

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

N° d'ordre :

**UNIVERSITE ABOUBEKR 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**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du

Diplôme d'ingénieur d'Etat

Option

Hydrogéologie

Présenté par :

AGGAB Chahrazed

**CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA
STATION DE DESSALEMENT DE SOUK TLETA (NW, ALGERIE).**

Soutenu le 26 février 2014 devant les membres du jury :

**TABET HELLAL A.
HADJI F.
BABA-HAMED K.
YEBDRI L.
HACHEMAOUI A.**

**Président (Université de Tlemcen)
Encadreur (Université de Tlemcen)
Examineur (Université de Tlemcen)
Examineur (Université de Tlemcen)
Invité (Société Hyflux)**

DÉDICACES

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

A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour,

A mes deux frères Mohamed et Abdelkader et à ma sœur Imane,

A mes grands parents,

A mes tantes et à mes oncles,

A chaque cousin et cousine,

A toute ma famille,

A tous mes enseignants pour leurs efforts et conseils,

A tous mes amis et collègues,

A tous les membres de la station de dessalement d'eau de mer de Souk Tleta,

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

REMERCIEMENTS

En préambule à ce travail, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et leur soutien et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude.

Mes premiers remerciements s'adressent 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 aidé et m'ont fourni tous les moyens pour poursuivre mon chemin.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur M^{me} HADJI F., d'avoir accepté de diriger ce travail. Je la remercie des efforts qu'elle a ménagés pour l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury :

- Mr TABET HELLAL A., pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider ce jury ;
- Mme BABA-HAMED K. et Melle YEBDRI L. pour avoir accepté d'examiner ce travail ;
- Mr HACHEMAOUI A., pour son encadrement durant mon stage et pour avoir répondu favorablement à notre invitation.

Qu'ils trouvent ici l'expression de toute ma gratitude pour leur lecture attentive et leurs remarques qui me permettront de clarifier plusieurs points importants dans ce mémoire.

Je remercie tous les enseignants qui ont fait de leur mieux et donné leur meilleur pour assurer ma bonne formation.

Mes vifs remerciements s'adressent aux responsables et au personnel de la station de dessalement d'eau de mer de Souk Tleta, avec qui j'ai eu un grand plaisir de travailler.

En fin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce modeste travail.

RESUME

L'objectif de cette étude concerne l'évaluation des paramètres physiques et chimiques de l'eau de mer dessalée produite à la station de dessalement de Souk Tleta qui utilise le processus d'osmose inverse (RO). Différents échantillons d'eau ont été prélevés. Ils concernent l'eau brute et l'eau dessalée traitée.

Les concentrations de l'eau post-traitée en certains éléments restent conformes aux normes algériennes et à celles de l'OMS. Cependant, celles des ions magnésium, calcium, potassium et sulfates ont permis la mise en évidence de certaines carences en ces éléments qui pourraient à l'avenir causer des problèmes de santé chez le consommateur.

Les concentrations en bore, comprises entre 1,12 et 1,22 mg/L, dépassent la valeur maximale admissible recommandée par l'OMS qui est de 1 mg/L.

Mots clés : Dessalement, RO, Souk Tleta, Eau de mer, Eau traitée, Qualité, Normes

ABSTRACT

The objective of this study concerns the evaluation of the physical and chemical parameters of the desalinated seawater produced in Souk Tleta desalination plant using Reverse Osmosis (RO) process. Different water samples were taken from raw water and desalinated water after post-treatment.

The element concentrations of the post-treated water remain, in general, consistent with the Algerian and the WHO standards however magnesium, calcium, potassium and sulfate ions allowed the identification of deficiencies of these elements that could cause problems consumer health.

The boron concentration of between 1.12 and 1.22 mg / L, exceed the WHO recommended maximum permissible value which is 1 mg / L.

Keywords: Desalination, RO, Souk Tleta, Seawater, Treated water, Quality Standards.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه المعالجة بمحطة تحلية مياه البحر سوق الثلاثاء باستخدام عملية التناضح العكسي. تم جمع عينات مختلفة من الماء تتمثل في ماء البحر والماء المعالج المحلي. تركيزات الماء المعالج بالنسبة لبعض العناصر تظل مطابقة للمعايير الجزائرية ولتلك المتعلقة بمنظمة الصحة العالمية. ومع ذلك، تركيزات كل من المغنيزيوم، الكالسيوم، البوتاسيوم والكبريتات سمحت بتحديد بعض النقصان في هذه العناصر التي يمكن أن تسبب مشاكل صحية للمستهلكين في المستقبل. تركيزات عنصر البورون المحصورة ما بين 1.12 و 1.22 ملغ / لتر، تتجاوز الحد الأقصى للقيمة المضبوطة من طرف منظمة الصحة العالمية والمتمثلة في 1 ملغ / لتر.

الكلمات الرئيسية: تحلية المياه، التناضح العكسي، سوق الثلاثاء، ماء البحر، الماء المعالج، جودة، معايير.

TABLE DES MATIERES

	Page
Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Table des matières	
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités	
I. L'eau de mer.....	2
II. L'eau saumâtre.....	2
III. L'eau potable.....	2
IV. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation.....	3
V. Définition du dessalement de l'eau de mer.....	3
VI. Etapes du dessalement	3
VI. 1. La prise de l'eau de mer.....	4
VI. 2. Le prétraitement	4
VI. 3. Installations du dessalement	4
VI. 3.1. Procédés de distillation	4
VI. 3.2. Procédés membranaires	6
VI. 3.2.1. Électrodialyse	6
VI. 3.2.2. Osmose inverse	7
VI. 3.3. Autres procédés de dessalement.....	11
VI. 4. Le post-traitement.....	12
VI. 4.1. L'ajustement du pH.....	13
VI. 4.2. La chloration	13
VII. Conclusion.....	13
Chapitre II : Description de la station de dessalement d'eau de mer de Souk Tleta	
I. Introduction.....	14
II. Situation géographique	14
III. Présentation de la station de dessalement de Souk Tleta	14
IV. Description du procédé de la station	14
IV. 1. Prise d'eau de mer.....	16
IV. 2. La filtration mécanique	16
IV. 3. La chloration	16
IV. 4. Station de pompage d'eau de mer.....	16
IV. 5. Premier dosage de SMBS.....	17
IV. 6. Le système d'ultrafiltration (UF)	17
IV. 7. Deuxième dosage de SMBS.....	19
IV. 8. La technique d'osmose inverse (RO).....	19

IV. 8.1. Description de la technique	19
IV. 8.2. Système de dosage anticalcaire	20
IV. 8.3. Station de pompage de RO.....	20
IV. 8.4. Trains d'osmose inverse	21
IV. 8.5. Système de récupération d'énergie	21
IV. 8.6. Le système CIP (Clean-In-Place)	21
IV. 9. Post-traitement	22
IV. 9.1. Dosage du chlore.....	22
IV. 9.2. Dosage de dioxyde de carbone et de la chaux.....	22
IV. 10. Réservoir de stockage d'eau filtrée	24
IV. 11. Station de pompage d'eau traitée.....	24
IV. 12. Fosse de neutralisation	24
IV. 13. Exutoire.....	24
V. Conclusion.....	24

Chapitre III : Matériels et méthodes

I. Introduction	25
II. Prélèvements des échantillons	25
II. 1. Sites de prélèvements étudiés	25
II. 2. Mode de prélèvement	25
II. 3. Transport du prélèvement	26
III. Analyses organoleptiques	26
III. 1. Couleur de l'eau	26
III. 2. Odeur de l'eau	26
III. 3. Goût et saveur de l'eau	26
III. 4. Turbidité de l'eau	27
IV. Analyses physicochimiques.....	27
IV. 1. Température.....	27
IV. 2. Le potentiel Hydrogène	28
IV. 3. Conductivité électrique EC	28
IV. 4. Alcalinité totale, TAC et TA	29
IV. 5. Dureté totale TH	29
IV. 6. Total de solides dissous (TDS).....	30
IV. 7. Total de solides en suspension (TSS)	30
IV. 8. Chlore libre Cl ₂	30
IV. 9. Ions majeurs.....	31
IV. 9.1. Cations majeurs	31
IV. 9.2. Anions majeur.....	32
IV. 10. Bore B.....	34
IV. 11. Indice de saturation ou indice de Langelier LSI.....	34
V. Conclusion	35

Chapitre IV : Interprétation des résultats

I. Introduction.....	36
II. Eau de mer.....	36
II. 1. Variation des paramètres organoleptiques	36
II. 1.1. Couleur	36

II. 1.2. Odeur	36
II. 1.3. Gout	36
II. 1.4. Variation de la turbidité	36
II. 2. Variation des paramètres physico-chimiques	36
II. 2.1. Température	36
II. 2.2. Potentiel d'hydrogène	37
II. 2.3. Conductivité électrique	37
II. 2.4. Total de solides en suspension	37
II. 2.5. Potentiel d'oxydoréduction	37
III. Eau traitée.....	41
III. 1. Variation des paramètres organoleptiques	41
III. 1.1. Couleur.....	41
III. 1.2. Odeur.....	41
III. 1.3. Gout.....	41
III. 1.4. Turbidité	41
III. 2. Variation des paramètres physico-chimiques	41
III. 2.1. Température	41
III. 2.2. Potentiel d'hydrogène	43
III. 2.3. Conductivité électrique	43
III. 2.4. Chlore libre.....	43
III. 2.5. Alcalinité totale, Bicarbonates et Carbonates	46
III. 2.6. Dureté total (TH°), Calcium et Magnésium	48
III. 2.7. Sodium	50
III. 2.8. Potassium	50
III. 2.9. Total de solides dissous.....	50
III. 2.10. Bore.....	50
III. 2.11. Chlorures, sulfates, nitrates et nitrites	51
III. 3. Indice de Langelier.....	51
IV. Conclusion.....	54
Conclusion générale	55
Références Bibliographiques.....	57
Annexes	
Liste des tableaux	
Liste des figures	

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est partout autour de nous. Plus de 65% du corps humain en est constitué et sans elle, nous ne pourrions vivre.

L'eau douce est la seule ressource d'eau naturelle directement consommée par l'homme. Mais cette dernière ne constitue que 3% de l'eau planétaire. De nos jours, on vient à en manquer, les réserves s'épuisent et les nappes encore disponibles sont extrêmement mal réparties.

Dans le but de satisfaire les besoins en eau potable, une solution des plus logiques s'impose d'elle-même. Elle concerne le dessalement des eaux salées présentes dans les mers et océans et qui représentent 97% des eaux à la surface du globe terrestre.

L'Algérie pays semi-aride, voire même aride (200 à 400 mm de pluie par an), dispose de ressources en eau faibles. Pour faire face à cette pénurie d'eau, surtout dans les grands centres urbains où les ressources conventionnelles ne suffisent plus, la technique du dessalement de l'eau de mer a été mise en place en Algérie pour satisfaire les besoins de la population croissante.

Pour pallier aux besoins en eau potable, la station de dessalement de Souk Tleta, d'une capacité de 200 000 m³/j, a été implantée dans le Nord-Ouest algérien afin de desservir en eau potable les habitants des communes avoisinantes.

Dans ce contexte, nous avons mené une étude des caractéristiques physiques et chimiques des eaux brutes et des eaux traitées de la station suscitée.

