. Les membranes sont situées dans un module et peuvent être configurées comme fibres creuses, spirales, plaques et tubulaires. Les configurations en fibres creuses et en spirales ont généralement des caractéristiques de fonctionnement plus favorables en termes de performances par rapport au coût, et elles sont les plus couramment utilisées. Les pressions de service sont comprises entre 1700 et 6900 kPa. Les membranes utilisées pour l'électrodialyse sont des matériaux polymères de 0.13 à 1.0 mm (généralement 0.5 mm) assemblés dans des piles de type



plaque et cadre. Ces membranes fonctionnent à une pression d'alimentation de 70 à 700 kPa et résistent à l'oxydation.

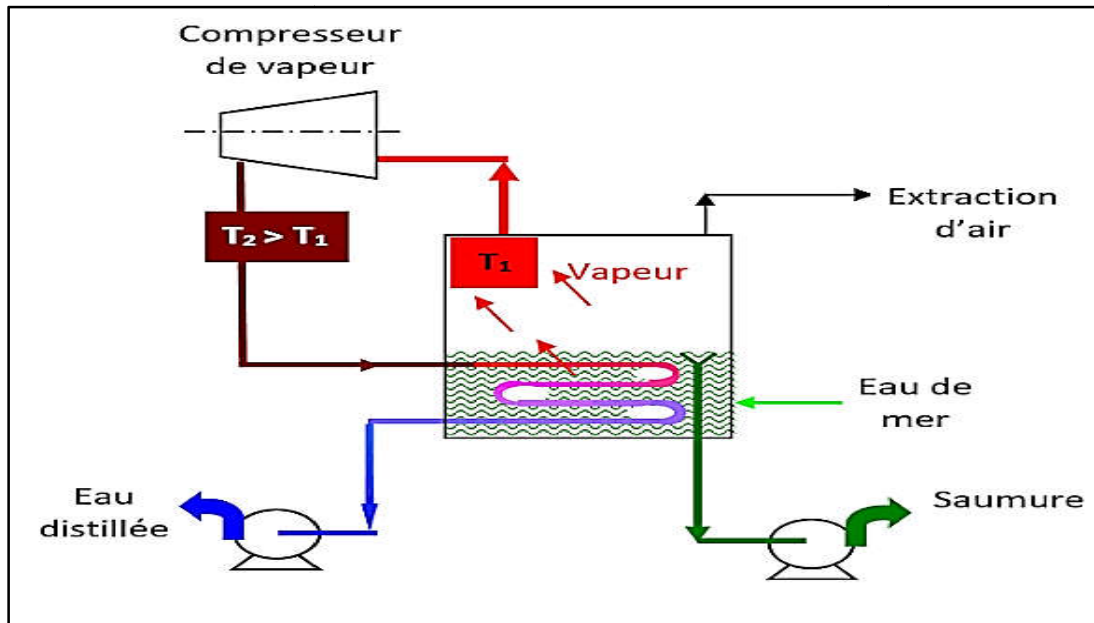


Figure 4 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur (Renaudin 2003).

## 2.1 Électrodialyse

Dans les systèmes de traitement basés sur l'électrodialyse (DE), un courant continu est passé à travers l'eau, ce qui entraîne les ions (et non l'eau) à travers les membranes vers des électrodes de charge opposée. Dans les systèmes d'inversion par électrodialyse (EDR), la polarité des électrodes est inversée périodiquement pendant le processus de traitement. Les membranes anioniques et cationiques de transfert d'ions (permsélectives) séparent les ions dans l'eau de source. Les procédés d'électrodialyse (ED et EDR) utilisent des membranes sélectives qui contiennent des groupes d'échange de cations et d'anions. Sous un champ électrique à courant continu, les cations et les anions migrent vers les électrodes respectives de sorte que des flux riches en ions et appauvris en ions se forment dans des espaces alternés entre les membranes. L'inversion des champs électriques réduit l'entartrage, l'encrassement organique et l'encrassement biologique, et rince les membranes. Le prétraitement est nécessaire pour contrôler le tartre et prolonger la durée de vie de la membrane et pour prévenir la migration de substances non ionisées telles que les bactéries, les matières organiques et la silice (Cotruvo et al 2010).

## 2.2 Osmose inverse (OI)

L'osmose inverse est un processus dans lequel l'eau produite (perméat) est séparée des sels dans l'eau source par transport sous pression à travers une membrane (Figure 5). À la suite du processus d'OI, l'eau dessalée est transportée sous pression à travers la membrane, tandis que les minéraux de l'eau de source sont concentrés et retenus par la membrane. L'application d'une haute pression pour le dessalement est nécessaire principalement pour surmonter le processus naturel d'osmose, qui ramène l'eau dessalée à travers la membrane dans l'eau à teneur minérale plus concentrée.

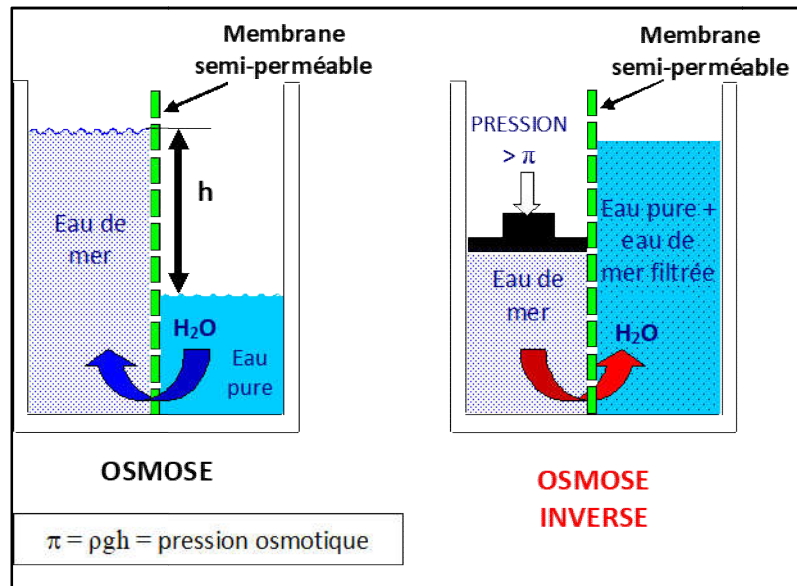


Figure5:Osmose normal vs osmose inverse(Renaudin 2003).

#### D. Installation d'osmose inverse

L'installation d'osmose inverse comporte les paramètres suivants :

- Les membranes
- Le module
- La pompe haute pression (HP)
- Système de récupération d'Énergie

##### 1. Membrane d'osmose inverse

Une membrane est une interface physique de faible épaisseur, qui contrôle le transfert d'espèces chimiques entre les deux milieux qu'elle sépare. Cette interface peut être homogène au niveau moléculaire, uniforme en composition et structure, ou elle peut être chimiquement et physiquement hétérogène, contenant des pores de dimensions définis ou contenant des couches superposées (Arzate 2008).

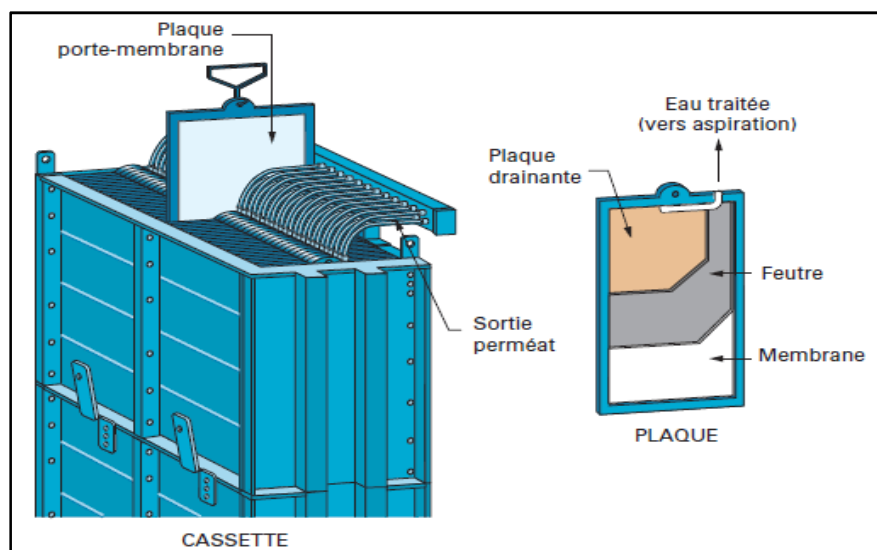
La performance de l'osmose inverse dépend directement des propriétés du matériau membranaire. » Plus précisément, la nature chimique du polymère membranaire et la structure de la membrane sont ceux qui déterminent les propriétés de rejet et de flux du système RO. Idéalement, les membranes d'osmose inverse devraient offrir un flux élevé et un rejet élevé, en plus d'une résistance et d'une durabilité élevées (Williams 2003).

##### 2. Le module d'osmose inverse

Les membranes d'osmose inverse pour les applications industrielles sont généralement modulaires à l'aide de configurations qui emballent une grande quantité de surface membranaire dans un volume relativement petit. Cela rend le système RO plus économique à utiliser dans la mesure où le système nécessite un encombrement réduit et que les membranes peuvent être remplacées dans des modules plus petits plutôt que dans l'ensemble du système. Il existe quatre formes de base pour les modules à membrane RO : plaque et cadre, tubulaire, enroulé en spirale et fibre fine creuse.

## 2.1 Modules de plaque (plane)

Les modules d'OI à plaque et à cadre sont généralement utilisés pour des applications spécialisées à haute teneur en solides en suspension et ne se trouvent généralement pas dans les installations de purification de l'eau. Ces modules sont constitués de feuilles plates de membrane qui sont modularisées en plaques, généralement deux membranes placées dos à dos par plaque. (Figure 6). Les plaques sont ensuite empilées dans un cadre de support. Il existe des matériaux d'espacement à motifs qui sont utilisés pour empêcher les membranes de coller les unes aux autres et de fournir des canaux ouverts pour que l'eau d'alimentation et de produit puisse circuler.



**Figure 6: Module de membrane typique de la plaque et du cadre.**

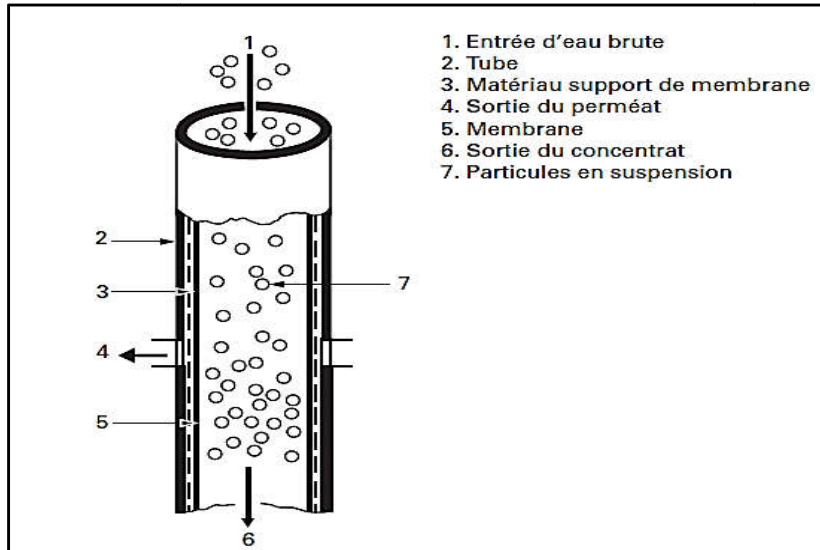
<https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-a-plaques>.

## 2.2 Modules tubulaires

Les modules tubulaires (Figure 7), sont également utilisés pour des applications spécialisées à haute teneur en solides que l'on trouve généralement dans les industries de transformation alimentaire et biologique. Les modules tubulaires vont de pourcent (%) à 1 pouce (1.3 à 2.6 cm) de diamètre avec le côté d'alimentation de la membrane à l'intérieur du tube.

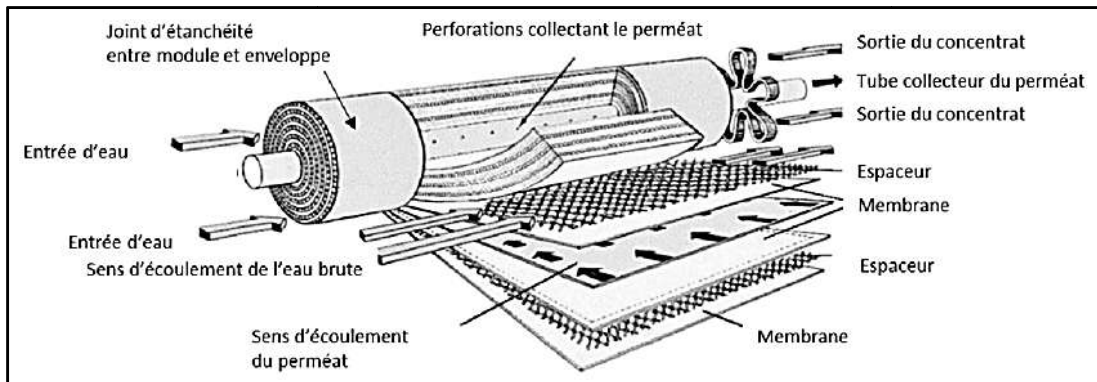
## 2.3 Modules enroulés en spirale

Les modules à membrane enroulée en spirale sont le type de module le plus couramment utilisé pour l'OI (Figure 8 et Figure 9), aujourd'hui. Le principal avantage d'un module à enroulement en spirale est que la densité d'emballage est assez élevée, environ 150 - 380, plus haut que pour les modules à plaque et à cadre ou tubulaires (The Dow Chemical Company 2007).