Ce travail a pour objet l'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la station de dessalement d'eau de mer de Souk Tleta. Il comporte les chapitres suivants :

- Le premier dans lequel sera donnée une idée sur le dessalement ;
- Le second concernera la description de la station de dessalement de Souk Tleta ;
- Le troisième chapitre, sera consacré aux méthodes et matériels utilisés pour analyser l'eau.
- Et enfin, le dernier chapitre portera sur l'interprétation des résultats acquis.

Premier chapitre :

Généralités

Les eaux pouvant être concernées par le dessalement peuvent être les eaux saumâtres et les eaux salées (eaux de mer).

I. L'eau de mer

Les eaux de mer contiennent des substances dissoutes (sels) dont les ions majeurs sont principalement Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- et HCO_3^- . D'autres ions y sont présents à de plus faibles concentrations. Le tableau 1 montre la composition typique d'une eau de mer dont la salinité est de 36 g/L.

En sus, les eaux de mer renferment une large variété de matière en suspension (Sables, Argiles, Microorganismes, Virus, Matière colloïdale) (El-Dessouky et Ettouney, 2002).

Tab. 1: Composition des eaux de mer.

Composition typique d'eau de mer ayant une salinité de 36 000 ppm			
Composé	Formule chimique	Pourcentage massique	ppm
Chlore	Cl^-	55,03	19810,8
Sodium	Na^+	30,61	11019,6
Sulfate	SO_4^{2-}	7,68	2764,8
Magnésium	Mg^{2+}	3,69	1328,4
Calcium	Ca^{2+}	1,16	417,6
Potassium	K^+	1,16	417,6
Carbonates	CO_3^{2-}	0,41	147,6
Brome	Br^-	0,19	68,4
Acide borique	H_3BO_3^-	0,07	25,2
Strontium	Sr^{2+}	0,04	14,4
Total		100	36000

II. L'eau saumâtre

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Les eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en traversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl (Tata-Ducru, 2009).

III. L'eau potable

L'eau potable, étymologiquement, est une eau douce qui peut être bue. Mais dans son sens moderne, toute eau douce n'est pas forcément potable. Elle doit être limpide, pure, dépourvue d'odeurs, de substances toxiques, de microbes et virus pathogènes. Des normes fixées par certaines organisations permettent de déterminer si une eau est légalement potable (Albouy, 2008).

IV. Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation

Les normes s'appuient en général sur les travaux établissant les concentrations maximales admissibles (CMA), c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'un individu peut absorber sans danger quotidiennement tout au long de sa vie.

Sur cette base, on calcule la quantité maximale pouvant être apportée par l'eau, en prenant une marge de sécurité confortable. Tout dépassement des normes ne comporte pas nécessairement un risque pour la consommation. Elles ont été fixées avec beaucoup de prudence, de telle sorte qu'un individu de 70 kg peut consommer sans danger 2 L/jour d'eau contaminée à ces teneurs pendant 70 ans. Il n'en demeure pas moins souhaitable de maintenir au plus bas les concentrations de ces produits dans l'eau de boisson (Maurel, 2006).

V. Définition du dessalement de l'eau de mer

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée par l'élimination des sels entrant dans sa constitution.

VI. Etapes du dessalement

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 4 postes (Fig.1):

- la prise d'eau de mer ;
- le prétraitement ;
- l'installation de dessalement proprement dite ;
- le post-traitement.

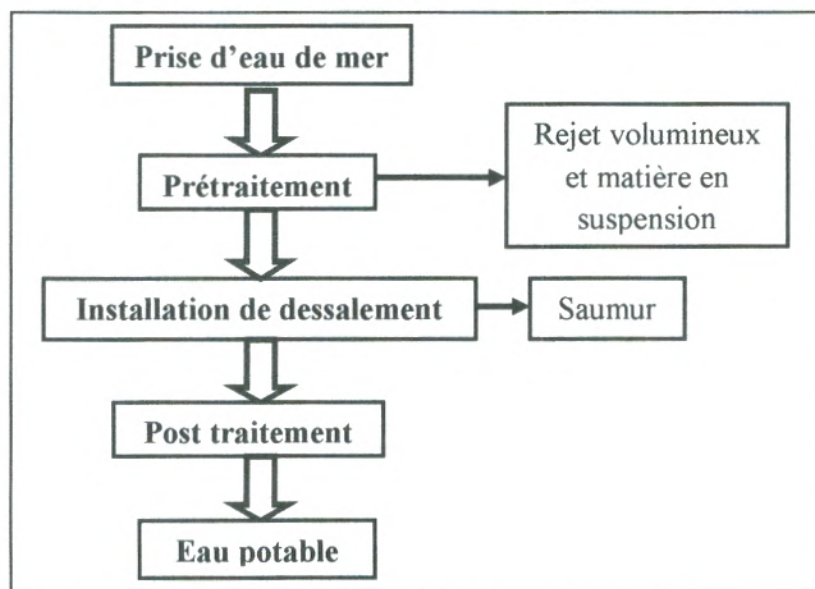


Fig. 1 : Schéma représentant les étapes principales de dessalement d'eau de mer.

VI. 1. La prise de l'eau de mer

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une eau de meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matière en suspension. Deux technologies peuvent être utilisées :

- **Les forages côtiers** : soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettent d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stable.
- **La prise d'eau de surface** : peut 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).

VI. 2. Le prétraitement

L'objectif des divers moyens mis en œuvre dans le prétraitement de l'eau de mer est de retenir les particules en suspension. Ceci est réalisable par les procédés de la sédimentation (particules solides) et de la décantation (particules liquides) et/ou par la mise en place d'un système de filtration. Cette dernière s'opère par le passage de l'eau à travers un tamis métallique ou une matière poreuse (Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole, 1993).

On distingue les types de filtration suivants:

- la filtration directe par des filtres à sable ;
- la filtration directe au moyen des filtres à anthracite ;
- la microfiltration avec des filtres à cartouches ;
- l'ultrafiltration avec des modules d'UF.

VI. 3. Installations du dessalement

On distingue plusieurs types de procédés (ou installations) de dessalement, répartis principalement en deux groupes : procédés de distillation et procédés membranaires.

VI. 3.1. Procédés de distillation

L'eau de mer chauffée produit de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau pure.

VI. 3.1.1. Distillation à simple effet

Son principe est simple (Fig. 2). Il reproduit le cycle naturel de l'eau :

- Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer ;
- La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté pas de l'eau de mer froide ;

- Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième, l'eau de mer concentrée (Tata Ducru, 2009).

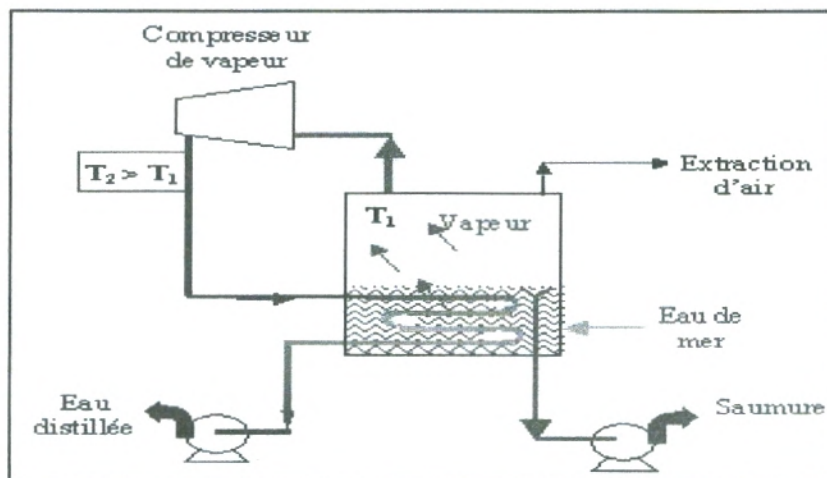


Fig. 2 : Procédé de distillation à simple effet (Bensalem, 2012).

VI. 3.1.2. Distillation à multiples effets (Fig. 3)

Il est apparu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur simple effet. On sait en effet, que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faible et ainsi de suite (Maurel, 2006).

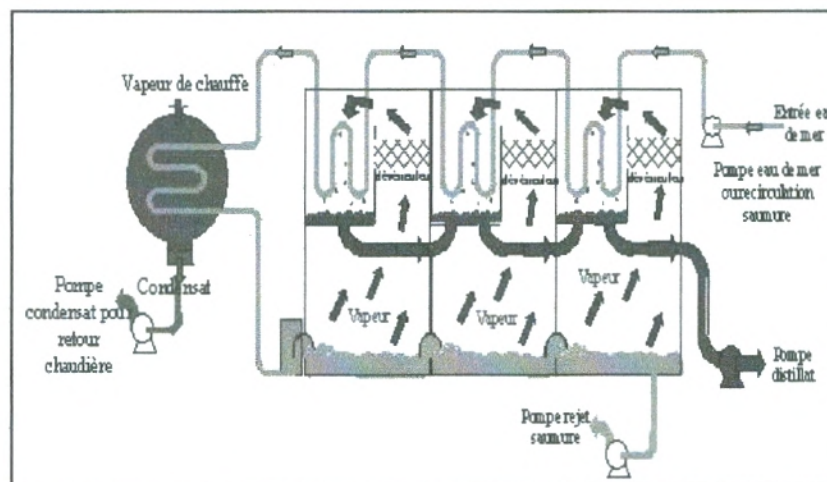


Fig. 3 : Procédé de distillation à multiples effets (Bensalem, 2012).

VI. 3.1.3. Distillation avec compresseur de vapeur

Si l'on ne dispose pas de source de chaleur à basse température, on utilise la recompression de vapeur, en installant un appareil qui aspire la vapeur produite dans le dernier effet d'un évaporateur à effets multiples et qui la recomprime pour alimenter le faisceau de chauffe de l'effet le plus chaud (Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole, 1993).

VI. 3.1.4. Distillation par détente successives ou procédé Flash

Dans l'évaporation Flash, l'eau chauffée est introduite dans une chambre à l'intérieur de laquelle règne une pression plus faible que la pression de saturation de l'eau admise. Il en résulte une vaporisation immédiate. L'eau se condense sur des tubes parcourus par la circulation d'eau de refroidissement et l'eau douce est recueillie en dessous d'un faisceau tubulaire (Chikhaoui, 2010).

Ces procédés de distillation ne nécessitent pas de prétraitement de l'eau de mer ; une filtration classique et une chloration pour éviter la prolifération d'organismes marins sont généralement suffisantes.

VI. 3.2. Procédés membranaires

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés : ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

VI. 3.2.1. Électrodialyse

L'électrodialyse (Fig. 4) fonctionne sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques de l'électrodialyse sont : la dialyse et l'électro-désionisation.

On distingue trois types d'électrodialyse :

- l'électrodialyse (ED) dite conventionnelle ;
- l'électrodialyse à membranes bipolaires (EDMB) ;
- l'électrodialyse à membranes (EM).

Le point commun de ces techniques est la mise en œuvre de membranes échangeuses d'ions permettant de transférer des ions de façon sélective sous l'effet d'un champ électrique.

VI. 3.2.1.1. Électrodialyse conventionnelle

Le terme dialyse désigne la diffusion d'une solution à travers une membrane qui lui est perméable. L'électrodialyse désigne le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique.

VI. 3.2.1.2. Électrodialyse à membranes bipolaires

Les membranes bipolaires sont constituées d'une face perméable aux anions et d'une face perméable aux cations. Sous l'effet d'un champ électrique, l'eau présente au cœur de la membrane est dissociée en ions H^+ et OH^- générés respectivement par les faces cationiques et anioniques.

VI. 3.2.1.3. Électrolyses à membranes

L'électrolyse à membranes est la technique électromembranaire dans laquelle on couple les effets d'une électrodialyse (migration d'ions au travers d'une membrane semi-perméable) à ceux d'une électrolyse (réaction aux électrodes) (Berland et Juery, 2002).

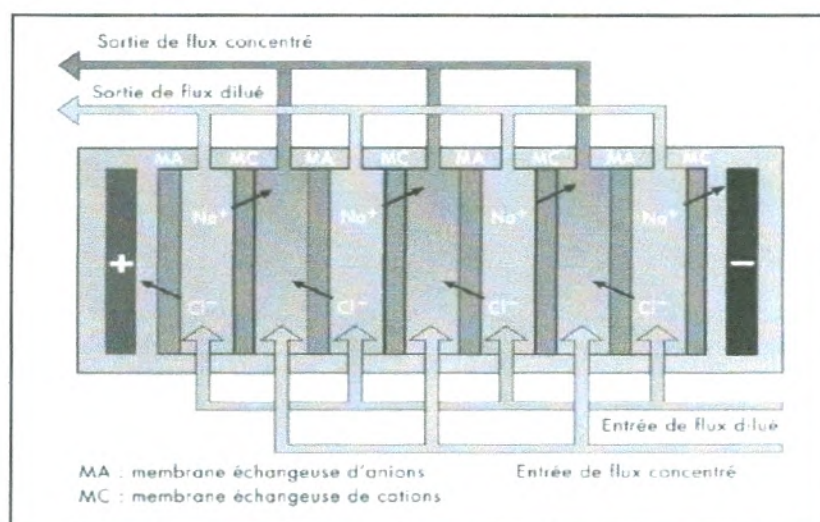


Fig. 4 : Principe général de l'électrodialyse (Bensalem, 2012).

VI. 3.2.2. Osmose inverse

Le phénomène d'osmose (Fig. 5) est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. Le phénomène d'osmose est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires (Berland et Juery, 2002).

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler. Si, pour simplifier, on suppose que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (Fig. 6), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse (Maurel, 2006).

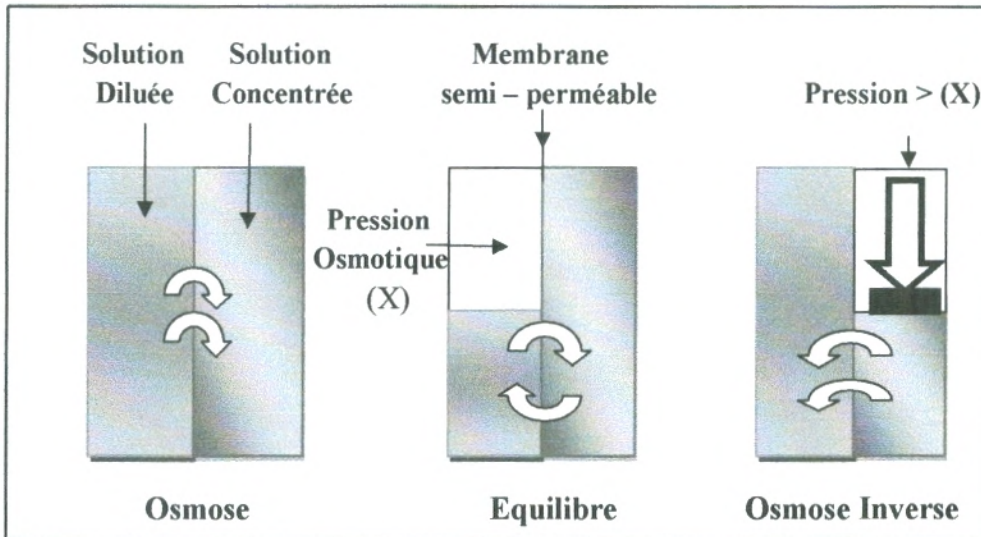


Fig. 5 : Phénomène d’osmose et d’osmose inverse.

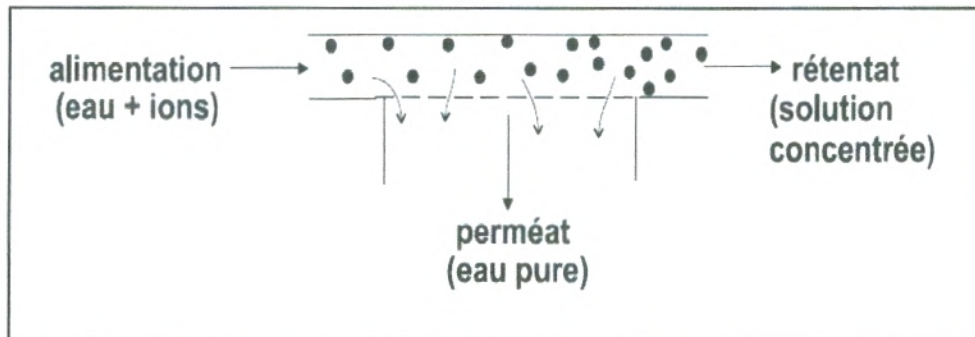


Fig. 6 : Ecoulement du fluide à travers une membrane d’osmose inverse.

VI. 3.2.2.1. Installation d’osmose inverse

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

- la membrane proprement dite ;
- le module ;
- la pompe haute pression HP ;
- et éventuellement un système de récupération d’énergie.

VI. 3.2.2.1.1. Membranes 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 dimension finie ou contenant des couches superposées (Arzate, 2008).

VI. 3.2.2.1.1. Classification des membranes

Il existe une grande diversité de membranes. Elles sont classées par famille, selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique.

VI. 3.2.2.1.2. Modules d'osmose inverse

Pour être mises en œuvre les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Une enceinte résistant à la pression est toujours nécessaire.

Il existe quatre types de modules :

- Modules plans (Fig.7)

Ils sont constitués d'un empilement de plaques chacune équipée sur ses deux faces d'une grille de drainage faisant office d'espace filtrant, et d'une feuille poreuse soutenant la membrane (Werner et al., 2010).

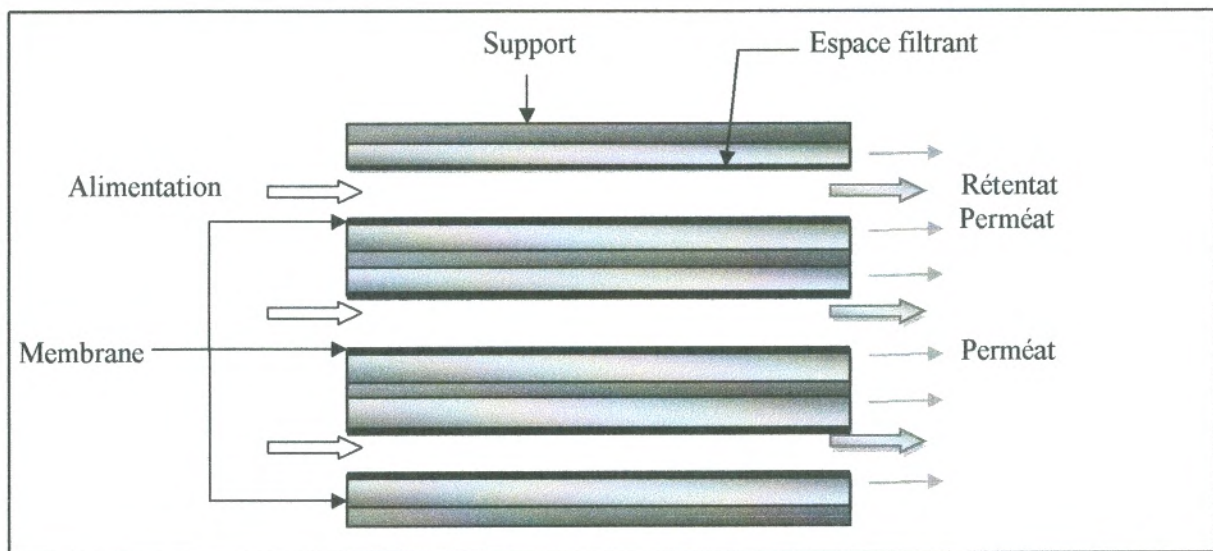


Fig. 7 : Schéma d'un module plan (Werner et al., 2010).

- Modules tubulaires

Ils sont constitués d'un tube poreux sur lequel la membrane est fixée (Fig. 8). L'eau à traiter, pompée à une extrémité du tube, est forcée au travers de celui-ci et de la membrane. Le rétentat est recueilli à l'autre extrémité du tube tandis que le perméat qui sourd à la surface extérieure de la membrane est récolté dans un tube extérieur concentrique (Werner et al., 2010).

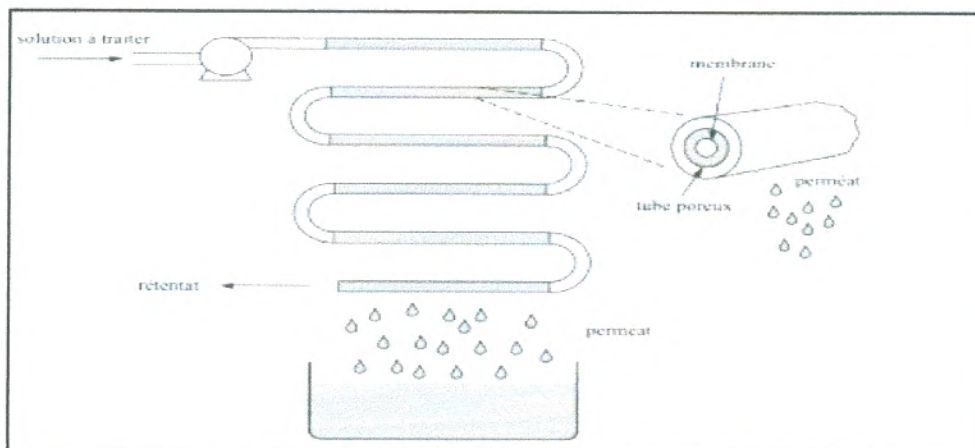
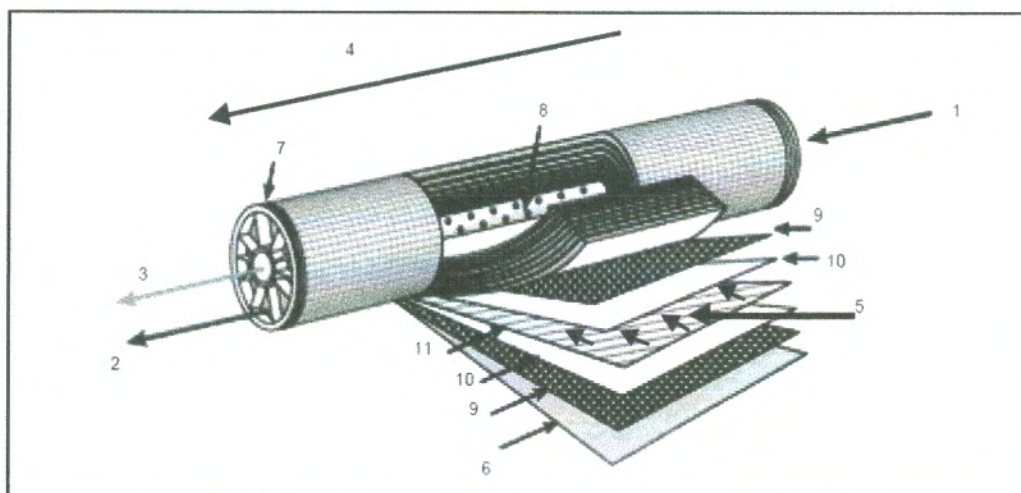


Fig. 8 : Schéma d'un module tubulaire (Werner et al., 2010).