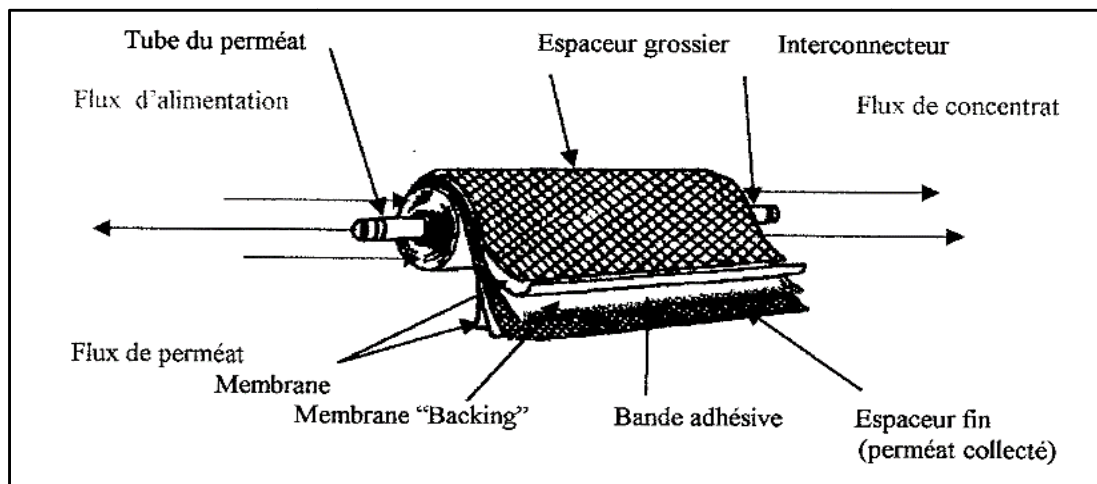


**Figure 7 : Module à membrane OI tubulaire.**

<https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-a-fibres-creuses>



**Figure 8 : Représentation schématique d'un module membranaire spiralé (Qasim et al 2019).**

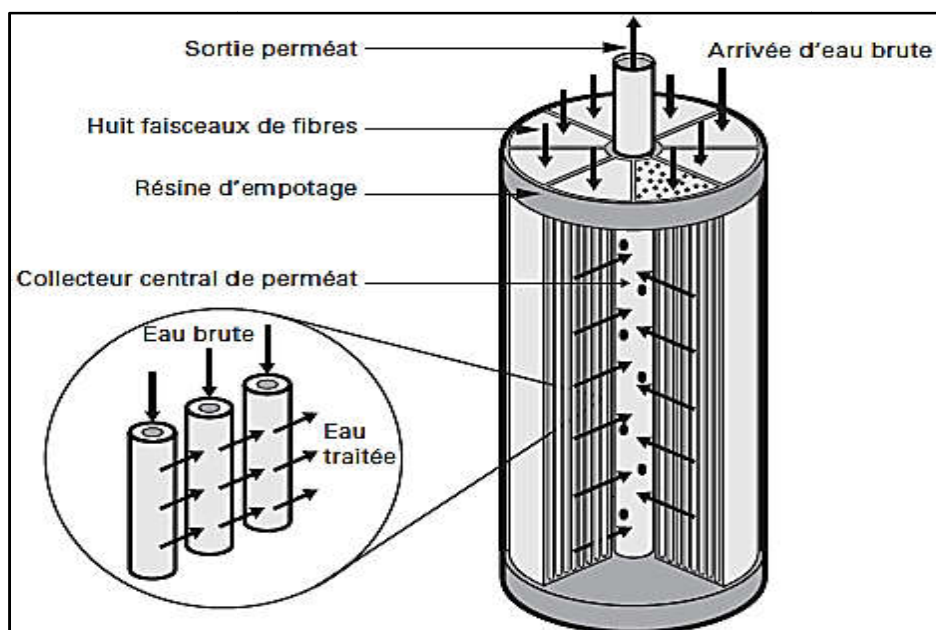


**Figure 9: Module enroulé en spirale montrant les feuilles de la membrane (Gould 1995).**

## 2.4 Modules de membrane à fibres fines creuses

Les modules RO à fibres fines creuses sont des membranes formées en tubes de très petit diamètre, avec un diamètre extérieur d'environ 85 microns et un diamètre intérieur d'environ 42 microns (Lonsdale et al 1982).

Les fibres ressemblent aux cheveux humains et peuvent être aussi flexibles. La membrane « peau » ou film mince est à l'extérieur de la fibre (Figure 10). Cette peau a une épaisseur d'environ 0.1 à 1 micron (Loeb 1963).



**Figure 10: Module de membrane à fibres creuses.**

<https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-a-fibres-creuses>

## 3. Colmatage des membranes et leur nettoyage

Le Colmatage des membranes a pour conséquence de réduire le flux d'écoulement ou d'augmenter la pression de l'opération. La détermination de la nature et de la structure des éléments qui colmatent la membrane est nécessaire pour établir le choix des agents de nettoyage et des conditions d'opération les plus efficaces. On peut classer les éléments colmatant en deux groupes :

- Les résidus solubles dans l'eau : qui peuvent être éliminés par un simple rinçage ;
- Les résidus non solubles dans l'eau : qui forment une couche poreuse et résistante composée principalement de protéines et de sels, ainsi que de microorganismes, colloïdes, polysaccharides insolubles, etc.

Le nettoyage des membranes a pour but de limiter le colmatage irréversible de perméabilité ainsi par le même fait à prolonger la durée de vie des membranes. Les différentes techniques de nettoyage sont :

Le nettoyage mécanique : partiel mais rapide, son principe consiste à décoller et retirer la matière accumulée sur la membrane par des forces mécaniques.

Le nettoyage chimique : nécessite un arrêt de production périodique, génère des coûts en solution de lavages et en traitement des effluents. Il se compose d'une séquence de lavage acide et basique, ainsi que d'une phase de rinçage.

Le nettoyage enzymatique : constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans le cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé (Arzate2008).

#### **4. Pompe haute-pression (HP) et système de récupération d'énergie**

Les pompe haute-pression d'alimentation des modules d'osmose inverse destinée au dessalement de l'eau de mer ainsi que les dispositifs de récupération de l'énergie hydraulique du concentrât qui y sont associés, représentent des postes très importants dans la conception des usines de dessalement, tant du point de vue de l'investissement, que de celui de l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement. Les pompes haute-pression des membranes d'osmose doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie (Corsin 2005).

### **E. Autres procédés de dessalement**

#### **1. Échange ionique**

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (ex : cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés (De Dardel 2015).

En dessalement d'eau de mer, l'échange d'ions est un complément idéal de l'osmose inverse lorsqu'il s'agit de réduire la teneur en bore jusqu'au niveau recommandé pour l'eau potable et les eaux d'irrigation.

#### **2. Dessalement par congélation**

On distingue deux types de procédés par congélation, cette dernière pouvant être « directe » ou « indirecte ».

Le principe de la congélation directe repose sur la formation de cristaux de glace par contact direct entre un réfrigérant et l'eau de mer. Ce réfrigérant peut être l'eau de mer elle-même : la chaleur est soustraite à la saumure par une évaporation flash sous pression réduite. Ce procédé est appelé VFVC (Vacuum Freezing Vapour Compression) dans la littérature anglo-saxonne. La congélation directe peut également être assurée par un réfrigérant secondaire : le refroidissement est obtenu par la vaporisation de butane liquide et froid injecté sous pression directement dans la saumure. Le procédé est alors appelé SRF (Secondary Refrigerant Freeze).

Dans le cas de la congélation indirecte, le refroidissement est assuré par un échangeur de chaleur et une couche de glace est déposée sur les parois froides de l'échangeur(Wilson 1974).

#### **3. Distillation solaire**

La distillation solaire est un procédé simple et pouvant être appliqué de façon rustique mais elle ne convient évidemment qu'aux régions où l'ensoleillement est suffisant. Ce procédé de dessalement solaire est basé sur le principe du dessalement « Serre », soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une d'eau de mer ou d'eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est

surchauffé et saturé de vapeur d'eau douce qui conduit au contact de la paroi relativement fine de verre, et les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies dans une gouttière (Bensalem et al 2012).

### **F. Post-traitement**

L'eau de produit provenant des usines de dessalement est typiquement faible en teneur en minéraux, en alcalinité et en pH. Par conséquent, l'eau dessalée doit être conditionnée (post-traitée) avant la distribution et l'utilisation finales. En règle générale, le post-traitement de l'eau du produit comprend un ou plusieurs des processus suivants :

- Stabilisation par addition d'alcalinité carbonatée
- Inhibition de la corrosion
- Reminéralisation par mélange avec de l'eau à haute teneur en minéraux.
- Désinfection.
- Polissage de la qualité de l'eau pour une élimination améliorée de composés spécifiques (par exemple, bore, silice, diméthylnitrosamine [NDMA]).

Le post-traitement du perméat produit par le système de dessalement est nécessaire pour la désinfection et l'ajout de minéraux afin de protéger la santé publique et de préserver l'intégrité du système de distribution d'eau (Cotruvo et al 2010).

#### **1. L'ajustement du pH**

L'ajustement du pH consiste à injecter des réactifs dans l'eau, afin de baisser (acidification) ou de monter (basification ou alcalinisation) le pH de l'eau, vers une valeur désirée.

Si l'eau produite présente un pH acide, ce paramètre doit être ramené à une valeur comprise entre 6.5-7.5 adéquate pour les eaux potables, et aussi pour éviter la corrosion. L'ajustement du pH est réalisé par injection de la soude, de la chaux ou de carbonate de sodium.

#### **2. La chloration**

Le perméat doit être chloré en utilisant l'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou le chlore gazeux pour éviter toute contamination et développement biologique.

## **VI. CONCLUSION**

Le manque réel de disponibilité en eau douce a montré que le choix stratégique de ne compter que sur les précipitations n'était pas très approprié. Cependant, le dessalement de l'eau de mer est devenu la solution majeure pour satisfaire les besoins en matière d'eau potable. Les technologies continuent de progresser afin de fournir une eau potable de haute qualité et de réduire les coûts et l'énergie utilisés.

# **Chapitre 2 : DESCRIPTION DE LA STATION DE DESSALEMENT DE FOUKA**



## DESCRIPTION DE LA STATION DE DESSALEMENT DE FOUKA

### I. INTRODUCTION

La crise de l'eau qui était due aux graves conditions de sécheresse qui ont prévalu au cours de ces dernières décennies dans de nombreuses régions a conduit l'état algérien à exploiter ses 1200 km de côtes méditerranéennes pour implanter des usines de dessalement d'eau de mer afin d'approvisionner en eau potable les zones proches. La wilaya de Tipaza, située sur la côte centre-nord du pays, bénéficie d'une usine de dessalement à Fouka d'une capacité de 120000 m<sup>3</sup> par jour. Une partie de l'eau dessalée est destinée à l'approvisionnement en eau potable de la partie orientale de la wilaya de Tipaza (18 municipalités) et le reste à Alger pour le renforcement du système de distribution de la zone côtière ouest.

### II. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisé dans la wilaya de Tipaza, à 20 km du chef-lieu de wilaya et à environ 35 km à l'Ouest d'Alger. L'usine est située à l'entrée de Fouka et à la sortie de la ville de Douaouda marine (Figure 11). La station est sillonnée par la route nationale RN 11 en provenance d'Alger et en direction vers Chlef, et relié à Koléa par le chemin de wilaya N110 et à Bou-Ismaïl par le chemin de wilaya N126. La commune de Fouka s'étend sur une superficie de 1273 hectare et se situe au Nord- Est de la ville de Tipasa. Elle est limitée :

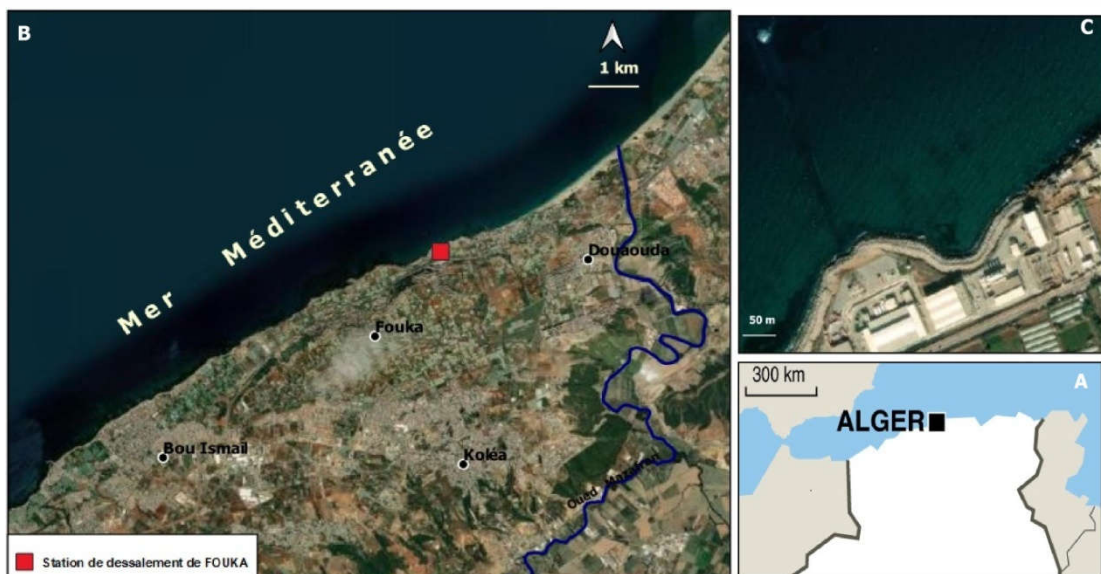


Figure 11 : Localisation de la station de dessalement Fouka.

- Au Nord par la mer Méditerranée ;
- Au Sud par la commune de Koléa ;
- A l'Est par la commune de Douaouda ;
- A l'Ouest par celle de Bou Ismail.

L'usine s'étend sur une superficie de 4 hectares et dispose d'une longueur de 300 m et une largeur variant entre 70 et 150 m.

Notons que l'oued Mazafran se situe à environ 4 km du côté oriental du site de la station de dessalement (Figure 11).

### III. PRESENTATION DE LA STATION DE DESSALEMENT FOUKA

L'usine de dessalement de Fouka est une installation de dessalement par osmose inverse (SWRO). Elle est située dans la commune de Fouka (de Tipaza) à 35 km à l'Ouest d'Alger.

**Tableau 2 : Présentation de l'usine de Fouka**  
(<https://aec.dz/projects/usine-de-fouka>)

Dénomination	Myah Tipaza SpA (MT Spa)
Localisation	Commune de Fouka, wilaya de Tipaza
Date de creation	21 mai 2007
Investissement	180.5 million USD
Procédés	Osmose inverse
Financement	Fonds propres 20% (36.1 MUSD) - Emprunt bancaire (CPA) 80% (144.4 MUSD)
Exploitant de l'Usine	SNG-Lavalin Internacional Espana S.A.U Acciona Agua, S.A.U., Union Temporal de Empresas.
Mise en service	12 juillet 2011
Production journalière	120 000 m <sup>3</sup>
Production d'eau cumulée	385926 416 m <sup>3</sup>

#### A. Les principales installations de l'usine de dessalement Fouka

La station comprend les installations suivantes :

- Deux prises d'eau de mer ouverte avec têtes de prise ;
- Une station de pompage d'eau de mer ;
- Un procédé de prétraitement : injection de produits chimiques (hypochlorite de calcium, acide sulfurique, chlorure ferrique, polyélectrolyte, inhibiteur) ;
- Un prétraitement de l'eau par filtration gravitaire et filtres à cartouches ;
- Le dessalement par osmose inverse : Système d'osmose inverse, Pompes haute pression et Système de récupération d'énergie ;

- Le post-traitement. La reminéralisations par l'ajout de produits alcalins (Chaux) et  $\text{CO}_2$ .
- Un réservoir d'eau traitée avec une station de pompage pour distribution ;
- Un réservoir de traitement des effluents.