- Modules spirales

Au sein des modules spirales (Fig. 9), une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multi-couches où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement (Berland et Juery, 2002).



1. Entrée d'eau, 2. Sortie de concentrât, 3. Sortie de perméat, 4. Sens d'écoulement, 5. Sens d'écoulement de l'eau du perméat, 6. Matériau de protection, 7. Joint d'étanchéité entre module et enveloppe, 8. Perforations collectant le perméat, 9. Espaceur, 10. Membrane, 11. Collecteur de perméat.

Fig. 9 : Schéma d'un module spirale (Berland et Juery, 2002).

- Modules à fibres creuses

Dans ce cas la membrane est sous forme de tubes très fins (diamètre intérieur de à 0,05 mm à 1 mm). Ces tubes dont le nombre peut varier entre 50 et plus de 1000 sont contenus dans une cartouche.

L'eau à traiter est introduite à une extrémité de la cartouche et répartie dans les fibres creuses à l'aide d'un distributeur. Le rétentat est collecté à l'autre extrémité et le perméat est recueilli dans la cartouche (Werner et al., 2010).

VI. 3.2.2.1.3. Colmatage de membranes et leur nettoyage

Le colmatage des membranes a pour conséquence de réduire le flux d'écoulement ou d'augmenter la pression d'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.

Il est possible de classer les éléments colmatant en deux groupes :

- **Les résidus solubles dans l'eau**, qui peuvent être éliminés par une étape de rinçage.
- **Les résidus non solubles dans l'eau**, qui forment une couche poreuse et résistante, composée principalement de protéines et des sels, ainsi que de microorganismes, colloïdes, polysaccharides insolubilisés, etc.

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

- **Le nettoyage mécanique**, un nettoyage partiel, mais rapide. Son principe consiste à décoller et retirer la matière accumulée sur la membrane par des forces mécaniques.

- **Le nettoyage chimique**, qui implique un arrêt de production périodique, génère des coûts en solutions de lavages et en traitement des effluents.

Il se compose d'une séquence de lavages acide et basique, ainsi que de phases de rinçage.

- **Le nettoyage enzymatique**, qui constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans les cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé (Arzate, 2008).

VI. 3.2.2.1.4. Pompe haute-pression HP et Système de récupération d'énergie

Les pompes haute-pression d'alimentation des modules d'osmose inverse destinés 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 inverse doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie.

VI. 3.3. Autres procédés de dessalement

VI. 3.3.1. Echange ionique

L'échange d'ions est un phénomène d'interface qui se produit entre les solutions plus ou moins ionisés et la surface des échangeurs.

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles ou des liquides immiscibles comportant dans leur structure moléculaire des radicaux anioniques ou cationiques susceptibles de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique et sans altération ou solubilisation.

Des ions positifs ou négatifs fixés sur les radicaux contre des ions de même signe se trouvent en solution dans le liquide à leur contact. Cette permutation appelée «échangeur d'ions» permet de modifier la composition des liquides (eaux de mer).

3.3.2. Dessalement par congélation

Le dessalement par congélation dérive du principe que la glace après congélation d'une solution aqueuse contenant des particules solides permet d'obtenir une phase solide de l'eau pure excluant les éléments étranges de la structure cristalline.

L'eau de mer refroidie à environ 2°C donne des cristaux de glace d'eau douce. Plus la température de refroidissement augmente, plus la production de glace augmente. Par conséquent, à une température de -9°C l'eau pure est obtenue.

VI. 3.3.3. Distillation solaire

La distillation solaire (Fig. 10) 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, 2012).

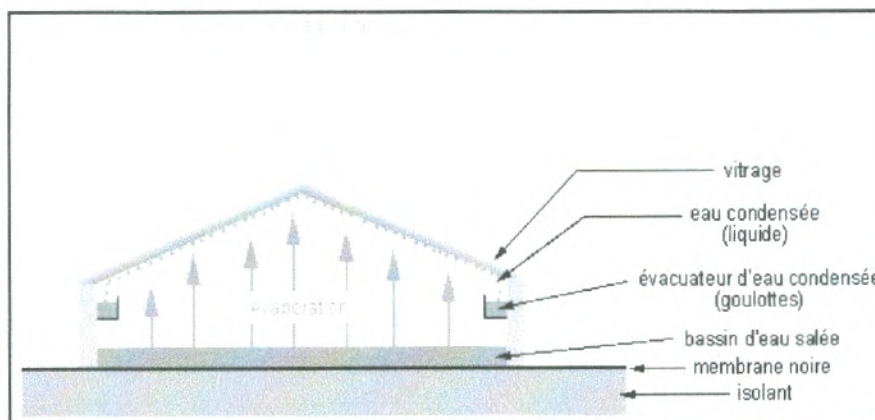


Fig. 10 : Schéma représentant le procédé de distillation solaire (Bensalem, 2012).

VI. 4. Le post-traitement

En général, l'étape de post-traitement comporte deux phases principales ; l'ajustement du pH et la chloration.

VI. 4.1. L'ajustement du pH

L'eau produite par un des procédés de dessalement est agressive, son pH est inférieur au pH de saturation. Subséquemment, la correction de pH se fait à l'aide d'une solution alcaline, automatiquement en fonction du pH (NaOH). Cette neutralisation a pour but d'éviter les problèmes liés au CO₂ dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante, car elle présente de multiples inconvénients.

VI. 4.2. La chloration

Il est nécessaire d'assurer une étape de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique. Dans ce contexte, il existe de nombreuses méthodes de désinfection de l'eau, mais la plus utilisée est la chloration par l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium (eau de javel)

La chloration permet de détruire les organismes pathogènes présents dans l'eau et protéger l'eau contre de nouvelles contaminations ultérieures au cours de son transport ou de son stockage (Tahraoui Douma et al., 2010).

VII. Conclusion

Le dessalement est un enjeu particulièrement important pour l'avenir des régions arides. C'est une méthode d'avenir pour pallier aux problèmes d'eau douce. Dans certains cas il devient impératif à cause de la diminution des ressources souterraines.

Les techniques ne cessent de se développer de part leur performance et leur rentabilité ce qui va permettre une baisse des coûts de production et peut être permettront à certains pays pauvres, en grande pénurie d'eau, de s'équiper à leur tour afin de pouvoir sécuriser leur alimentation.

Deuxième Chapitre :

**Description de la station de
dessalement d'eau de mer de
Souk Tleta**

I. Introduction

La wilaya de Tlemcen, située dans le Nord-Ouest algérien, a bénéficié d'une station de dessalement d'eau de mer qui a été implantée dans la région de Souk Tleta (Daïra de Bab El Assa).

Cette station d'une capacité de production de 200 000 m³/j permet actuellement de satisfaire les besoins en eau potable des habitants des communes frontalières.

II. Situation géographique

Située à 90 km du chef-lieu de la Wilaya, la commune de Souk Tleta qui s'étend sur une superficie de 8,500 hectares se trouve au Nord-Ouest de la ville de Tlemcen à proximité de la frontière algéro-marocaine. Elle est limitée :

- au Nord, par la mer méditerranée ;
- à l'Est, par Souahlia ;
- à l'Ouest, par la région de M'sirda ;
- au Sud, par celle de Bâb El Assa.

III. Présentation de la station de dessalement de Souk Tleta

Portant l'appellation de "200 MLD Seawater Desalination Plant", la station de dessalement d'eau de mer de Souk Tleta est entrée en service le 17 octobre 2011. Cette station permet la production d'eau potable par les techniques d'ultrafiltration (UF) et d'osmose inverse (RO). Les eaux ainsi produites sont transférées à l'Algérienne Des Eaux (ADE) et serviront à l'alimentation en eau potable de 330 000 habitants résidant dans les communes frontalières, entre autres, celles de Bab El Assa, Souahlia, Ghazaouet, Nedroma, Maghnia, Zénata, Bouhlou et Hammam Boughrara (Figures 11 et 12).



Fig. 11 : Photo montrant la situation de la station de Souk Tleta.

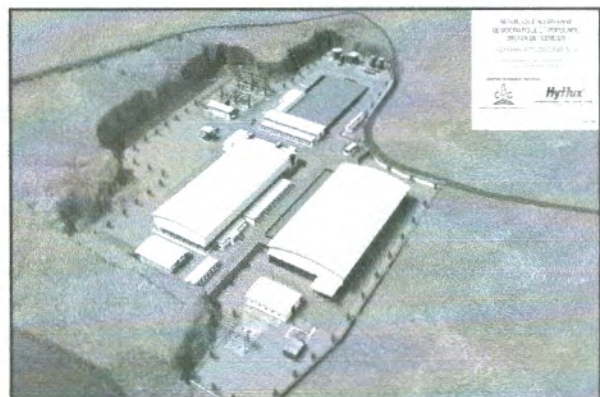


Fig. 12 : Station de dessalement de Souk Tleta.

IV. Description du procédé de la station

Les principales étapes du procédé de la station sont résumées sur le schéma suivant (Fig.13) :

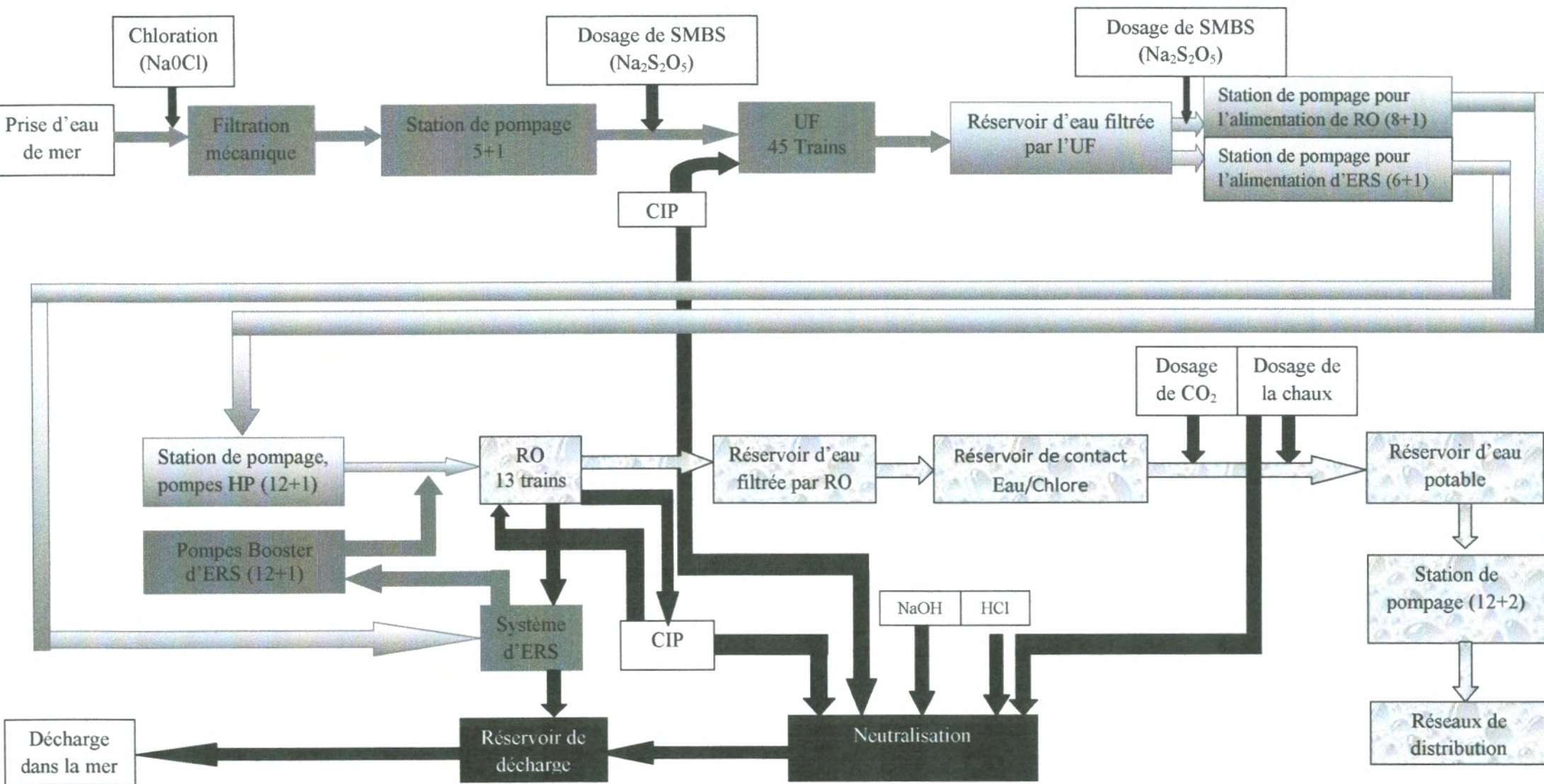


Fig. 13 : Schéma résumant les étapes de fonctionnement suivies au niveau de la station.

IV. 1. Prise d'eau de mer

L'alimentation de la station en eau de mer est réalisée par le biais d'une prise d'eau située à une profondeur de 11 mètres (Fig. 14). Cette eau est refoulée vers la station par effet gravitaire au moyen d'une canalisation de 860 mètres de longueur. Ce type de prise permet d'assurer une entrée d'eau avec un minimum de débris et avec des caractéristiques plus ou moins uniformes.

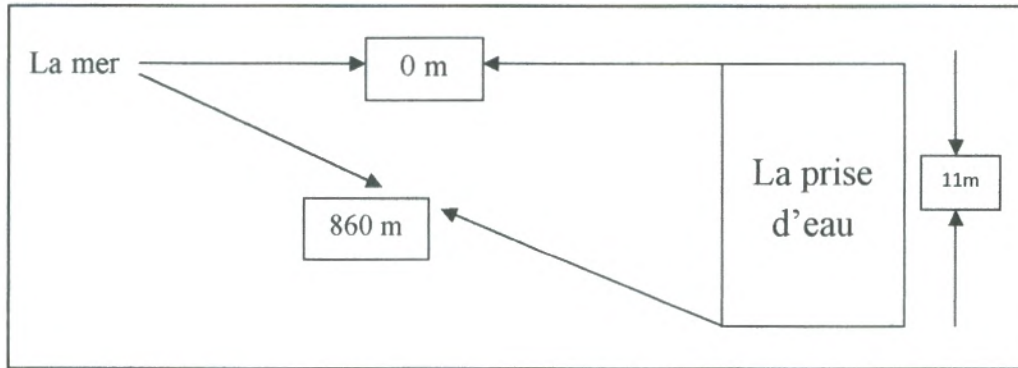


Fig. 14 : Schéma représentant la prise d'eau.

IV. 2. La filtration mécanique

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

- Un premier filtre comportant des mailles de 20 mm de diamètre, permet l'élimination des grands organismes contenus dans l'eau de mer tels que les poissons ;
- Le deuxième filtre, dont les mailles sont plus fines que celles du précédent (200 μm), permet le retrait des petits organismes.

L'ensemble de filtres bénéficie d'un système de nettoyage automatique permettant d'enlever les débris accumulés sur les deux écrans.

Cette étape de filtration mécanique assure la protection de la station de pompage d'eau de mer et le système d'ultrafiltration.

IV. 3. La chloration

Un dosage périodique d'hypochlorite de sodium NaOCl à 10 mg/L/h, est réalisé dans la prise d'eau pour assurer sa désinfection ainsi que celles des filtres permettant ainsi la réduction de la croissance biologique dans l'eau.

IV. 4. Station de pompage d'eau de mer

Six pompes centrifuges (5 en service et 1 en mode veille) d'un débit de 5300 m^3/h et une pression de 3,5 bars, assurent le transport de l'eau de mer à partir des filtres jusqu'aux trains d'ultrafiltration.

IV. 5. Premier dosage de SMBS

Le métabisulfite de sodium (SMBS) de formule $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ est utilisé dans le but d'éliminer le chlore contenu dans l'eau de mer avant son arrivée aux membranes d'ultrafiltration ; ceci permet d'éviter l'oxydation de ces dernières.

Le système de dosage se compose de deux réservoirs de stockage de SMBS avec mélangeurs et de deux séries de pompes doseuses (un réservoir assure le dosage avant le système d'ultrafiltration, l'autre sera utilisé pour le dosage avant le système d'osmose inverse).

L'ensemble des pompes du premier dosage (1 en service et 1 en mode veille) injecte la solution de métabisulfite de sodium dans la conduite d'alimentation en eau juste avant les trains d'ultrafiltration. L'injection est périodique et est réalisée à des intervalles de temps réguliers. Après la chloration, le système de dosage débute l'injection de la solution qui entre en réaction avec l'eau de mer et permet l'élimination du Cl_2 .

IV. 6. Le système d'ultrafiltration (UF)

IV. 6.1. Description du système

L'ultrafiltration est considérée comme l'étape la plus essentielle du prétraitement.

Le système d'ultrafiltration se compose de cinq (5) compartiments comportant chacun neuf (9) trains dont huit (8) seront mis en service et le neuvième jouera le rôle d'un système de contre-courant (backwash), ou il prendra la position d'un nettoyeur sur place (CIP) ou encore il sera en maintenance.

Des modules, de type Hyflux's Kristal™ UF, avec un flux de 50 à 70 $\text{l/m}^2/\text{h}$ et une superficie de 70 m^2/module , seront utilisés par le procédé de filtration. Chaque train (Fig. 15) est fourni d'un espace pouvant englober 162 modules. Toutefois, seulement 144 modules seront en service. Cette installation permettra, dans le futur, une augmentation de la capacité de l'usine en cas de nécessité.



Fig. 15 : Représentation d'un train d'ultrafiltration.

IV. 6.2. Membranes d'ultrafiltration

Les membranes de type Hyflux Kristal™ UF ont les caractéristiques suivantes :

- le diamètre de la membrane est de 8 pouces ;
- la longueur est égale à 80 pouces ;
- les dimensions des pores de la membrane sont de 0,015 μm et 0,020 μm .

Les membranes fonctionnent de façon que l'eau d'alimentation arrivée à la membrane s'écoule au large de la face extérieure de cette dernière et le filtrat se concentre à l'intérieur (Fig. 16).

IV. 6.3. Le système « Backwash » (Lavage à contre-courant)

Lors de filtration, la matière solide s'accumule à l'intérieur de la membrane provoquant ainsi une résistance à l'écoulement d'eau. Afin d'améliorer l'efficacité du fonctionnement de la membrane, il sera nécessaire d'effectuer une opération de Backwash (Fig. 16).

Ce lavage à contre-courant est effectué périodiquement, généralement toutes les 30 à 45 minutes, et est contrôlé de façon qu'un seul train par compartiment puisse jouer le rôle de Backwash, durant cette période déterminée, avant de passer à l'autre.

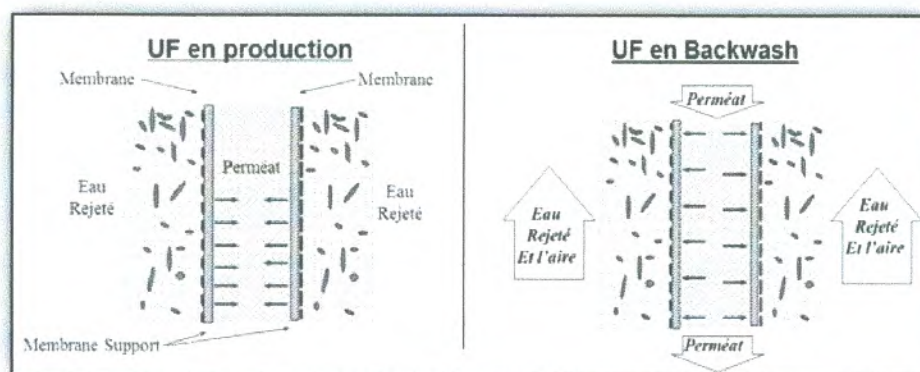


Fig. 16 : Schéma expliquant le fonctionnement de la membrane de l'UF en production et en Backwash (Didda, 2013).

IV. 6.4. Le système CIP (Clean-In-Place)

Si le lavage à contre-courant supprime la plupart des solides accumulés, il faudra effectuer périodiquement, sur place et sans démonter les modules, un nettoyage plus efficace à l'intérieur des membranes d'UF. Cela peut se faire de deux façons :

- La première consiste en un nettoyage de maintenance fréquent (A frequent Maintenance Cleaning : MC), avec de l'acide chlorhydrique HCl à pH entre 2 et 3 et un mélange d'hydroxyde de sodium (NaOH) et d'hypochlorite de sodium (NaClO) à pH 11.

Il s'agit d'un contact de la membrane avec le produit chimique pendant 5 à 10 minutes. Cette courte durée permettra d'assurer une réduction maximale du temps d'arrêt du système.

Après quelques semaines (3 à 4), la pression membranaire peut être non contrôlée par un lavage à contre-courant ou même par un MC. A ce moment, un nettoyage de récupération fréquent (A frequent Recovery Cleaning : RC), en utilisant l'acide phosphorique H_3PO_4 et nitrique HNO_3 , sera nécessaire.

Le RC exige une interruption de fonctionnement avec un temps plus important par rapport au MC mais avec un nettoyage plus profond des membranes.

A la fin des opérations de nettoyage, le train peut être remis en service ou mis en veille et les solutions chimiques utilisées seront dirigées vers le réservoir de neutralisation avant d'être évacuer dans la mer.

IV. 6.5. Réservoir d'eau filtrée et station de pompage

L'eau filtrée par le système d'UF est destinée vers un réservoir construit en béton et doublé d'un revêtement d'époxy. Ce réservoir est la source d'alimentation en eau pour le système d'osmose inverse (RO) ainsi que pour le lavage des membranes d'UF.

Six (6) pompes alimentant le système de lavage à contre-courant (Backwash), neuf (9) pompes d'alimentation de RO et 7 autres pour le système de récupération d'énergie (ERS), sont logées toutes dans une même station de pompage.

IV. 7. Deuxième dosage de SMBS

Après le dosage de SMBS, avant l'entrée au système d'ultrafiltration, un deuxième dosage du produit est nécessaire à ce stade du traitement. Ce dosage, ayant pour but l'élimination du chlore, a lieu dans la ligne "d'eau réservoir d'eau filtrée – trains du système d'osmose inverse".