Elle a été mise en service en août 2011 suite à sa réalisation par l'entreprise "Myah Tipasa" représentée par un groupement d'entreprises constitué par l'AEC (Algerian Energy Company) et la canadienne "SNC Lavallin" pour couvrir les besoins en eau potable de la région de Zeralda et de la partie occidentale d'Alger.

La capacité quotidienne de traitement de l'eau de l'usine est de 120 000 mètres cubes. Elle devrait desservir une population de plus d'un demi-million d'habitants.

## **B. Description du procédé de la station de dessalement Fouka**

### **1. La prise d'eau de mer**

La prise d'eau de mer est basé sur deux conduites en polyéthylène à haute densité (PEHD) (Figure 12) munie d'une tête indépendante avec un diamètre 1600 mm pour un Débit d'eau brute instantané 11 404  $\text{m}^3/\text{h}$  et un Débit par prise 5702  $\text{m}^3/\text{h}$ , l'eau passe gravitairement avec une vitesse comprise entre 1.0 et 2.0 m/s pour limiter la formation des dépôts et réduire l'incrustation de moules.



**Figure 12 : Conduite en PEHD fixé par une tête en béton.**

#### **1.1. Station de pompage d'eau brute**

La station de pompage d'eau brute (Figure 13) transfère l'eau aux filtres à sable. Pour la protection de la pompe, trois (3) écrans verticaux sont implantés à l'entrée de la station. A des fins d'entretien, les vannes murales isolent le puits de pompage. Des robinets de séparation sont également fournis de chaque côté des écrans pour l'entretien ou la réparation. Les pompes centrifuges verticales sont soigneusement choisies pour résister à la dureté de l'eau de mer. La station de pompage se compose de sept pompes, six en service et une de rechange, ayant chacune une capacité de 1974  $\text{m}^3/\text{h}$  (un total de 11 844  $\text{m}^3/\text{h}$  > 11 404  $\text{m}^3/\text{h}$  pour absorber le débit supplémentaire pendant la maturation du filtre à sable) (Contrat EPC 2005).



**Figure 13 : Station de pompage d'eau brute.**

## **2. Prétraitement**

L'objectif du prétraitement est de réduire l'encrassement, de prolonger la durée de vie des membranes, d'améliorer la qualité de l'eau produite et de maintenir les performances d'osmose inverse. Il est divisé en deux catégories :

### **2.1 Prétraitement chimique (Figure 14)**

Pour désinfecter la membrane et éviter la croissance biologique, on ajoute du chlore sous forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de dioxyde de Chlore ( $\text{Cl}_2$ ) hydrolysé sous forme d'acide hypochloreux (HOCl).

Pour empêcher l'écaillage du  $\text{CaCO}_3$ , le pH doit être ajusté en ajoutant de l'acide (Exemple : acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )).

Des coagulants comme le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ), le sulfate ferrique ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) et le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) sont ajoutés pour permettre aux particules colloïdales de s'agglomérer.



**Figure 14 : Réservoirs des produits chimiques.**

Des flocculants pour améliorer la procédure de floculation, des polymères cationiques ou anioniques peuvent être utilisés.

## **2.1 Prétraitement physique**

Pour ce faire, on procède à une préfiltration grossière, qui consiste principalement à enlever les gros matériaux qui peuvent endommager les installations et réduire l'efficacité globale du processus de traitement.

### **2.1.1 Filtration sur sable**

Il est nécessaire d'éliminer les agglomérats formés pendant la coagulation. La station de Fouka est équipée de 10 filtres (Figure 15) avec une hauteur de sable de 70 cm pour enlever les matières en suspension (particules 25mm) et une couche de charbon de bois activé (anthracite) de 30 cm de hauteur pour enlever les couleurs et les odeurs.



**Figure 15 :Filtres à sable**



**Figure 16 : Filtres à cartouches**

### 2.2.2 Filtration à cartouche

Les filtres à cartouche (Figure 16) capables permettent de filtrer des particules jusqu'à 5 microns. Ils sont installés en amont des unités d'osmose pour filtrer les petites particules qui peuvent s'échapper des filtres à sable et ainsi protéger les membranes contre l'encrassement.

## 3. Traitement

La station utilise l'osmose inverse et est composée de six (6) unités (RO) chacune ayant une capacité de 20000 m<sup>3</sup>/jour (Il n'y a pas d'unités en réserve) (Figure 17). Sur la base de l'approvisionnement en eau brute, la capacité de l'usine de traitement est de 120000 m<sup>3</sup>/jour.



**Figure 17: Unité d'osmose inverse (racks).**

D'environ 273 697 m<sup>3</sup>/jour d'eau brute, la production est étalée sur une période de 24 h/jour soit 5 000 m<sup>3</sup>/heure

Les paramètres de conception adoptés pour les unités d'osmose inverse sont résumés dans le tableau 3.

### 3.1 Pompe HP et système de récupération d'énergie

La station d'osmose est dotée des équipements suivants :

- Six (6) pompes hautes pression (Figure 18), six (6) dispositifs de récupération d'énergie (Figure 21) et six (6) pompes Booster. ;
- Six (6) trains d'osmose inverse 1ère passe et un système de nettoyage et de flushing. Dans les conditions normales du fonctionnement, la production est assurée par les six (6) filières.

Les pompes HP sont dimensionnées de façon à pouvoir fournir une pression de 67 bars requises par les membranes à 15 °C et pour une salinité de 38000 mgL<sup>-1</sup> (Usine de dessalement de Fouka-Algérie).

La récupération d'énergie de saumure produite pendant le procédé d'osmose se fait grâce à des échangeurs de pression (Figure 19).

**Tableau 3 : Capacité de la station de dessalement Fouka.**

<b>Paramètre</b>	<b>Valeur donnée</b>
Nombre de racks en opération	6
Nombre de racks en stand-by	0
Taux de conversion Total	45 %
Production par racks	842 m <sup>3</sup> /h (121 284 m <sup>3</sup> /jour)
Débit alimentation par racks	1 870 m <sup>3</sup> /h (269 280 m <sup>3</sup> /jour)
Débit de rejet	1 029 m <sup>3</sup> /h (148 133 m <sup>3</sup> /jour)
Fluide	Eau de Mer
Salinité	38 000 mg L <sup>-1</sup>
Nombre total de membranes	9 072
Espace libre	10 %
Configuration de la membrane	Spiralée
Matériel	Polyamide
Matériel du tube	Fibre de verre et époxy
Dimensions	D=20cm, longueur=100cm
Pression maximale	70 bars
pH d'opération	2-11
Températuremaximaled'opération	45°
Débit nominal	27.7 m <sup>3</sup> /jour
Réjection de sel	99.6 %
Variation dudébit admissible	± 10 %



**Figure 18 : Pompe Haute Pression (HP)**



**Figure19 : Système de récupération d'Énergie.**

### **3.2 Système de lavage des unités de RO**

Avec le temps, le débit sortant des membranes diminuera à cause de la présence de matière colloïdale, précipitation de fer, croissance biologique, etc.

La station effectue trois (3) types de nettoyage :

- Un nettoyage à l'acide à cause de l'encrassement avec des sels et des métaux ;
- Un nettoyage aux détergents dans le cas d'encrassement par les colloïdes et la matière biologique ;
- Un nettoyage aux biocides dans le cas d'encrassement par bactéries, par levures ou par champignons. De façon générale, il est recommandé d'effectuer un nettoyage préventif.

Le nettoyage doit être entrepris lorsque :

- Le débit du perméat baisse de 10 à 15 % sous le débit nominal à pression normale ;
- La pression différentielle entre la pression d'entrée et du concentrât augmente de 30 % ;
- Le passage de sels augmente de 10 à 15 %.

Les rejets résultant du nettoyage des membranes sont dirigés vers le réservoir de traitement des effluents pour neutralisation avant rejet (Usine de dessalement de Fouka-Algérie).

### **4. Post-traitement (reminéralisation)**

Le perméat sortant d'une unité d'osmose inverse (est une eau relativement agressive de faible salinité, de très faible dureté et d'alcalinité).

L'usine de Fouka est équipée de dispositifs de correction de la dureté et de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un goût plus satisfaisant. Un dispositif additionnel de désinfection par chloration est également inclus pour prévenir tout risque de développements bactériens dans les réservoirs et les systèmes de distribution (Bouroche et Lebars 1994). Le système de reminéralisation se fait avec la chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) et le  $\text{CO}_2$  (Figures 20, 21 et 22).



Une désinfection est réalisée avant la distribution. Un ajout de chlore avec une concentration de  $0.5 \text{ mgL}^{-1}$  est prévu au point de livraison conformément à la norme contractuelle.



**Figure 20 : Silos de chaux.**



**Figure 21 : Saturateur de chaux.**



**Figure 22: Station de production de CO<sub>2</sub>.**

#### **4.1 Station de pompage de l'eau traitée**

Le système de stockage d'eau est constitué d'un réservoir de stockage d'une capacité de  $3\,600 \text{ m}^3$  en béton armé.

La station de pompage d'eau traitée (Figure 23) permet de refouler l'eau commerciale jusqu'au point de livraison.

Les six pompes (6 +1 au repos) de la station de pompage fonctionnent avec un débit fixe et/ou variable afin de garantir les fluctuations de débit et de pression.



**Figure 23 : Station de pompage de l'eau traitée.**

#### **4.2 Laboratoire (Figure 24)**

Il permet d'effectuer les analyses suivantes afin d'assurer une bonne qualité d'eau potable : solides totaux dissous (TDS), température, calcium, magnésium, bore, fer total, pH, dureté totale, alcalinité, coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques, conductivité, indice de Langelier, SDI (automatique et manuel) et turbidité.



**Figure 24 : Laboratoire de la station.**

#### **4.3 Salle de contrôle**

Cette salle (Figure 25) est munie de deux ordinateurs. Le process de l'usine est suivie via un système SCADA installé dans les ordinateurs. L'opérateur a accès aux données d'opération telles que : l'état des équipements (ON-OFF-FAILURE) et des valeurs analogiques des différent éléments de l'usine. L'opérateur aura la possibilité de fonctionner/arrêter les pompes via les ordinateurs.



**Figure 25 : Salle de contrôle.**

#### **4.5 Réservoir des effluents**

Ce réservoir (Figure 26) dispose d'une capacité de 100 m<sup>3</sup>. Les effluents comprennent:

- les eaux de lavage ou flushing de l'osmose inverse ;
- et celles du lavage des saturateurs de chaux.

Ces eaux de lavage s'écoulent en temps normal gravitairement et dans le cas d'opérations spécifiques, (lavages des membranes) ils sont pompés vers la chambre de rejets.

Le dosage de chaux et d'acide sulfurique est possible dans le réservoir afin de neutraliser les eaux avant le rejet si requis.



**Figure 26 : Réservoir d'effluents.**

## IV. MATERIEL ET METHODES

### A. Sites de prélèvements

La station de dessalement de Fouka est dotée de plusieurs sites de prélèvements, répartis comme suit :

- A l'entrée de l'eau de mer : eau brute ;
- Après la filtration à cartouche : eau filtrée (entrée osmose) ;
- A la sortie d'osmose inverse : perméat (eau osmosée) ;
- A la sortie d'osmose inverse : concentrât ;
- Au niveau du réservoir de l'eau traitée ;
- Au niveau du bassin des rejets.

### B. Mode et fréquences de prélèvement

Pour chaque site, les échantillons d'eau ont été prélevés à l'entrée de l'eau de mer et après reminéralisation (eau traitée) dans des flacons en plastique de 500ml étiquetés (Figure 27). Les prélèvements ont été réalisés comme suit :

- Laisser l'eau couler pendant une minute ;
- Rincer le flacon trois fois avec l'eau distillée ;
- Remplir le flacon et prendre la mesure de la température avant de le fermer.



**Figure 27 : Prélèvements des échantillons dans la station dessalement Fouka.**

Quarante prélèvements ont été effectués quotidiennement durant la période de stage et analysés au laboratoire de la station. Les paramètres concernés sont pour l'eau brute la température, la TDS, la MES et le SD5, pour les eaux traitées le pH, l'alcalinité, le TH, la TDS, le chlore résiduel et l'indice de Langelier et pour les saumures le fer et le pH. D'autres paramètres ont été mesurés chaque semaine. Il s'agit du calcium, du magnésium, des chlorures et du bore.

Cependant, les données traitées dans ce présent travail nous ont été fournies par la station. Elles concernent tous les paramètres suscités et portent sur une période d'une année (2021).

Un autre échantillon a été prélevé dans les eaux traitées et analysé au laboratoire de la société des eaux et d'assainissement d'Alger (SEAAL). Les analyses réalisées ont porté sur les paramètres mentionnés dans le tableau 4.

Pour les eaux traitées, tous les résultats des paramètres analysés ont été comparés aux normes du Journal Officiel de la République Algérienne (JORA) à l'exception du magnésium et du chlore résiduel qui ont été confrontés aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

**Tableau 4 : Paramètres analysés et norme ou méthode d'analyse.**

Paramètre	Norme / méthode	Paramètre	Norme / méthode
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Electrochimie (ISO 9963-1:1996)	Fer	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Electrochimie (ISO 9963-1:1996)	Cadmium	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
TA	Electrochimie (ISO 9963-1:1996)	Antimoine	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
TAC	Electrochimie (ISO 9963-1:1996)	Nickel	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
Sulfates	Chromatographie ionique (ISO 10304)	Mercure	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
Chlorures	Chromatographie ionique (ISO 10304)	Chrome	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
Nitrates	Chromatographie ionique (ISO 10304)	Argent	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
Sodium	Chromatographie ionique	Bore	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
Potassium	Chromatographie ionique	Barium	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
Calcium	Chromatographie ionique	Cobalt	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
Magnésium	Chromatographie ionique	Molybdène	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)
TH	Chromatographie ionique	Turbidité	Néphélométrie (ISO 7027-1:2016)
Aluminium	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)	Ortho-phosphates	Spectrophotométrie (ISO 6878)
Arsenic	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)	pH	Potentiométrie à la sonde (ISO 10523:2008)
Plomb	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)	Température	Potentiométrie à la sonde (ISO 10523:2008)
Sélénium	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)	CE	ISO 7888:1985
Zinc	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)	Nitrites	Analyse en flux continue (ISO 13395:1996)
Cuivre	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)	Ammonium	ISO 7150-1:1984
Manganèse	ICP-MS (ISO 17294-2:2016)	-	-

### C. Paramètres mesurés

#### 1. Au laboratoire de la station

##### 1.1 Température

La température est un paramètre très important pour le traitement de l'eau et sa variation peut affecter ses caractéristiques physico-chimiques.