La solution de bisulfite de sodium est employée en raison de sa nature oxydative forte. En théorie, une quantité de 1,34 mg de métabisulfite de sodium permet d'éliminer 1,0 mg de chlore libre.

IV. 8. La technique d'osmose inverse (RO)

IV. 8.1. Description de la technique

Au niveau de la station, le dessalement de l'eau de mer s'effectue par la technique membranaire d'osmose inverse RO (Reverse Osmosis). La section de cette technique à l'usine comprend les équipements suivants :

- Système de dosage anticalcaire ;
- Station de pompage de RO ;
- Trains de RO ;
- Système de récupération d'énergie;
- Système CIP (Clean In Place).

IV. 8.2. Système de dosage anticalcaire

A l'intérieur des membranes d'osmose inverse, il y a possibilité de précipitations et de concentration de carbonates de calcium lors du passage de l'eau. Pour minimiser le risque d'entartrage, un anticalcaire d'acide sulfurique (H_2SO_4) est utilisé afin de régler le pH entre 7,8 et 8,2.

Le système de dosage anticalcaire se compose d'un réservoir de stockage et deux (2) pompes. Il fonctionne de façon que lorsque le train de RO rentre en service, la pompe démarre et commence à injecter la solution d'acide sulfurique.



IV. 8.3. Station de pompage de RO

IV. 8.3.1. Pompes d'alimentation de RO

Neuf (9) pompes centrifuges horizontales, ayant chacune une capacité de 1060 m³/h et une pression allant de 4 aux 18 bars, assurent l'alimentation des trains d'osmose inverse, dont huit sont en service et une en mode de veille,

IV. 8.3.2. Pompes à haute pression

Chaque train d'osmose inverse est équipé d'une pompe à haute pression (Fig. 17). Dans l'ensemble, treize (13) pompes HP sont installées. Elles sont de type centrifuge à plusieurs étages, fabriquées en acier inoxydable et ont une capacité de 710 m³/h et une pression de 50 bars.



Fig. 17 : Pompe à haute pression.

IV. 8.3.3. Pompes d'alimentation du système de récupération d'énergie

Ce système comporte sept (7) pompes (6 en service et 1 en mode veille), de type centrifuge horizontal, avec une capacité de 1720 m³/h et une pression de 5 bars.

IV. 8.4. Trains d'osmose inverse

Treize (13) unités de trains de RO, sont installées où douze (12) sont en opération et le treizième constitue un train de secours. Chacun des douze trains permet de fournir un volume maximal de 16833 m³ avec une température variant entre 18 et 27°C et une TDS de 37500 mg/L.

Chaque train (Fig. 18) est équipé d'une pompe HP et d'un système de récupération d'énergie isobare.

Le train unique se compose de 192 tubes, déposés en parallèle. Chacun de ces tubes contient 7 cartouches de membranes servant à éliminer 99,8% des sels dissous.

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

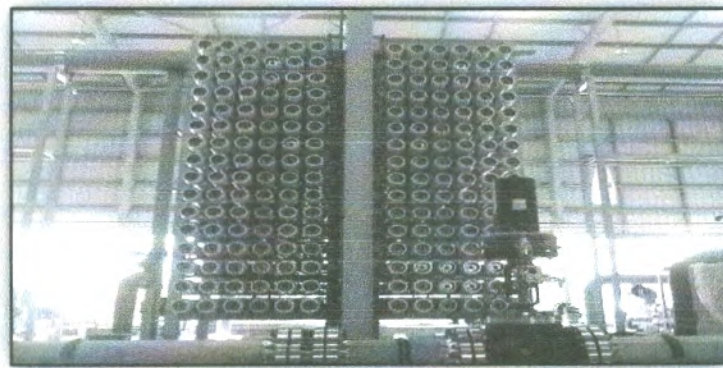


Fig. 18 : Train d'osmose inverse.

IV. 8.5. Système de récupération d'énergie

Le système de récupération d'énergie ERS (Energy Recovery System) est basé sur les échangeurs isobares. Il est utilisé afin de récupérer au préalable l'énergie du rejet de RO qui est dirigé vers la décharge.

Le système ERS transfère directement l'énergie de flux à haute pression avec celle du flux à basse pression. Le débit d'eau filtrée qui traverse le système ERS est contrôlé par une pompe de surpression à vitesse variable (Booster).

IV. 8.6. Le système CIP (Clean-In-Place)

Le système CIP permet de nettoyer les membranes de RO lorsque cela est nécessaire, en raison du calcul de l'indice d'encrassement des membranes. En fonction du pH, le CIP peut être réalisé de deux façons :

- Si le pH est faible (entre 2 et 3) : nettoyage avec l'acide citrique;
- Si le pH est élevé (entre 11 et 11,5); nettoyage avec le STPP (Sodium Tri Poly Phosphate $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) et l'hydroxyde de sodium (NaOH).

IV. 9. Post-traitement

L'eau obtenue par l'osmose inverse, doit passer par le stade de post-traitement afin de la reminéraliser pour satisfaire aux exigences de la potabilité de l'eau.

Le perméat est « agressif » en raison de la valeur négative de LSI (indice de saturation de Langelier) qui doit être augmenté dans le but de le mettre aux normes de potabilité ainsi que pour protéger le réservoir de stockage et les réseaux de distribution.

Les étapes de post-traitement sont basées essentiellement sur les dosages:

- du chlore ;
- du dioxyde de carbone ;
- de la chaux.

IV. 9.1. Dosage du chlore

L'utilisation du chlore a pour but de désinfecter l'eau par injection d'hypochlorite de sodium NaOCl, sous forme liquide à une concentration de 12%, dans le réservoir du perméat (Fig. 19).

Son contact avec l'eau, pour une durée de 30 minutes, lui permettra de réagir avec la matière organique et assurera ainsi une bonne désinfection.

La teneur en chlore libre se stabilise entre 0,5 et 1 ppm et un analyseur installé à la sortie du réservoir permettra de surveiller la chloration

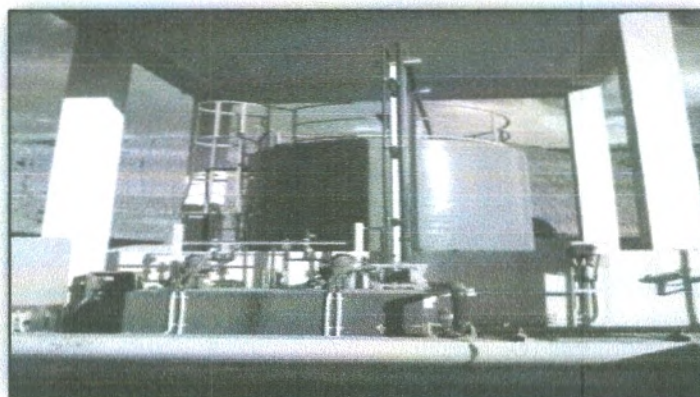
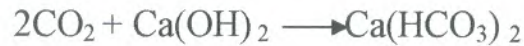


Fig. 19 : Réservoir de contact eau/chlore.

IV. 9.2. Dosage de dioxyde de carbone et de la chaux

La reminéralisation de l'eau chlorée se fait en deux étapes ; la première est concernée par un dosage de dioxyde de carbone CO_2 et la seconde par un dosage de la chaux Ca(OH)_2 (hydroxyde de calcium). Ces deux dosages permettent d'augmenter le pH et le LSI (indice de Langelier) à la gamme désirée donnant une eau « non agressive » pour la distribution et la consommation humaine.

Le dioxyde de carbone et la chaux réagissent ensemble selon la réaction suivante :



Dans la pratique, le CO_2 sera injecté à un débit de dosage fixe prédéterminé de 50mg/l et le dosage de chaux sera commandé par le pH de l'eau de façon qu'il se stabilise entre 7,8 et 8,2.

Au site de dosage de CO_2 (Fig. 20), deux (2) réservoirs de stockage de dioxyde de carbone renferment du CO_2 liquide qui sera dirigé par la suite vers une des deux (2) unités de vaporisation atmosphérique (1 en service et 1 en mode veille) pour avoir le gaz du CO_2 ; c'est ce gaz qui sera injecté dans l'eau.



Fig. 20 : Site de préparation du CO_2 .

Le système de dosage de la chaux (Fig. 21) se compose de plusieurs équipements permettant le stockage de la chaux en poudre, la préparation de la solution de chaux saturée et son injection dans l'eau.

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

La solution de la chaux préparée sera injectée dans l'eau en surveillant par prudence le pH de façon qu'il reste conforme à de la gamme préconisée par le contrat d'achat d'eau potable, qui est entre 7 et 8,5.



Fig. 21 : Site de préparation de la chaux.

IV. 10. Réservoir de stockage d'eau filtrée

Après la désinfection et la reminéralisation, l'eau sera stockée dans un réservoir d'eau traitée d'une capacité de 25000 m³. Ce réservoir est divisé en deux compartiments, s'il y a lieu, le stockage se fait dans un seul compartiment tandis que le deuxième sera en maintenance ou en nettoyage.

IV. 11. Station de pompage de l'eau traitée

Un total de quatorze (14) pompes à haute pression de 30 bars (12 en service et 2 en mode veille), permet le pompage de l'eau traitée à partir du réservoir de stockage vers les réseaux de distribution installés à la limite sud de l'usine.

IV. 12. Fosse de neutralisation

Sous écoulement gravitaire, les déchets du système CIP concernant l'UF et la RO ainsi que toutes les eaux utilisées dans les opérations chimiques, s'accumulent dans une fosse située à la limite nord-ouest de la station, où ils vont être neutralisés.

Cette opération se fait de la façon suivante :

- à pH faible, la neutralisation est effectuée avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH) ;
- à pH élevé, elle sera faite par l'ajout de l'acide chlorhydrique (HCl).

La neutralisation assure aux rejets des valeurs de pH comprises entre 6 et 9, avant qu'ils ne soient acheminés vers l'exutoire. Cette démarche permettra la protection des eaux de mer (site final de la décharge) des produits toxiques et donc de l'écosystème marin.

IV. 13. Exutoire

La saumure retirée par les membranes d'osmose inverse, l'eau de lavage à contre-courant ainsi que toutes les solutions neutralisées au niveau de la fosse seront déversées par gravité dans un réservoir de décharge avant de rejoindre la mer.

Les points de décharge dans la mer seront placés tels que les rejets à haute salinité ne seront pas recyclés dans la prise d'eau qui est prolongée à presque 900 m dans la mer.

V. Conclusion

Les étapes de dessalement des eaux de mer à la station de Souk Tleta sont:

- le prétraitement réalisé en premier lieu et basé sur une filtration mécanique afin de retirer toutes les particules volumineuses contenues dans l'eau de mer ;
- l'étape d'ultrafiltration permettant de retirer la matière en suspension ;
- l'osmose inverse, la phase la plus essentielle dans le procédé, installée dans le but d'enlever les éléments constituant la salinité de l'eau filtrée;
- le post-traitement qui par l'ajout de produits chimiques appropriés permettra la reminéralisation des eaux afin d'assurer leur potabilité selon les normes exigées dans le contrat d'achat signé entre l'usine et l'Algérienne Des Eaux.