##### 1.1.1 Mesure du paramètre

La température est mesurée par un thermomètre digital (Hanna Instrument) (Figure 28) et les valeurs obtenues sont estimées en degré °C.



**Figure 28 : Thermomètre.**

## **1.2 pH**

Le pH correspond à la concentration en ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. La valeur du pH interfère avec d'autres paramètres de qualité dans les réactions chimiques complexes : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité. Il est pertinent de le surveiller lors de toute opération de dessalement.

### **1.2.1 Mesure du paramètre**

La mesure du potentiel hydrogène consiste à submerger une électrode reliée à un pH mètre dans un bécher contenant l'eau à analyser (Figure 29).



**Figure 29 : pH mètre.**

## **1.3 Conductivité électrique (EC)**

La conductivité permet de savoir à quel point l'eau est minéralisée, car la plupart des substances dissoutes dans l'eau se présentent sous forme d'ions chargés. La conductivité est donnée en  $\mu\text{S cm}^{-1}$  et est proportionnelle aux fluctuations de la température.

### **1.3.1 Mesure du paramètre**

La mesure de conductivité se fait à l'aide de deux électrodes de platine distantes de 1 cm l'un de l'autre. L'électrode est plongée dans un bécher contenant l'eau à analyser (Figure 30).



**Figure 31 : Conductivimètre.**

#### **1.4 Total des sels dissous (TDS)**

Les solides dans l'eau existent sous forme de solutions ou de suspensions. Après filtration de l'eau à travers un filtre en fibre de verre, les solides en suspension sont retenus par ce dernier et les solides dissous le traversent. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est évaporée, les solides dissous dans l'eau restent au fond (Résidu d'évaporation). Ce résidu constitue les solides dissous totaux.

#### **1.5 Matière en suspension (MES)**

La matière en suspension (MES) désignent les matières solides insolubles présentes en suspension dans un liquide.

##### **1.5.1 Mesure du paramètre**

- Peser un creuset en verre contenant une membrane filtrante en fibre de verre, soit  $P_0$  la masse de l'ensemble.
- Peser un creuset vide en porcelaine d'une contenance de 200 ml, soit  $P_1$  sa masse.
- Placer la membrane filtrante sous le cône de filtration en inox.
- Vérifier le bon positionnement des robinets de la rampe de filtration.
- Vider le tuyau reliant la rampe de filtration à la fiole en verre.
- Vérifier que la fiole en verre est vide et que son bouchon est bien fermé.
- Mélanger énergiquement le flacon contenant au moins 1 litre d'échantillon.
- Remplir rapidement une éprouvette de 500 ml avec l'échantillon.
- Transvaser rapidement le contenu de l'éprouvette dans le cône de filtration.
- Mettre la pompe à vide en marche et arrêter celle-ci lorsque tout l'échantillon a été filtré, le filtrat ayant été récupéré dans la fiole en verre.
- Evacuer le vide résiduel dans la rampe à filtration en ouvrant un de ses robinets non utilisés.
- Retirer le cône de filtration et décoller délicatement à l'aide d'une pince la membrane filtrante que l'on déposera dans son creuset en verre d'origine.
- Introduire le creuset en verre contenant la membrane filtrante dans une étuve dont la température est à 105°C (noter l'heure d'introduction du creuset).
- Après 2 heures de séchage, laisser refroidir le creuset en verre contenant la membrane filtrante dans un dessiccateur pendant 15 min.
- Peser le creuset en verre contenant la membrane filtrante, soit  $P_2$  sa masse.

- Mélanger le filtrat contenu dans la fiole en verre et en prélever rapidement 200 ml à l'aide d'une éprouvette propre.
- Sans attendre, verser le contenu de l'éprouvette dans le creuset en porcelaine précédemment pesé.
- Introduire le creuset en porcelaine contenant les 200 ml de filtrat dans une étuve à une température de 180°C.
- Le creuset en porcelaine restera 12 heures à l'intérieur de l'étuve (noter l'heure d'introduction du creuset).
- Après séchage, refroidir le creuset en porcelaine dans un dessiccateur pendant 30 mn.
- Peser le creuset en porcelaine contenant les matières dissoutes, soit P<sub>3</sub> sa masse.
  - Calculer le MES et la TDS en utilisant les équations suivantes :

$$\text{MES}(\text{mg L}^{-1}) = (P_2 - P_0) \times 2000$$

$$\text{TDS}(\text{g L}^{-1}) = (P_3 - P_1) \times 5$$

## 1.6 Turbidité

La turbidité représente la quantité de matière colloïdale organique ou bien minérale liée à la transparence. Elle s'exprime en Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

### 1.6.1 Mesure du paramètre

Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre (Figure 31). La mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection des matières non dissoutes dans l'échantillon d'eau.



**Figure 31: Turbidimètre.**

## 1.7 Silt Density index (SDI)

La mesure de cet indice indique la capacité d'encrassement de l'eau dans les systèmes d'osmose inverse.



### 1.7.1 Mesure du paramètre

Détermination de l'encrassement d'une micro membrane de porosité 0.45 µm et de 47 mm de diamètre par filtration de l'eau à travers de cette dernière à une pression de 2.1 bars. Filtration de l'eau en continue avec mesures à différents intervalles de temps et de volumes.

L'indice d'encrassement est donné par la relation :  $P (\%) = 100 \times (1 - t_0 / t)$

Calculer P avec  $t = t_{15}$  : Si  $P > 80 \%$  avec  $t = t_{15}$ , refaire le calcul avec  $t = t_{10}$ . Si  $P > 80 \%$  avec  $t = t_{10}$ , refaire le calcul avec  $t = t_5$ . L'indice de colmatage est donné par la relation :  $IC = P (\%) / T = \text{temps total de la mesure} : 5, 10 \text{ ou } 15 \text{ min selon le temps retenu.}$

### 1.8 Calcium

Le calcium est un alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il constitue est un élément essentiel de la dureté de l'eau.

#### 1.8.1 Mesure du paramètre

- Agiter délicatement le flacon de l'EDTA 0.01 M ;
- Remplir la burette avec l'EDTA 0.01 M ;
- Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet ;
- Agiter l'échantillon doucement ;
- A l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml ;
- Ajouter 2 ml de NaOH 2 N à l'aide de la pipette en plastique propre ;
- A l'aide de la spatule, ajouter un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose ;
- Mélanger le tout et commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette ;
- Noter le volume « V » de burette et calculer la concentration en calcium à l'aide des formules suivantes :

$$\text{Concentration en calcium}(\text{mg L}^{-1}) = V \times 8.016$$

$$\text{Concentration en calcium} (\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3) = V \times 20.04$$

### 1.9 Chlorures

Les chlorures sont vraiment solubles dans l'eau, dans le cas d'un système de traitement basé sur l'absorption granulaire de charbon actif et l'osmose inverse, un taux d'élimination de 87% a été observé. Les niveaux de chlorure dans l'eau peuvent augmenter pendant le traitement si le chlore est utilisé pour la désinfection. La concentration en ions chlorures de l'eau destinée à la consommation humaine est de 500 mg L<sup>-1</sup> (selon les normes algériennes) (Tahraoui et al 2010).

#### 1.9.1 Mesure du paramètre

Pour l'analyse de l'eau de mer et du concentrât, prélever 0.5 ml d'eau dans une fiole jaugée de 100 ml et compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée. Transvaser le tout dans un erlenmeyer de 250 ml propre.

Le calcul de la concentration en chlorure en  $\text{mg L}^{-1}$  est :  
 $(\text{Volume des chlorures} - 0.2) \times 1418.12$

Pour les autres types d'eaux, le protocole opératoire est le suivant :

- Agiter délicatement le flacon d' $\text{AgNO}_3$  0.02 N ;
- Remplir la burette avec  $\text{AgNO}_3$  0.02 N ;
- Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet ;
- Agiter l'échantillon à l'aide d'une fiole jaugée propre de 100 ml puis introduire 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml ;
- Ajouter 1 ml de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  avec la pipette en plastique propre et mélanger.
- Verser  $\text{AgNO}_3$  0.02 N goutte à goutte tout en agitant l'erlenmeyer jusqu'à ce que la solution prenne une couleur brune-orange.
- Noter le volume de burette.
- Calculer la concentration en chlorure de la manière suivante :

$$\text{Concentration en chlorure en } \text{mg L}^{-1} = (V - 0.2) \times 7.0906$$

$$\text{Concentration en chlorure en mg par litre } \text{CaCO}_3 = (V - 0.2) \times 10$$

### 1.10 Titre hydrotimétrique (TH)

Il mesure la concentration en ions alcalino-terreux, le calcium et le magnésium essentiellement. Le titre hydrotimétrique de l'eau permet de quantifier la dureté de l'eau.

#### 1.10.1 Mesure du paramètre

- Agir en milieu neutre,  $\text{pH} = 6.7$  ou  $7$  ;

Une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium ;

La réaction se fait en présence de chromate de potassium (indicateur colorée) ;

En premier lieu l'ion d'argent réagit avec l'ion chlorure pour former le précipité blanc ( $\text{AgCl}$ ).

Ensuite l'ion d'argent réagit avec l'ion  $\text{CrO}_4^{2-}$  (chromate) pour former le précipité rouge brique  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  qui indique la fin de dosage.

Pour le calcul :  $V =$  volume de solution de nitrate d'argent avec les chlorures de sodium

$$\text{Concentration en chlorure (mgL}^{-1}) = (V - 0.2) \times 7.0906.$$

$$\text{Concentration en chlorure (mgL}^{-1}) \text{ CaCO}_3 = (V - 0.2) \times 10.$$

### 1.11 Le titre alcalimétrique

C'est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau.

#### 1.11.1 Mesure du paramètre

- Agiter délicatement le flacon de  $\text{HCl}$  0.02 N ;
- Remplir la burette avec  $\text{HCl}$  0.02 N ;
- Eliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet ;
- Agiter l'échantillon doucement ;

- A l'aide d'une fiole jaugée propre de 100 ml, introduire 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml ;

- Ajouter 1 goutte de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.1 N et 3 gouttes de phénolphaléine et puis mélanger.

- Si une coloration rose apparaît, alors commencer à verser HCL goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à décoloration complète.

- Noter le volume de burette «  $V_1$  ».

- S'il n'y a pas de coloration rose, alors «  $V_1=0$  ml »

- Ajouter 5 gouttes de Vert de Bromocrésol dans le même erlenmeyer et mélanger, (on obtient une coloration Bleue).

- Continuer à verser HCL goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à obtenir le début d'une coloration jaune.

Noter le volume de burette «  $V_2$  ».

Calculer TA et TAC de la manière suivante :

$$\text{TA}(\text{mgL}^{-1}\text{CaCO}_3) = V_1 \times 10$$

$$\text{TAC}(\text{mgL}^{-1}\text{CaCO}_3) = V_2 \times 10$$

### 1.12 Indice de Langelier de saturation (LSI)

Le LSI est une évaluation qualitative du potentiel de l'eau à précipiter le carbonate de calcium. Cet indice est basé sur la différence entre le pH du perméat inconditionné et le pH du perméat lorsqu'il est simplement saturé en carbonate de calcium. Un LSI négatif indique que l'eau est sous-saturée (c.-à-d. que le carbonate de calcium se dissout), tandis qu'un LSI positif peut indiquer que l'eau est sursaturée (c.-à-d. que le carbonate de calcium va précipiter).

## 2. Au laboratoire de SEAAL

Le tableau 4 regroupe les normes et méthodes de mesures des paramètres analysés au laboratoire de SEAAL.

## V. CONCLUSION

L'usine de dessalement de Fouka a une procédure très spécifique pour traiter l'eau salée pour qu'elle devienne potable en passant par de nombreuses étapes telles que le prétraitement de l'eau brute avant d'entrer dans l'unité d'osmose inverse, puis la reminéralisation en ajoutant de la chaux et du  $\text{CO}_2$  pour améliorer la qualité de l'eau à des fins de consommation. L'eau est ensuite analysée avant d'être distribuée.

Chapitre  
**3: CARACTÉRISATIONS  
PHYSICO-CHIMIQUES  
DES EAUX DE LA  
STATION DE FOUKA**

Chapitre 3:

## CARACTERISATIONS PHYSICO-CIMIQUES DES EAUX DE LA STATION DE FOUKA

### I. INTRODUCTION

Ce chapitre est dédié à la discussion des résultats des analyses des eaux brute et traitée et des saumures. Ces résultats concernent les données fournies par la station sur une période d'un an et ceux des analyses réalisées au laboratoire de SEAAL (Tableau 5).

**Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques  
de l'eau de mer réalisées au laboratoire de SEAAL.**

Paramètre	Unité	Eau traitée	Norme de potabilité
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	89	-
TA	°f	0	-
TAC	°f	7.28	50 <sup>**</sup>
Sulfates	mg L <sup>-1</sup>	14	400 <sup>**</sup>
Chlorures	mg L <sup>-1</sup>	187	500 <sup>**</sup>
Nitrates	mg L <sup>-1</sup>	<5	50 <sup>*</sup>
Sodium	mg L <sup>-1</sup>	108	200 <sup>**</sup>
Potassium	mg L <sup>-1</sup>	4.1	12 <sup>**</sup>
Calcium	mg L <sup>-1</sup>	21	200 <sup>**</sup>
Magnésium	mg L <sup>-1</sup>	4.6	50 <sup>***</sup>
TH	°f	7.1	20 <sup>**</sup>
Aluminium	mg L <sup>-1</sup>	<0.05	0.2 <sup>*</sup>
Arsenic	µg L <sup>-1</sup>	<2	10 <sup>*</sup>
Plomb	µg L <sup>-1</sup>	<2	10 <sup>*</sup>
Sélénium	µg L <sup>-1</sup>	<2	10 <sup>*</sup>
Zinc	mg L <sup>-1</sup>	0.03	5 <sup>*</sup>
Cuivre	mg L <sup>-1</sup>	0.004	2 <sup>*</sup>
Manganèse	µg L <sup>-1</sup>	10	50 <sup>*</sup>
Fer	mg L <sup>-1</sup>	0.06	0.3 <sup>*</sup>
Cadmium	µg L <sup>-1</sup>	<2	3 <sup>*</sup>
Antimoine	µg L <sup>-1</sup>	<2	20 <sup>*</sup>
Nickel	µg L <sup>-1</sup>	<2	70 <sup>*</sup>
Mercuré	µg/l	<0.4	6 <sup>*</sup>
Chrome	µg L <sup>-1</sup>	<2	50 <sup>*</sup>
Argent	µg L <sup>-1</sup>	<2	100 <sup>*</sup>

<b>Bore</b>	mg L <sup>-1</sup>	<2	1*
<b>Barium</b>	mg L <sup>-1</sup>	0.1	0.7*
<b>Cobalt</b>	µg L <sup>-1</sup>	0.1	-
<b>Molybdène</b>	µg L <sup>-1</sup>	<2	-
<b>Turbidité</b>	NTU	0.57	5*
<b>Ortho-phosphates</b>	mg L <sup>-1</sup>	<0.09	-
<b>pH</b>		8.26	6.5-9**
<b>Température</b>	°C	17.0	25**
<b>CE</b>	µS cm <sup>-1</sup>	816.0	2800**
<b>Nitrites</b>		0.03	<0.03
<b>Ammonium</b>	mg L <sup>-1</sup>	<0.03	0.5*

\*Valeurs limites (JORA 2011); \*\*Valeurs indicatives (JORA 2011); \*\*\* Norme OMS

## II. CARACTERISATION PHYSICO-CHEMIQUE DES EAUX DE MER

### A. Variation des paramètres organoleptiques

#### 1. Couleur

L'eau de mer n'a pas de couleur mais ce n'est pas une eau claire en raison de la présence de matières en suspension et colloïdales.

#### 2. Odeur

L'eau salée semble ne pas avoir d'odeur en soi, mais les organismes qui y vivent le font. Le sulfure de diméthyle, qui dégage une odeur viciée et sulfureuse, est produit par des micro-organismes lorsqu'ils métabolisent le phytoplancton mort.

#### 3. Gout

Le goût de l'eau de mer est salé et semble avoir une légère saveur de poisson.

### B. Variation des paramètres physico-chimiques

#### 1. Température

La figure 32 représente les variations des valeurs de la température de l'eau brute durant la période 2021. On y note une valeur minimale de 13.4 °C et une valeur maximale de 27.5°C avec une moyenne de 19.16 °C et un écart-type de 3.05. Les résultats obtenus montrent que la température varie en fonction des saisons: elles sont basses en hiver et élevées en été.

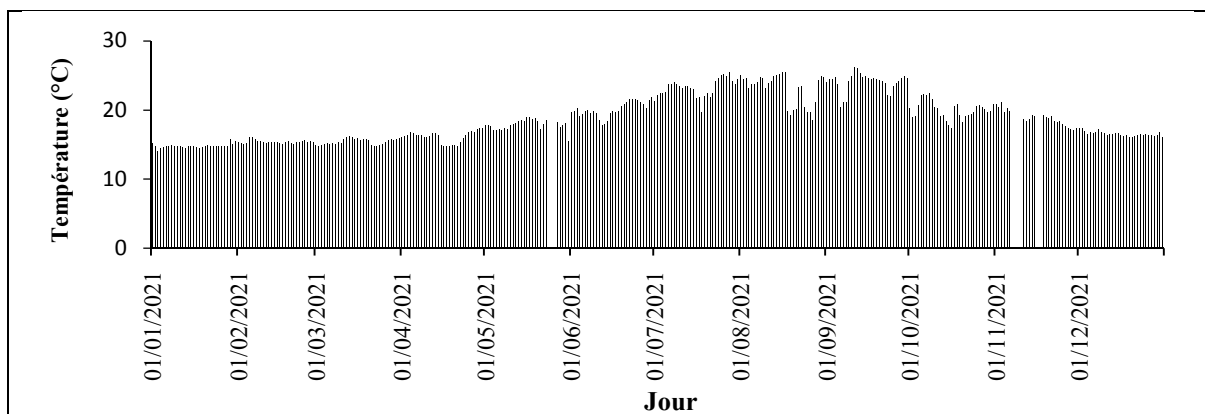


Figure 32 : Variations journalières de la température journalière de l'eau de mer.

## 2. Total des sels dissous (TDS)

La figure 33 montre les résultats obtenus des mesures de la TDS de l'eau de mer durant la période étudiée. Ils varient entre 38 et de 39.4 g L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 38.66 g L<sup>-1</sup> et un écart-type de 0.31 g L<sup>-1</sup>.

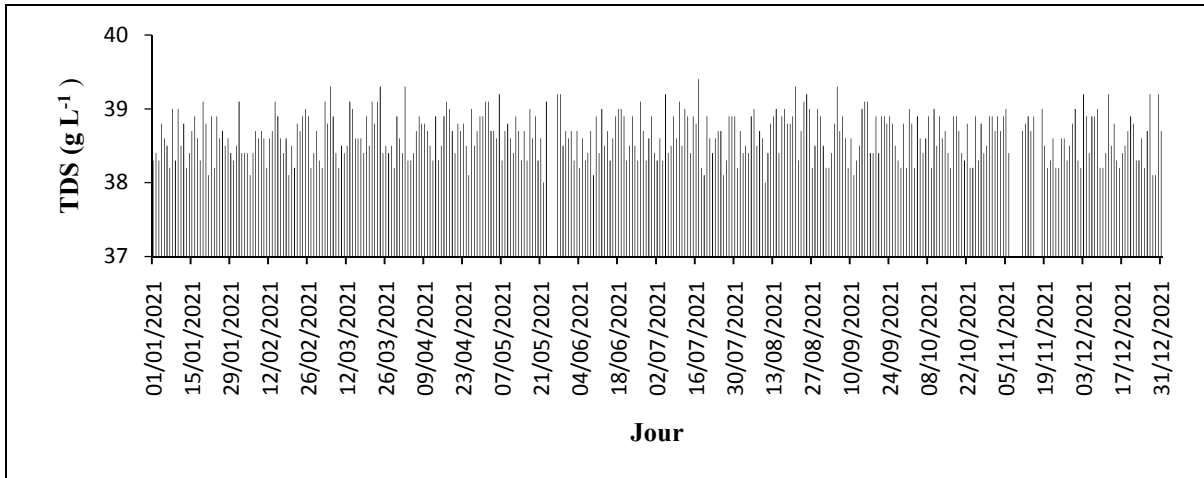


Figure 33 : Variations journalières de la TDS de l'eau de mer.

## 3. Matière en suspension (MES)

On observe dans la figure 34 que les valeurs de la matière en suspension varient entre 6 et 14.2 mg L<sup>-1</sup> (Moyenne : 9.93 mg L<sup>-1</sup> ; Ecart-type : 1.79 mg L<sup>-1</sup>) durant la période étudiée.

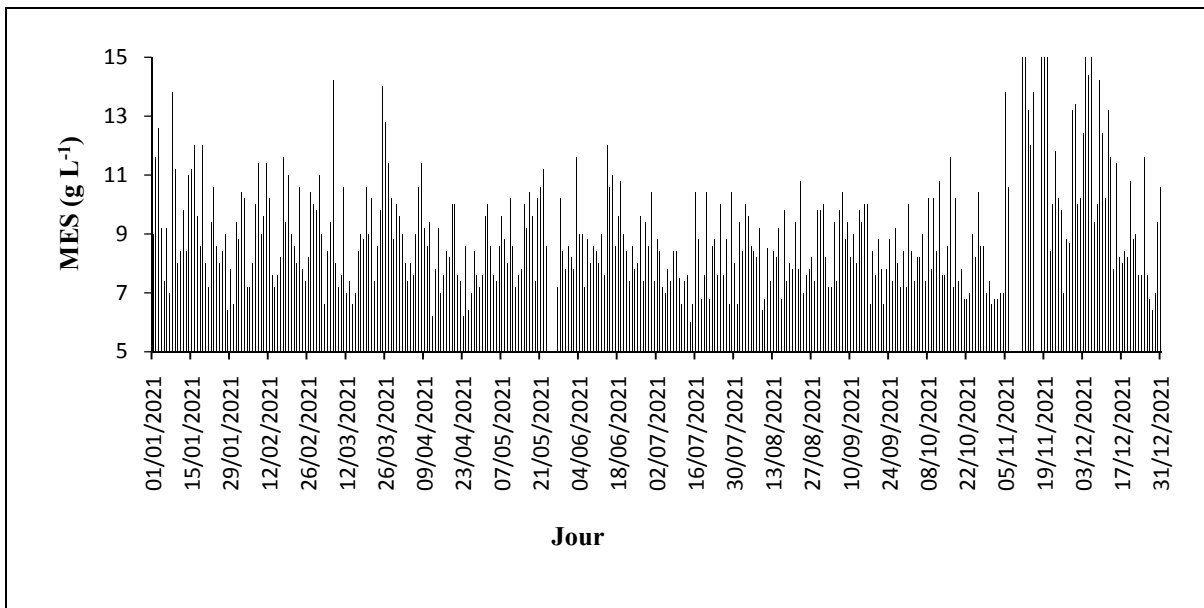
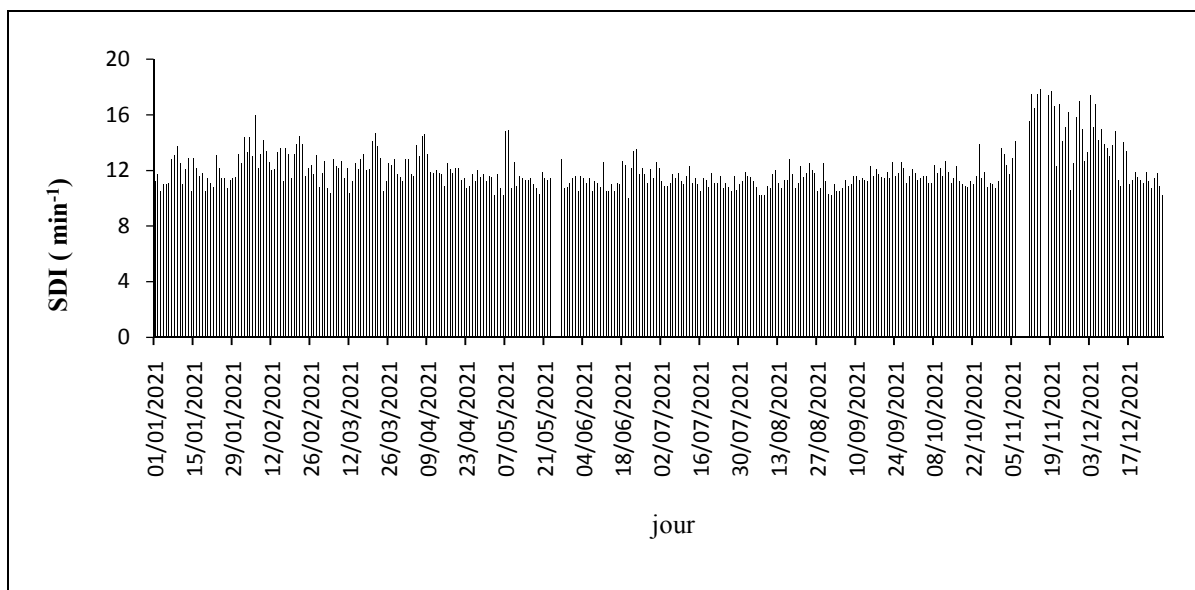


Figure 34 : Variations journalières de la matière en suspension de l'eau de mer.

## 4. Silt Density index (SDI)

Le SDI est mesuré pour déterminer le potentiel d'encrassement de l'eau brute. La figure 35 montre ses variations durant l'année 2021. Les valeurs enregistrées sont comprises entre 10 et 17.8 min<sup>-1</sup> avec une moyenne de 12.04 min<sup>-1</sup> et un écart-type de 1.46 min<sup>-1</sup>.



**Figure 35: Variations journalières du SDI de l'eau de mer.**

### III. CARACTERISATION PHYSICO-CHEMIQUE DES EAUX TRAITEES

#### A. Variations des paramètres organoleptiques

##### 1. Couleur

Les analyses effectuées dans la station de Fouka ont montré que l'eau traitée est incolore. Les mesures obtenues sont de 0 mg L<sup>-1</sup> Platine et sont inférieures à la valeur indicative du JORA qui est de 15 mg L<sup>-1</sup> Platine.

##### 2. Odeur

Après le traitement des eaux salées, l'eau devient inodore.

##### 3. Gout

L'eau traitée n'a pas de goût mais seulement un goût de javel qui est dû à la désinfection.

#### B. Variation des paramètres physico-chimiques

##### 1. Potentiel hydrogène (pH)

Les analyses réalisées au laboratoire de la station indiquent des valeurs du pH pour la période 2021 (Figure 36) variant entre 8.2 et 8.3 avec une moyenne est égale à 8.26 et un écart-type de 0.047. Si l'on se réfère aux normes de potabilité, les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne dont les valeurs minimale et maximale sont respectivement de 6.5 et 9.

##### 2. TDS

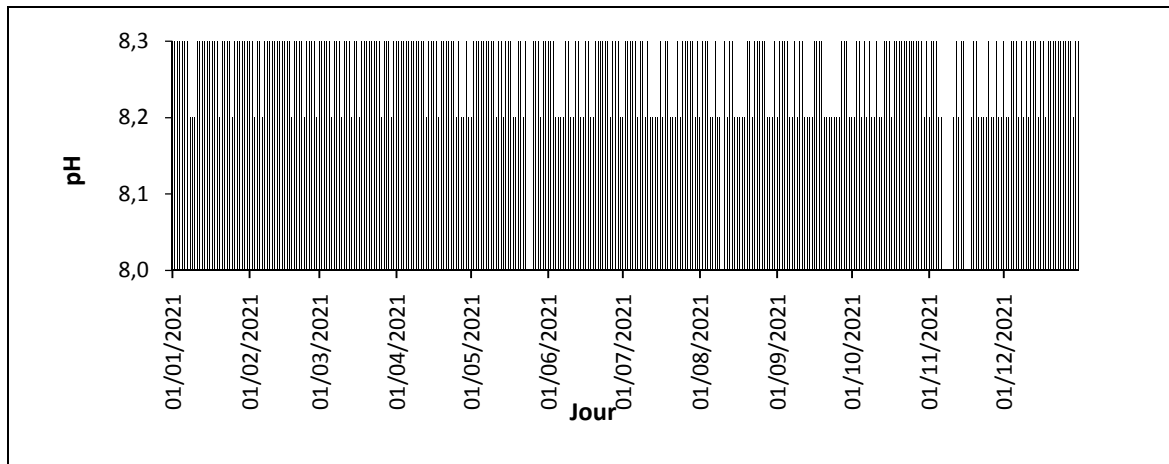
La figure 37 représentant les variations journalières de la TDS de l'eau traitée montre que les valeurs de cette dernière varient entre 312 et 716 mg L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 385.88 mg L<sup>-1</sup>. La quasi-totalité de ces valeurs est inférieure à la valeur guide des normes algériennes de potabilité qui est de 500 mg L<sup>-1</sup>.