Troisième Chapitre :

Matériels et Méthodes

I. Introduction

Une eau potable est celle qui porte une série de qualités chimiques, physiques et bactériologiques non nuisibles à la santé. La qualité physique fait allusion à une eau incolore, inodore, insipide et fraîche. La qualité chimique, quand à elle, renvoie au fait que l'eau potable ne doit pas contenir de substances chimiques, ni toxiques, ni d'éléments polluants. Elle ne peut contenir qu'un faible taux de sels minéraux qui lui assure une saveur agréable et une valeur nutritive certaine. La qualité bactériologique ou biologique épargne l'eau des germes pathogènes et des parasites (Bomfie, 2012).

Pour étudier l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux de la station de dessalement de Souk Tleta, une étude expérimentale est réalisée. Elle consiste à effectuer des analyses physico-chimiques de l'eau de mer et de l'eau traitée.

II. Prélèvements des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, ... etc.). (Rodier et al., 2009).

II. 1. Sites de prélèvements étudiés

Nous avons effectué des prélèvements des eaux à deux niveaux :

- Robinet installé au niveau de la station de pompage de l'eau de mer après la filtration mécanique.
- Robinet installé dans le réservoir d'eau traitée, avant la distribution.

II. 2. Mode de prélèvement

Les échantillons d'eau ont été prélevés comme suit:

- Pour l'eau de mer, un échantillon de 0,5 L dans un contenant en plastique.
- Trois échantillons d'eau traitée : deux dans des bouteilles en plastique de 1 L et le troisième dans un contenant en plastique de 0,5 L.

Ces trois échantillons d'eau traitée servent à accélérer l'opération des analyses physico-chimiques pour avoir des meilleurs résultats. A titre d'exemple, l'échantillon de la bouteille de 0,5 L est utilisé pour prendre la mesure du pH et, simultanément, celui de 1L pour les autres analyses (Conductivité électrique, turbidité, ... etc.).

Le troisième flacon est préservé au réfrigérateur du laboratoire et est réservé pour l'acheteur (ADE) qui demande périodiquement un échantillon d'eau traitée pour contrôle.

Les bouteilles sont, au préalable, bien rincées plusieurs fois avec de l'eau ultra-pure et séchées par la suite.

Un autre rinçage des flacons, avec l'eau à analyser est fait avant le prélèvement. Les bouteilles seront à nouveau rincées avec l'eau à analyser.

Après remplissage, ces contenants sont fermés hermétiquement sans laisser des bulles d'air à l'intérieur.

II. 3. Transport du prélèvement

Le prélèvement subira obligatoirement un certain temps de transport et une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique. Ces temps devront être réduits au minimum (Rodier et al, 2009).

Le transport du prélèvement du site jusqu'au laboratoire de la station ne prend que 3 à 4 minutes

III. Analyses organoleptiques

La couleur, l'odeur, la saveur et l'aspect sont des paramètres organoleptiques qui peuvent agir sur les organes sensoriels.

III. 1. Couleur de l'eau

Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson.

La couleur peut être l'indice d'une pollution par diverses substances chimiques (Didda, 2013).

- **Mesure du paramètre**

La couleur a été évaluée par colorimétrie (Annexe I.1).

III. 2. Odeur de l'eau

L'eau destinée à la consommation humaine doit être inodore. Une eau qui comporte une odeur est synonyme de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition, ce qui est trop dangereux pour la santé des consommateurs. (Cheikh, 2007)

- **Evaluation du paramètre**

L'odeur a été évaluée par une simple sensation dans le lieu du prélèvement.

III. 3. Goût et saveur de l'eau

Le goût peut être défini comme étant l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche, tandis que la saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier et al., 2009).

- **Evaluation du paramètre**

La saveur a été évaluée par dégustation de l'échantillon au point du prélèvement.

III. 4. Turbidité de l'eau

La turbidité est un paramètre organoleptique et une expression des propriétés optiques d'une eau à absorber ou/et à diffuser la lumière. Elle est due à la présence des matières en suspension MES (argiles, limons, ...).

Il est recommandé d'effectuer la mesure de la turbidité aussi rapidement que possible après prélèvement ; sinon l'échantillon doit être conservé à l'obscurité pour une durée maximale de 24 h, toute conservation prolongée peut provoquer des modifications irréversibles de la turbidité (Ghazali et Zaid, 2013).

- **Mesure du paramètre**

La turbidité est mesurée au laboratoire de la station par la technique néphélométrique à l'aide d'un turbidimètre OAKTON T-100 (Fig. 22). D'autres mesures in-situ sont effectuées grâce aux turbidimètres placés aux points des prélèvements (Annexe I. 2).

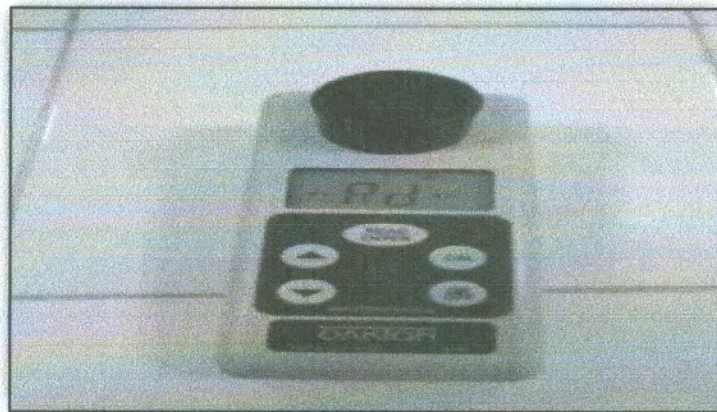


Fig. 22 : Turbidimètre OAKTON T-100.

IV. Analyses physicochimiques

Une gamme de paramètres physiques et chimiques doit être mesurée pour les échantillons prélevés.

IV. 1. Température

La température de l'eau est un paramètre physique très important pour les différents usages.

La diminution de cette dernière entraîne une diminution de l'efficacité des traitements dans les désinfections et son élévation favorise une augmentation des odeurs et des composés volatils (Rodier, 1992).

- **Mesure du paramètre**

La température est mesurée par l'utilisation d'un simple thermomètre sur le site du prélèvement et au moyen d'un set permettant aussi les mesures du pH et de la conductivité au laboratoire.

IV. 2. Le potentiel Hydrogène

Le potentiel Hydrogène (pH) mesure la concentration en ions d'hydrogène (H^+). Il résulte de toutes les substances acides et basiques en solution dans l'eau. L'acidité et la basicité de l'eau sont exprimées par le pH, qui varie de 0 à 14 ; un pH de 0 représente un maximum d'acidité, un pH de 14 signifie un maximum de basicité, tandis que le pH 7 correspond à la neutralité (Robert et al., 2007).

- **Mesure du paramètre**

La mesure du pH est effectuée par des pH-mètres de type HACH SensION 156 (Fig. 23) installés sur site, au niveau des points de prélèvement, et au laboratoire (Annexe I. 3)



Fig. 23 : pH-mètre HACH SensION 156.

IV. 3. Conductivité électrique EC

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (Rodier et al., 2009).

La conductivité est fonction de la température de l'eau. Elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi à apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Ghazali et Zaid, 2013).

- **Mesure du paramètre**

Aux niveaux de nos points de prélèvements, des conductivimètres sont installés sur site pour la mesure directe de la conductivité.

Au laboratoire de la station, la mesure de la conductivité électrique est réalisée par un conductimètre HACH SensION EC7 (Fig. 24) et l'unité de la conductivité électrique est $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm (Annexe I. 4)



Fig. 24: Conductivimètre HACH SensION EC7.

IV. 4. Alcalinité totale, TAC et TA

L'alcalinité de l'eau est un indicateur de la capacité de l'eau à fixer l'acide; c'est l'opposé d'acidité de l'eau (Carballo et al., 2008).

Elle est mesurée par la somme des anions hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes alcalins (Na) ou alcalino-terreux (Ca, Mg) et est exprimée par le titre alcalimétrique complet TAC (Berné et Cordonnier, 1991).

Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en hydroxydes libres et en carbonates, tandis que le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur en hydroxydes libres, carbonates et hydrogencarbonates.

- **Mesure du paramètre**

Au niveau du laboratoire d'analyses de la station de dessalement de Souk Tleta, l'alcalinité totale est mesurée par la méthode titrimétrique de HCl en enregistrant la variation du pH lors du dosage (Annexe I. 5).

IV. 5. Dureté totale TH

La dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) de l'eau reflète la teneur en ions métalliques, notamment le calcium et le magnésium, mais également certains autres métaux comme le fer et l'aluminium (Anctil, 2008). Une eau à dureté élevée est appelée « dure » et une eau à faible dureté est dite « douce ».

Le tableau suivant (Tab. 2) montre une classification des eaux selon leur dureté :

Tab. 2 : Classification des eaux selon leur dureté totale en °F (Rodier et al., 2009).

TH en Degrés Français (°F)	0 à 5	5 à 15	15 à 25	25 à 35	> 35
Type de l'eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

Remarque : 1 °F correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg/L de carbonate de calcium CaCO_3 qui correspond également à une solution contenant 0,0001 mol/L de CaCO_3 .

- **Mesure du paramètre**

La titre hydrotimétrique est mesuré au laboratoire par deux méthodes ; celle du titrage par l'EDTA et l'autre par calcul en utilisant les concentrations de Ca^{2+} et Mg^{2+} (Annexe I. 6).

IV. 6. Total de solides dissous (TDS)

TDS, signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium et également des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates (Centre d'information sur l'eau, 2007).

- **Mesure du paramètre**

La TDS peut être mesurée par la méthode gravimétrique ou déterminée par calcul (Annexe I. 7).

IV. 7. Total de solides en suspension (TSS)

TSS signifie la matière en suspension contenant dans un volume d'eau.

- **Mesure du paramètre**

La TSS peut être mesurée soit par méthode spectrométrique en utilisant un spectromètre HACH DR 2700 (Fig. 25) soit par méthode gravimétrique (Annexe I. 8)



Fig. 25 : Spectromètre HACH DR 2700.

IV. 8. Chlore libre Cl_2

Le chlore résiduel libre, chlore demeurant dans l'eau à la fin d'une période de contact déterminé, et qui peut réagir chimiquement et biologiquement comme acide hypochloreux ou ion hypochlorite.

Le chlore libre et les hypochlorites réagissent dans l'eau pour former de l'acide hypochloreux HOCl, qui est le produit actif dans la désinfection (Raymond, 1997).

La réaction du chlore libre est la suivante :



- **Mesure du paramètre**

Le Cl₂ est mesuré par la méthode colorimétrique (Annexe I. 9)

IV. 9. Ions majeurs

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par des ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium Ca²⁺, magnésium Mg²⁺, sodium Na⁺ et potassium K⁺, et les anions : chlorures Cl⁻, sulfates SO₄²⁻, nitrates NO₃⁻ et nitrites NO₂⁻.

IV. 9.1. Cations majeurs

IV. 9.1.1. Calcium Ca²⁺

Le calcium provient des roches calcaires. Il a un rôle important pour la formation des os et des dents. Il est aussi essentiel pour la contraction des muscles, ainsi que le maintien de la pression sanguine et pour la coagulation sanguine. Il est également un nutriment important pour la structure et le métabolisme des plantes. Il est également responsable de la dureté de l'eau (Patel et al., 2013).

IV. 9.1.2. Magnésium Mg²⁺

Le magnésium est un composant de la chlorophylle. Il est également responsable de la dureté de l'eau. Il a aussi une importance dans la formation des os et de dents, ainsi que dans la fixation du calcium sur les os (Patel et al., 2013).