##### 3. Dureté totale (TH)

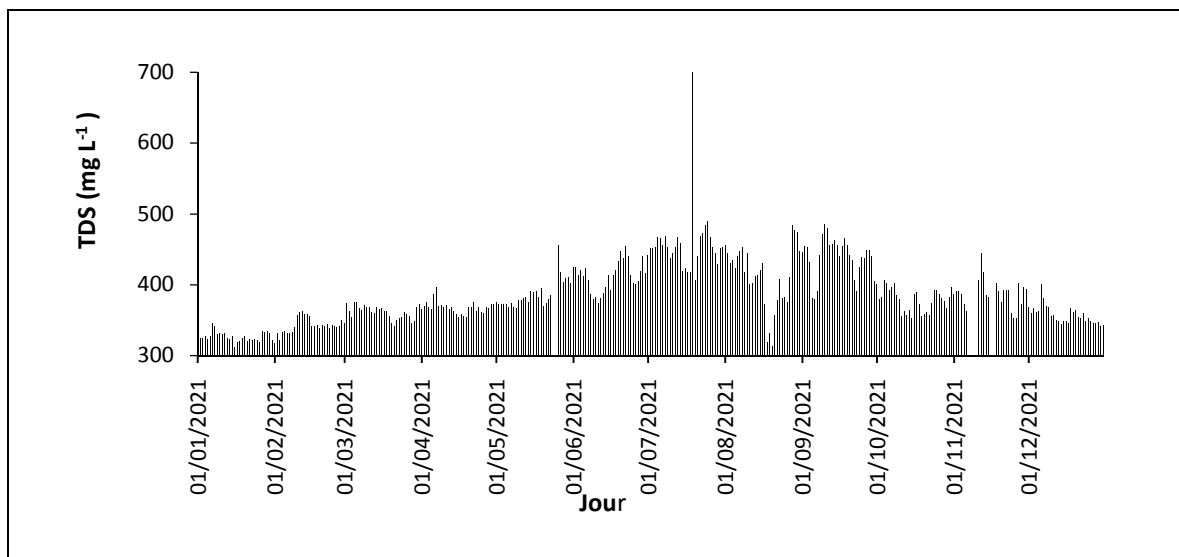
Les valeurs de la dureté de l'eau traitée de l'année 2021 (Figure 38) sont comprises entre 84 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>, avec une moyenne et un écart-type respectivement de 80.14 de



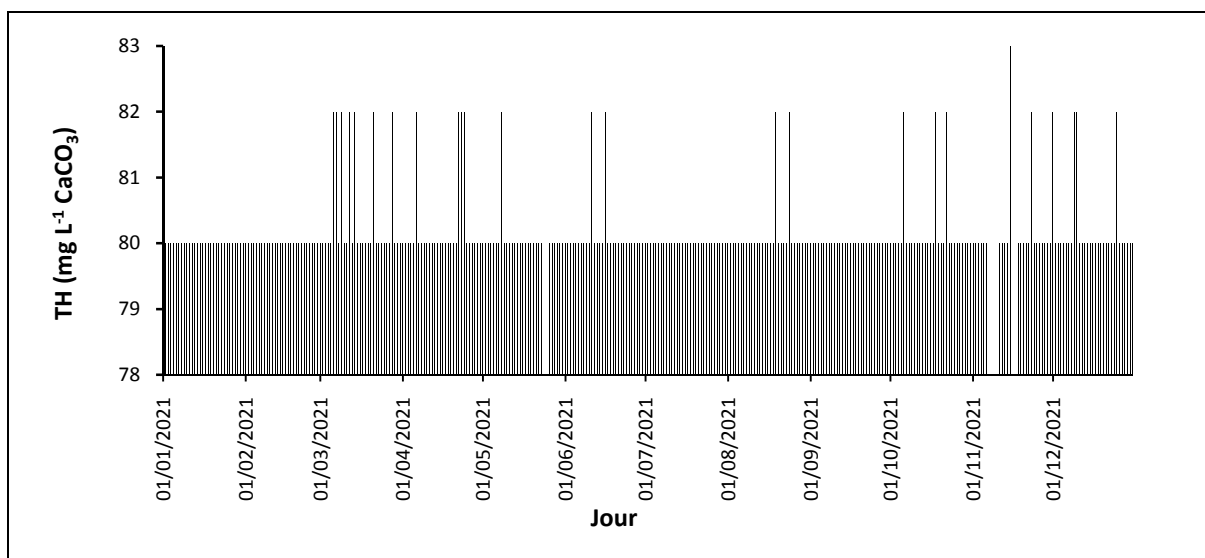
0.54 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>. Les valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible qui est de 200 mg L<sup>-1</sup> (JORA 2011).



**Figure 36 : Variations journalières du pH de l'eau traitée.**



**Figure 37 : Variations journalières de la TDS de l'eau traitée.**



**Figure 38 : Variations journalières de la dureté totale de l'eau traitée.**

#### 4. Alcalinité totale

La figure 39 comporte les enregistrements des mesures de l'alcalinité totale de l'eau destinée à la consommation. Elle indique des valeurs comprises entre 68 et 79  $\text{mg L}^{-1}$  avec une moyenne de 74.31  $\text{mg L}^{-1}$  et un écart-type 1.70  $\text{mg L}^{-1}$ . Toutes les valeurs enregistrées sont conformes à valeur limite préconisée par le JORA qui est de 500  $\text{mg L}^{-1}$ .

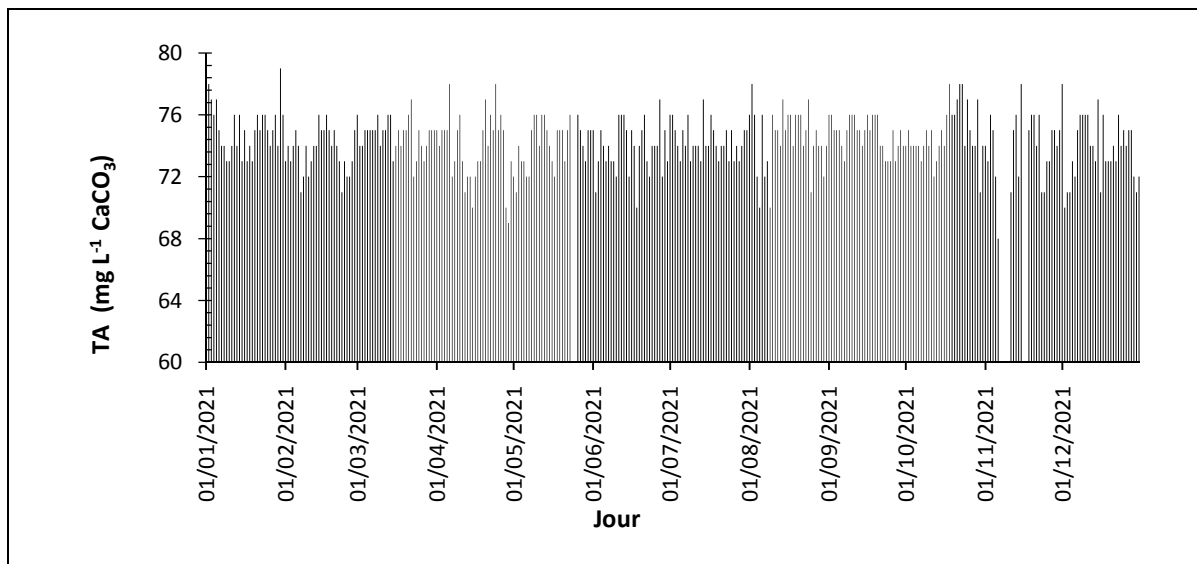


Figure 39 : Variations journalières de l'alcalinité totale de l'eau traitée.

#### 5. Chlore résiduel

La figure 40 montre l'évolution de la concentration en chlore résiduel durant l'année 2021. Cette dernière fluctue entre 0.51 et 0.64  $\text{mg L}^{-1}$  avec une moyenne de 0.55 et un écart-type de 0.020  $\text{mg L}^{-1}$ . Selon l'Organisation mondiale de la santé, lorsque la qualité de l'eau est bonne, ce paramètre ne présente aucun risque pour la santé humaine. Mais Des restrictions sont souhaitables. Certaines teneurs en chlore dans les eaux traitées dépassent la valeur guide recommandée par l'OMS qui est de 0.5  $\text{mg L}^{-1}$ .

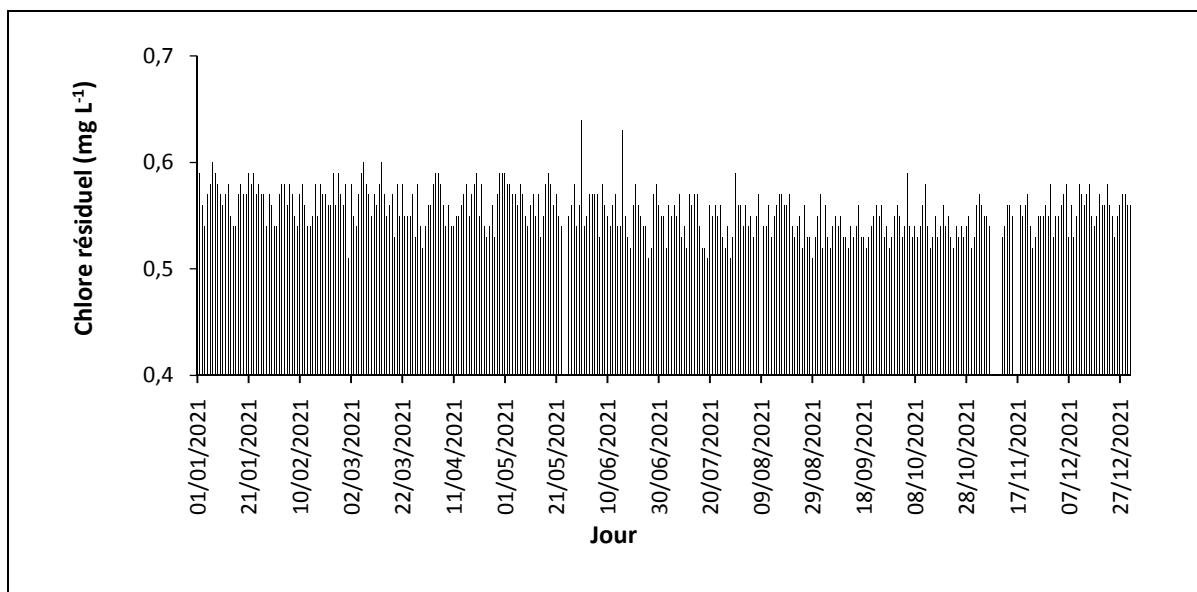


Figure 40 : Variations journalières du chlore résiduel d'eau traitée.

## 6. Indice de Langelier (Langelier saturation index LSI)

La figure 41 indique la variation journalière des valeurs de LSI durant l'année 2021; elles sont comprises entre 0.03 et 0.6 avec une moyenne de 0.12 et un écart-type de 0.047. Ces valeurs positives de LSI montrent que les eaux sont sursaturées et pourraient, de ce fait, conduire au colmatage des membranes.

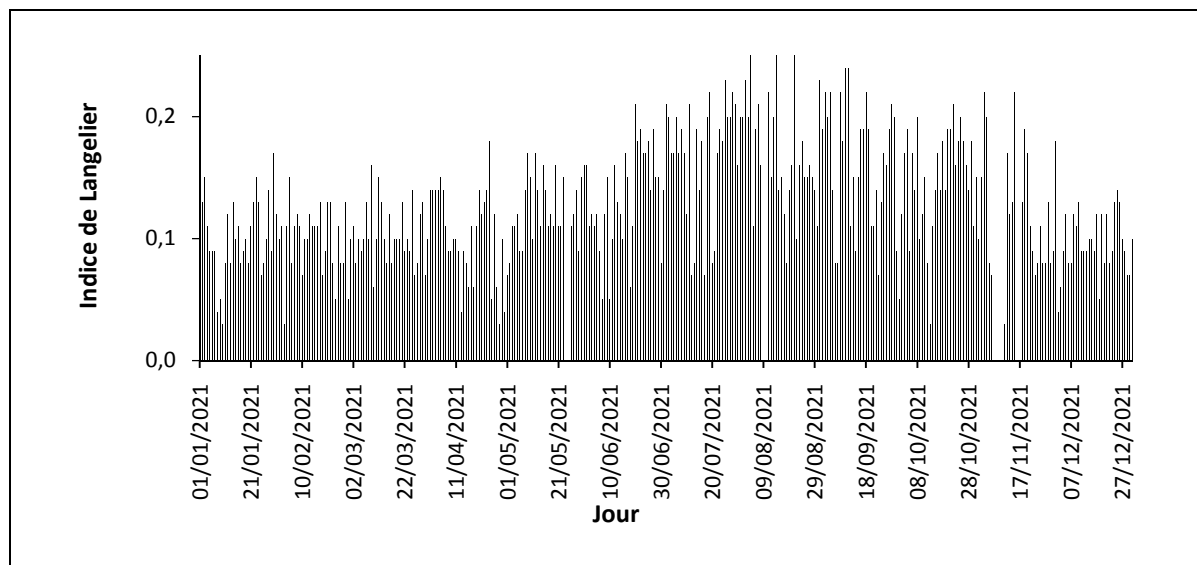


Figure 41: Variations journalières de l'indice de Langelier de l'eau traitée.

## 7. Calcium

Les valeurs de concentrations en calcium durant la période 2021 sont comprises entre 22.4 et 28.1 mg L<sup>-1</sup> (Figure 42) avec une moyenne de 24.20mg L<sup>-1</sup> et un écart-type de 1.37 mg L<sup>-1</sup>.

Ces teneurs restent inférieures à la valeur indicative des normes algériennes qui est de 200mg L<sup>-1</sup>.

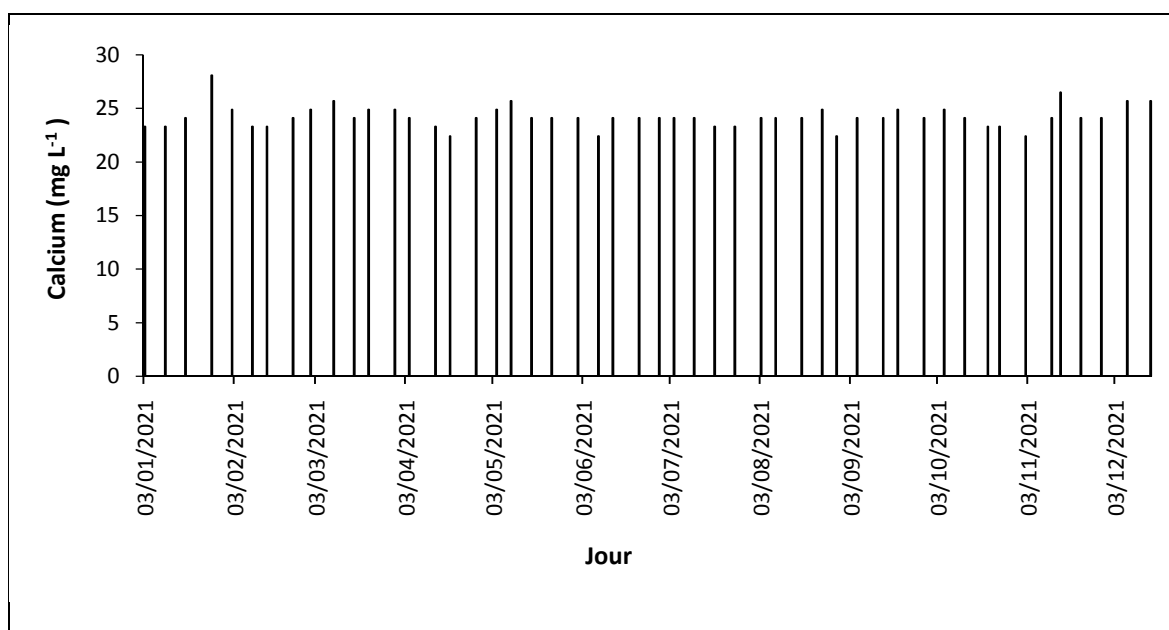


Figure 42: Variations des concentrations en calcium de l'eau traitée.

## 8. Magnésium

Les concentrations en magnésium en 2021 (Figure 43) sont comprises entre 3.4 et 6.3 mg L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 4.98 mg L<sup>-1</sup> et un écart-type de 0.66 mg L<sup>-1</sup>. Ces valeurs sont trop faibles par rapport à la valeur guide recommandée par l'OMS qui est de 50 mg L<sup>-1</sup>. Un manque en magnésium dans l'eau potable est capable d'engendrer plusieurs problèmes sanitaires pour les consommateurs comme des effets critiques pour des cœurs déjà atteints (cardiopathies) ou fonctionnant mal (arythmies) (De Zuane 1997).

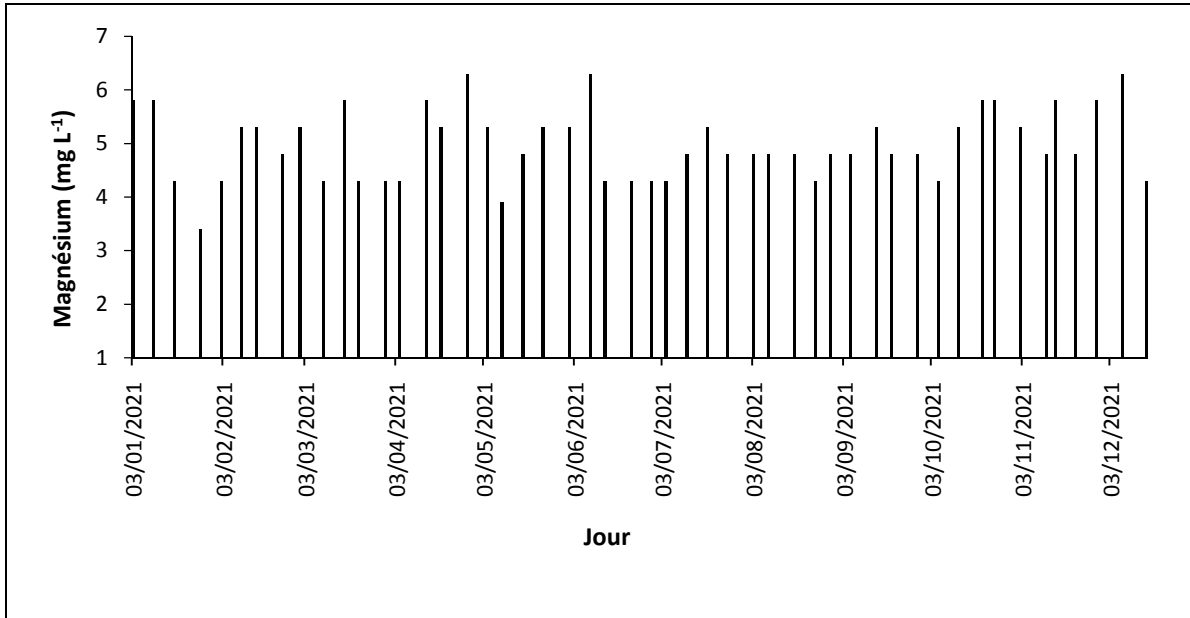


Figure 45 : Variations des concentrations en magnésium de l'eau traitée.

## 9. Chlorures

Les valeurs de concentrations en chlorures de l'année 2021 (Figure 44) sont comprises entre 158.1 mg L<sup>-1</sup> et 252.4 mg L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 229.6 mg L<sup>-1</sup> et un écart-type de 23.69 mg L<sup>-1</sup>. Ces valeurs sont conformes à la valeur guide des normes algériennes qui est de 500 mg L<sup>-1</sup>.

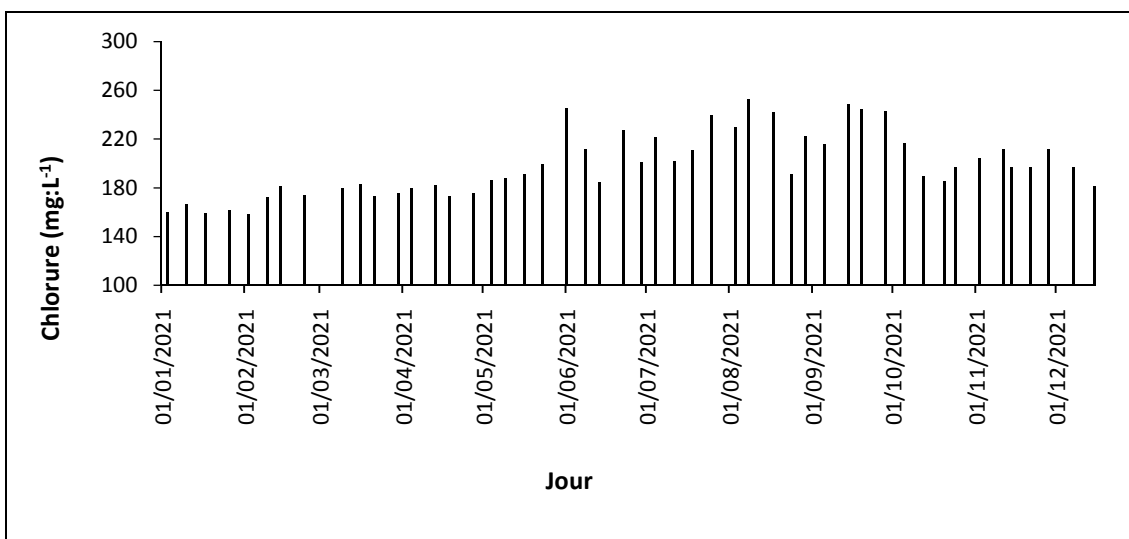


Figure 44: Variations des concentrations en chlorures de l'eau traitée.

## 10. Bore

Les résultats des analyses du bore pour les eaux traitées fluctuent entre 0.94 et 1.4 mg L<sup>-1</sup> (Figure 45) avec une moyenne de 1.11 et un écart-type de 0.16 mg L<sup>-1</sup>. Les concentrations de cet élément ont dépassé la valeur maximale admissible par le JORA qui est de 1 mg L<sup>-1</sup>.

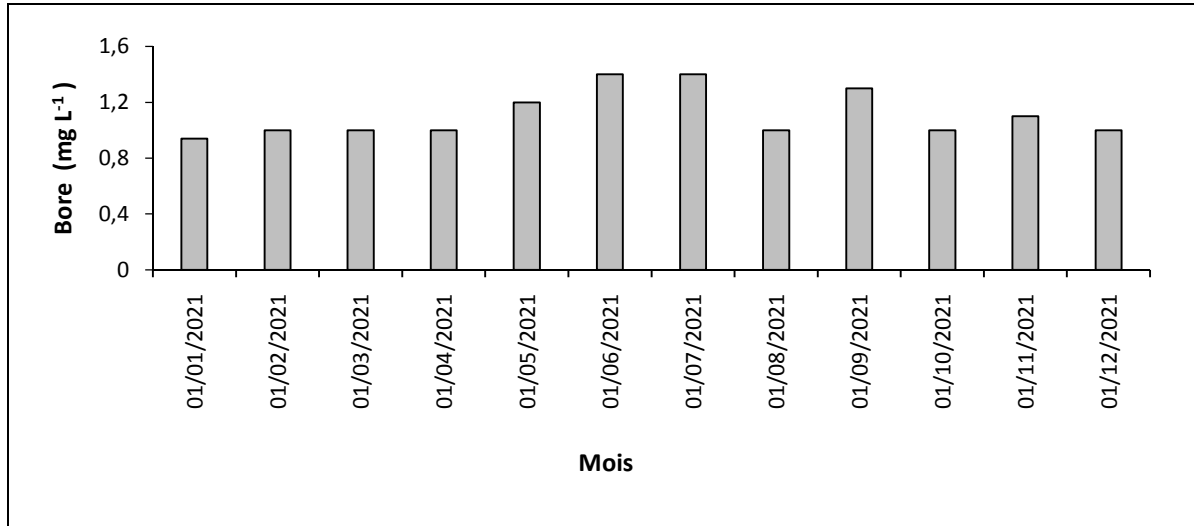


Figure 45: Variations mensuelles des concentrations du bore de l'eau traitée.

## 11. Teneurs en carbonates, bicarbonates et sulfates

Dans les eaux traitées, les teneurs en bicarbonates et sulfates sont respectivement de 89 et 14 mg L<sup>-1</sup>. La concentration en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> est largement inférieure à la valeur limite préconisée par le JORA.

## 12. Teneurs en nitrates, nitrites et ammonium

Les analyses réalisées au laboratoire de SEAAL indiquent des teneurs de nitrates inférieures à 5 et en nitrites et ammonium inférieures à 3. Ces concentrations sont inférieures aux valeurs limites indiquées dans le JORA et qui sont respectivement de 50, 0.2 et 0.3 mg L<sup>-1</sup> pour les nitrates, les nitrites et l'ammonium (Tableau 5).

## 13. Teneurs en métaux

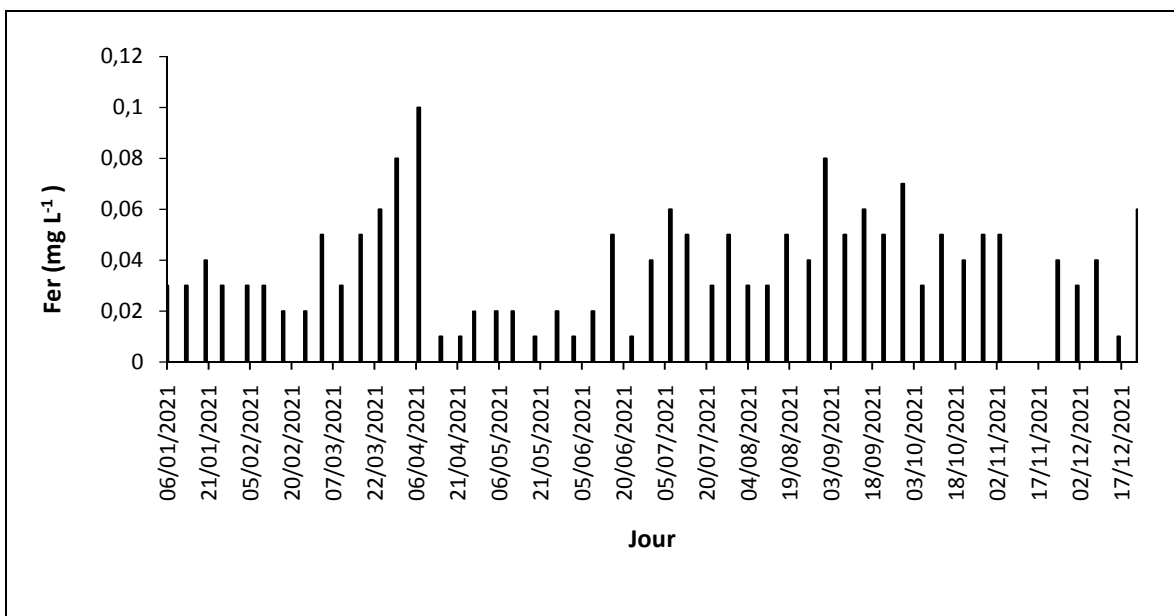
Les teneurs en métaux des eaux traitées sont conformes aux valeurs limites indiquées dans le journal officiel (Tableau 5).

## IV. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES SAUMURES

### A. Variations des paramètres physico-chimiques

#### 1. Fer

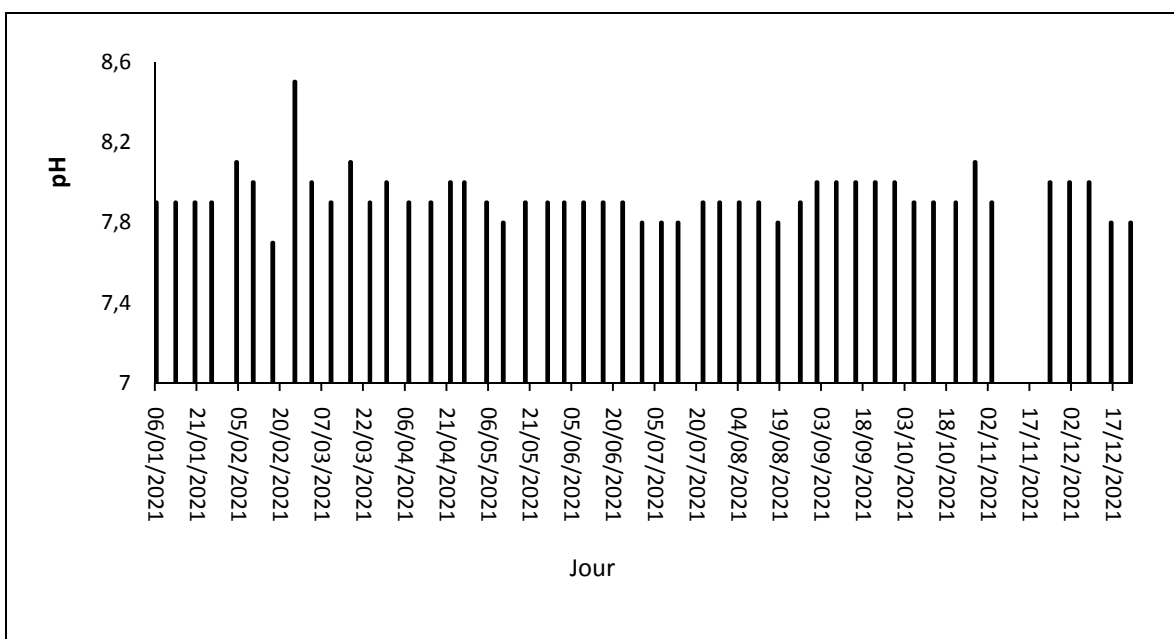
Les teneurs en fer des saumures (Figure 46) fluctuent entre 0.01 et 0.1 mg L<sup>-1</sup> avec une moyenne de 0.03 mg L<sup>-1</sup> et un écart-type de 0.02 mg L<sup>-1</sup>, ces valeurs restent conformes à la valeur contractuelle de la station qui est de 0.3 mg L<sup>-1</sup>.



**Figure 46: Contrôle du fer dans les saumures rejetées dans la mer.**

## 2. pH

Les valeurs du pH des saumures (Figure 49) déversées dans la mer sont, en 2021, comprises entre 7.7 et 8.5 avec une moyenne de 7.93 et un écart-type de 0.12. Elles sont conformes aux valeurs contractuelles de la station comprises entre 6.5 et 8.5.



**Figure 47: Contrôle du potentiel hydrogène dans les saumures rejetées dans la mer.**

## V. CONCLUSION

Dans ce chapitre, des résultats des analyses réalisées au sein du laboratoire de la station ont permis de suivre l'évolution de la qualité des eaux traitées à la station de Fouka. Il en ressort que les valeurs enregistrées sont, en général, conformes aux valeurs indicatives et valeurs limites préconisées par le JORA.

## CONCLUSION GENERALE

Le manque d'eau en Algérie a conduit à l'utilisation des eaux de mer pour couvrir les besoins en eau potable, en l'occurrence, ceux de la région de Zeralda et de la partie occidentale d'Alger. Le dessalement a démontré son efficacité dans le domaine de la production d'eau potable par le procédé d'osmose inverse qui est le processus le plus adopté dans le Monde.

Ce procédé consiste à éliminer les sels de l'eau afin de la rendre potable. L'eau brute subit un prétraitement permettant la protection des membranes et la réduction de leur colmatage avant de passer par l'osmose inverse. Cette eau osmosée (ou perméat) est soumise à un post-traitement (Eau traitée).

Les analyses des paramètres analysés aux laboratoires de l'usine de Fouka et à SEAAL ont permis de montrer que :

- L'eau traitée est inodore, incolore et insipide. Après désinfection, cette eau acquiert un arrière-gout dû à la désinfection par le chlore.

- Les valeurs du pH, comprises entre 8.2 et 8.3, sont conformes aux normes algériennes.

- Les résultats enregistrés pour la dureté, l'alcalinité sont inférieures aux valeurs indicatives du JORA.

- Les teneurs en ions calcium, magnésium et sulfates sont faibles. L'eau de boisson peut contribuer à l'ingestion de calcium et de magnésium qui peut être importante pour ceux dont l'apport en calcium et en magnésium est limité : un ajustement, en ces éléments, devrait être réalisé pour que la population puisse bénéficier d'une eau de bonne qualité.

- A l'encontre de ces derniers, les concentrations en chlorures sont assez importantes et restent inférieure à la valeur indicative préconisée par le JORA.

- Les concentrations en bore ont dépassé la valeur limite indiquée par le JORA qui est de  $1 \text{ mg L}^{-1}$ . Ces teneurs pourraient, à long terme, engendrer des problèmes de santé aux consommateurs.

- Les valeurs de l'indice de Langelier sont supérieures à 0 indiquant une sursaturation de l'eau traitée pouvant engendrer un colmatage des membranes.

- Les teneurs en nitrates et métaux sont inférieures aux valeurs limites indiquées dans le JORA et qui sont respectivement de 50, 0.2 et  $0.3 \text{ mg L}^{-1}$  pour les nitrates, les nitrites et l'ammonium (Tableau 5).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARZATE A (2008).** Procédés de séparation membranaire et leur application dans l'industrie alimentaire. Revue de littérature, Centre de recherche de développement et de transfert technologique acéricole inc., 56 p
- BENSALEMAM (2013).** Impact des stations de dessalement de l'eau de mer sur le littoral : Cas de la station Souk Tlata . Mémoire de master, Univ. Tlemcen.
- BESSENASSE M, KETTAB A, MOULA SA (2010).** Seawater desalination: Study of three coastal stations in Algiers region. Desalination 250 : 423–427.
- BOUROCHE A, LEBARS M (1994).** Techniques de séparation par membranes : vocabulaire français-anglais. INRA éditions, 62p
- BUROS O (1992).** Desalting technologies The ABCs of Desalting. 2<sup>nd</sup> ed., International Desalination Association, USA
- CONTRAT EPC (2005).** Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka. Rapport interne
- CORSIN P (2005).** Les pompes haute-pression adaptées aux usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances 265. <https://www.revue-ein.com/article/les-pompes-haute-pression-adaptees-aux-usines-de-dessalement-d-eau-de-mer-par-osmose-inverse>.
- COTRUVO J, VOUTCHKOV N, FAWELL J, PAYMENT P, CUNLIFFE D, LATTEMANN S (2010).** Desalination Technology health environmental impacts. CRC Press, 212p
- DE DARDEL FD (2015).** Echange d'ions Principes de base. Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires. Génie de la réaction chimique. doi:10.51257/a-v2-j2783
- DE ZUANE J (1997).** Handbook of Drinking Water Quality. 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & sons, INC, 565p.
- DOW LIQUID SEPARATIONS (2007).** Film Tec TM Reverse Osmosis Membranes: Technical Manual. The Dow chemical company.
- DRIOLI E, CRISCUOLI A, CURCIO E (2005).** Membrane Contactors: Fundamentals, Applications and Potentialities. 1<sup>st</sup> ed., Elsevier science.
- EL-DESSOUKY HT, ETTOUNEY HM (2002).** Fundamentals of salt water desalination. Elsevier Science, 670p.
- GOULD C (1995).** Treating industrial water with membrane. Separation & Filtration Systems, 9p
- JORA (2011).** Journal officiel de la République Algérienne N° 18



**LOEB S (1963).** Saline Water Conversion-II American chemical society 38: 117-132. doi:10.1021/ba-1963-0038.ch009

**LONSDALE H (1982).** The growth of membrane technology. Journal of membrane science 10: 81-181. doi:10.1016/S0376-7388(00)81408-8

**MANDRI Y (2011).** Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froid. génie des procédés. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon I, France.

**MAUREL A (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. 2<sup>e</sup> ed, Lavoisier.

**QASIM M, BADRELZAMAN M, DARWISH NN, DARWISH NA, HILAL N (2019).** Reverse osmosis desalination: a state-of-the-art review. Desalination 459: 59-104.

**RENAUDIN V (2003).** Le dessalement de l'eau de mer et des eaux. CNRS. <https://culturesciences.chimie.ens.fr>

**TAHRAOUI DOUMA N, KETTAB A, ABELALI M, BOUGHRARA F (2010).** Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténès Chlef. Impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique). Conférences Watmed 5, Lille, France.

**TSIOURTIS NX (2001).** Desalination and the environment. Desalination 141 : 223-236. doi:doi.org/10.1016/S0011-9164(01)85001-3

**USINE DE DESSALEMENT DE FOUKA-ALGERIE (S.D.).** Project Number: 0172543000-45ED-3- 0001\_R08 Acciona. Rapport inédit.

**WILLIAMS ME (2003).** A brief review on RO membrane technology: Developments and challenges. Company, EET Corporation and Williams Engineering Services: INC.

**WILSON J H. (1974).** Freeze crystallization of saline water with a direct contact refrigerant. United States, Patent N°3835658.

## **WEBOGRAPHIE**

<https://aec.dz/projects/usine-de-fouka>

<https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-a-plaques>

<https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-a-fibres-creuses>

<https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-a-fibres-creuses>

## LISTE DES FIGURES

	<b>Page</b>
Figure 1 : Schéma des étapes de dessalement.....	11
Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages.....	12
Figure 3 : Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)	13
Figure 4 : Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur.....	14
Figure 5: Osmose normal vs osmose inverse.....	15
Figure 6 : Module de membrane typique de la plaque et du cadre.....	16
Figure 7 : Module à membrane OI tubulaire.....	17
Figure 8 : Représentation schématique d'un module membranaire spiralé.....	17
Figure 9: Module enroulé en spirale montrant les feuilles de la membrane.....	17
Figure 10: Module de membrane à fibres creuses.....	18
Figure 11 : Localisation de la station de dessalement Fouka.....	21
Figure 12 : Conduite en PEHD fixé par une tête en béton.....	23
Figure 13 : Station de pompage d'eau brute.....	24
Figure 14 : Station de pompage.....	24
Figure 15 : Filtres à sable.....	25
Figure 16 : Filtres à cartouches.....	25
Figure 17: Unité d'osmose inverse (racks).....	26
Figure 18 : Pompe Haute Pression (HP) .....	27
Figure 19 : Système de récupération d'Energie.....	28
Figure 20 : Silos de chaux.....	29
Figure 21 : Saturateur de chaux.....	29
Figure 22: Station de production de CO <sub>2</sub> .....	29
Figure 23 : Station de pompage de l'eau traitée.....	30
Figure 24 : Laboratoire de la station.....	30
Figure 25 : Salle du contrôle.....	31
Figure 26 : réservoir d'effluents.....	31
Figure 27 : Prélèvements des échantillons dans la station dessalement Fouka.....	32

Figure 28 : Thermomètre.....	34
Figure 29 : pH mètre.....	34
Figure 30 : Conductivimètre.....	35
Figure 31: Turbidimètre.....	36
Figure 32: Variations journalières de la température de l'eau de mer.....	41
Figure 33 : Variations journalières de la TDS de l'eau de mer.....	42
Figure 34 : Variations journalières de la matière en suspension de l'eau de mer.....	42
Figure 35 : Variations journalières du SDI5 de l'eau de mer.....	43
Figure 36 : Variations journalières du pH de l'eau traitée .....	44
Figure 37 : Variations journalières de la TDS de l'eau traitée .....	44
Figure 38 : Variations journalières de la dureté totale de l'eau traitée .....	44
Figure 39 : Variations journalières de l'alcalinité totale de l'eau traitée.....	45
Figure 40 : Variations journalières du chlore résiduel d'eau traitée .....	45
Figure 41: Variation journalière de l'indice de Langelier de l'eau traitée .....	46
Figure 42 : Variations des concentrations en calcium de l'eau traitée.....	46
Figure 43 : Variations des concentrations en magnésium de l'eau traitée.....	47
Figure 44: Variations des concentrations en chlorures de l'eau traitée.....	47
Figure 45: Variations mensuelles des concentrations du bore de l'eau traitée .....	48
Figure 46: Contrôle du fer dans les saumures rejetées dans la mer .....	49
Figure 47: Contrôle du potentiel hydrogène dans les saumures rejetées dans la mer	49

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Composition typique de l'eau de mer avec une salinité de 36 000 ppm .....	9
Tableau 2 : Présentation de l'usine de Fouka .....	22
Tableau 3 : Capacité de la station de dessalement Fouka.....	27
Tableau 4 : Paramètres analysés et norme ou méthode d'analyse.....	33
Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée réalisés au laboratoire de SEAAL.....	40

# MEMOIRE DE MASTER

**Type de Master : Professionnel**

**Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers**

**Filière : Géologie**

**Spécialité : Géo-Ressources**

**Titre du mémoire : Caractérisation physico-chimique des eaux de la station de dessalement de Fouka (Tipaza, Algérie)**

**Auteurs : Fatima Zohra DAHMANI**

## Résumé

Le but de ce travail porte sur la caractérisation physico-chimique des eaux de la station de dessalement Fouka sise à Tipaza (Algérie). Cette unité de dessalement utilise le processus d'osmose inverse (OI) pour la production d'eau potable destinée à la consommation humaine.

A cet effet, plusieurs analyses ont été réalisées aux laboratoires de la station de Fouka et de la société des eaux et d'assainissement d'Alger (SEAAL).

Ces analyses ont porté, entre autres, sur le pH, la conductivité (CE), la température, la dureté totale (TH), l'alcalinité, les cations et anions, le bore et les métaux.

Concernant l'eau traitée, les résultats obtenus indiquent que la majorité des paramètres analysés sont conformes aux normes du Journal Officiel de la République algérienne, à l'exception du bore dont la majorité des teneurs excèdent la valeur limite de  $1\text{mg L}^{-1}$ .

Aussi, il est noté de faibles concentrations en calcium ( $22.4 - 28.1\text{ mg L}^{-1}$ ), en magnésium ( $3.4 - 6.3\text{ mg L}^{-1}$ ) et en sulfates ( $7.68\text{ mg L}^{-1}$ ).

Les valeurs de l'indice de Langelier, supérieures à zéro, indiquent que les eaux sont sursaturées et pourraient, de ce fait, conduire au colmatage des membranes.

**Mots clés :** Dessalement, RO, Fouka, Eau de mer, Eau traitée, Qualité, JORA.