IV. 9.1.3. Potassium K⁺

Les propriétés du potassium K⁺ sont nécessaires au bon fonctionnement du corps. Il participe à la régulation de l'eau corporelle mais aussi de l'influx nerveux. Il est à peu près constant dans les eaux naturelles (10 à 15 mg/L) et n'a pas d'effet sur la santé des populations.

Certains rejets industriels (mines de potasse) d'usines d'engrais peuvent entraîner des quantités de potassium relativement importantes dans l'eau (Rodier et al., 1976).

IV. 9.1.4. Sodium Na⁺

Le sodium est un élément constant de l'eau. Mais sa teneur peut y varier considérablement.

D'une façon générale, il n'existe pas de danger dans l'absorption de quantités importantes. Cependant les sujets souffrant d'hypertension ou d'accidents cardiovasculaires ne devraient pas consommer une eau renfermant plus de 20 mg/L de Na⁺ (Didda, 2013).

IV. 9.2. Anions majeur

IV. 9.2.1. Chlorure Cl⁻

Les chlorures sont très solubles dans l'eau, leurs éliminations sont difficiles et les méthodes classiques de traitement sont inefficaces. On signale un taux d'élimination de 87 % dans le cas dispositif de traitement basé sur l'absorption sur charbon actif granulaire et l'osmose inversée.

Les concentrations de chlorure dans l'eau peuvent augmenter pendant le traitement si on utilise du chlore pour la désinfection et des sels de chlore. Les eaux destinées à la consommation humaine, ont une teneur en chlore de 500 mg/L et des fois 600 mg/L (normes Algériennes) (Tahraoui Douma et al., 2010).

IV. 9.2.2. Sulfates SO₄⁻²

L'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion). L'OMS recommande comme valeur limite de sulfates 250/400 mg/L. leur teneur élevée dans l'eau de boisson entraîne des nuisances d'ordre organoleptique et sanitaire. En effet, ils provoquent des troubles gastro-intestinaux et peuvent donner un goût désagréable (Tahraoui Doum et al., 2010).

IV. 9.2.3. Nitrates NO₃⁻ et nitrites NO₂⁻

Les nitrates NO₃⁻ et les nitrites NO₂⁻ sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium NH₄⁺; présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre *Nitrosomanas*, puis en nitrates par les bactéries du genre *Nitrobacter*. Les nitrates sont très solubles dans l'eau, leur toxicité résulte de leur réduction en nitrites (Institut national de santé publique de Québec, 2003).

Le nitrite NO₂⁻ est facilement absorbé dans l'estomac et peut réagir avec les composés nitrosables, comme les amides et les amines pour former des nitrosamines. Ces composés de N-nitrosés sont de puissants cancérigènes chez l'homme (Bougherara, 2009).

IV. 9.3. Méthode de mesure « Chromatographie Ionique »

Laboratoire d'analyses de la station de dessalement de Souk Tleta dispose de chromatographes ioniques (Fig. 26) assurant les mesures des cations et anions (un chromatographe pour les mesures des cations, un autre pour les mesures des anions).

La chromatographie ionique est une méthode particulièrement bien adaptée à l'analyse des anions et cations majeurs des eaux (Annexe I. 10)

- **Définition et principe**

La chromatographie est une méthode d'analyses qui permet de séparer les différents constituants d'un mélange par entraînement d'une phase mobile (liquide ou gaz) le long d'une phase stationnaire (solide ou liquide fixé) (Claverie et Panet, 2008).

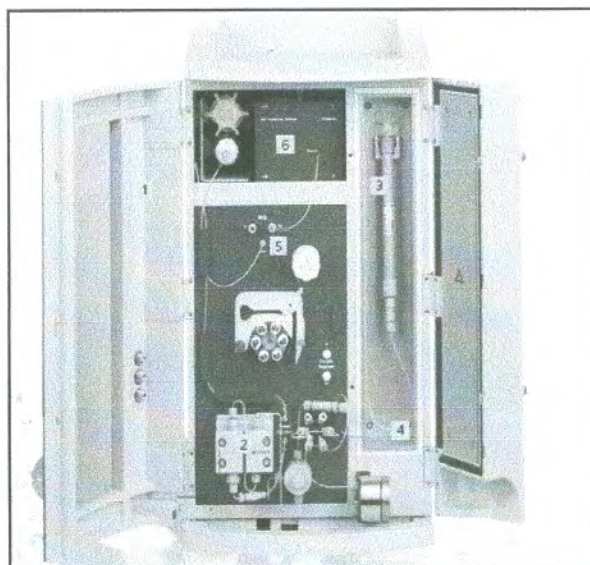
- **Description du chromatographe ionique : Metrohm Compact IC 881 pro**

Les analyses des ions majeurs des eaux de la station sont effectuées sur les chromatographes Metrohm Compact IC 881 pro, qui sont constitués des éléments suivants :

- La colonne de séparation équipée d'une puce intelligente. La technologie dite « I Column » permet la surveillance totale de ce composé essentiel, elle est thermostatée jusqu'à 70 °C ;
- Le « I Pump », un élément central de l'instrument, sa pulsation extrêmement faible assure un bruit de fond minimal ;
- Un supprimeur chimique séquentiel. Le bruit est inférieur à 0,1 nS/cm ce qui est le plus faible des supprimeurs disponibles sur le marché. Cela garantit des limites de détection dans la gamme de 1 µg/L ;
- Un détecteur intelligent dit « I detector » numérise le signal. La conductivité est transmise directement, sa vaste gamme de mesure de 0 à 15 000 µS/cm assure des mesures optimums sur une très large gamme de concentration (du µg/L au g/L) ;
- Un boîtier ; tous les éléments de la chaîne sont clairement disposés et facilement accessible, une porte transparente permet la surveillance pendant l'analyse.

Un éluant préparé à chaque type d'analyse qui le rôle de la phase mobile dans le chromatographe, Il fonctionne comme transporteur pour l'échantillon.

Le chromatographe est raccordé à un ordinateur où le logiciel de détection de la chromatographie ionique est installé. Lors d'analyse, une courbe Conductivité/temps sera tracée sur le logiciel indiquant des pics des concentrations des ions à mesurer.



1. Boîtier, 2. I Pump, 3. Colonne de séparation, 4. Thermostat, 5. Suppression, 6. Détection.

Fig. 26: Chromatographe Metrohm Compact IC 881 pro.

IV. 10. Bore B

Le bore B est un élément naturel qui se trouve sous forme de borates dans les océans, les roches sédimentaires, la houille, les schistes et certaines huiles minérales. Il est très répandu dans la nature, avec des concentrations de l'ordre de 10 mg/kg dans l'écorce terrestre (elles vont de 5 mg/kg dans les basaltes à 100 mg/kg dans les schistes) et d'environ 4,5 mg/L dans les océans. C'est un élément essentiel pour la croissance des plantes et la santé des êtres vivants.

A fortes doses il devient toxique ; ainsi, il peut provoquer l'apparition de taches jaunâtres sur les fruits et légumes altérant leurs qualités gustatives et commerciales. De même, il peut provoquer l'infertilité chez les êtres humains et être à l'origine de certaines maladies nerveuses (Belkharchouche, 2010).

- **Mesure du paramètre**

Le bore est mesuré au laboratoire d'analyses de la station par la méthode de chromatographie ionique pour l'eau traitée et par spectrométrie pour l'analyse de l'eau de mer (à cause de la concentration importante du bore rencontrée dans les eaux de mer, on évite d'utiliser le chromatographe). (Annexe I. 11)

IV. 11. Indice de saturation ou indice de Langelier LSI

L'indice le plus connu qui permet d'apprécier le caractère agressif ou incrustant d'une eau est l'indice de Langelier LSI (en anglais ; Langelier Saturation Index). Il est donné par la relation :

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

Le pH_s est le pH de saturation ou le pH pour lequel on obtient l'équilibre calco-carbonique de l'eau. Il est donné par l'équation :

$$\text{pH}_s = \text{FA} + \text{FD} + \text{FT} - \text{Constante}$$

Avec :

$$\text{FA} = \log [\text{alcalinité (CaCO}_3)]$$

$$\text{FD} = \log [\text{Ca}^{2+}]$$

$$\text{FT} = -0,25 + (0,00825 \times \text{Température en } ^\circ\text{F})$$

$$\text{Constante} = -11,3 - (0,33 \times \log [\text{TDS}])$$

On peut interpréter le LSI de la façon suivante :

- Lorsque l'indice de Langelier est positif ($\text{LSI} > 0$), l'eau est incrustante et fait précipiter le carbonate de calcium.
- Lorsque l'indice de Langelier est négatif ($\text{LSI} < 0$), l'eau est agressive et dissout le carbonate de calcium.

V. Conclusion

Les analyses physico-chimiques effectuées au niveau du laboratoire d'analyses de la station de dessalement de Souk Tleta, ont pour but de suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux de mer ainsi que des eaux traitées par le procédé d'osmose inverse. Ce suivi permettra d'assurer le bon fonctionnement de l'usine ainsi que l'obtention d'une eau de bonne qualité.

Quatrième Chapitre :

Interprétation des Résultats

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des prélèvements réalisés à la station de dessalement de Souk Tleta. Il traitera de l'évolution des paramètres relatifs aux eaux de mer et aux eaux traitées et, de la qualité des eaux dessalées par l'utilisation des normes de potabilité algériennes et celles de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Aussi, une comparaison des paramètres physico-chimiques des eaux de mer de la station aux normes de qualité stipulées dans le contrat sera établie.

II. Eau de mer

II. 1. Variation des paramètres organoleptiques

II. 1.1. Couleur

Les échantillons d'eau de mer sont incolores mais ils ne sont pas clairs à cause de la présence de nombreuses petites particules.

II. 1.2. Odeur

L'eau brute ne présente aucune odeur particulière à part une sensation maritime.

II. 1.3. Gout

L'eau de mer ne présente aucun gout particulier à part celui de la salinité.

II. 1.4. Variation de la turbidité

Les valeurs de la turbidité de l'eau de mer, mesurée sur site (Fig. 27), varient entre 1 et 5,45 NTU avec une moyenne de 2,45 NTU et un écart-type de 1,33. Celles mesurées au laboratoire (Fig. 28) varient entre 1,66 et 8,51 NTU avec une moyenne de 4,11 NTU et un écart-type de 1,79 NTU. La courbe figure 27, relative aux mesures de la turbidité sur site enregistre des valeurs inférieures à celles mesurées au laboratoire (Fig. 28).

II. 2. Variation des paramètres physico-chimiques

II. 2.1. Température

La figure 29 montre que les valeurs de la température de l'eau brute mesurée sur site sont comprises entre 15,8 et 18,5 °C avec une moyenne de 16,79 °C et un écart-type de 0,85 °C. Nous notons que les celles mesurées au laboratoire (Fig. 30) sont plus élevées par rapport à ces premières en raison de la durée de temps écoulée entre les moments de prélèvement de l'échantillon et de son analyse. Ces valeurs de températures, mesurées au laboratoire sont comprises entre 16,4°C et 20,6°C avec une moyenne de 18,79 °C et un écart-type de 1,24 °C.

Nous notons des écarts de températures (différence entre les températures maximale et minimale) de 2,7 et 4,2°C respectivement pour les mesures réalisées sur site et celles réalisées au laboratoire.

Selon les normes de qualité de l'eau de mer recommandées dans le contrat (Annexe II.1), les valeurs de température de quelques échantillons sont inférieures à la valeur minimale qui est de 18°C.

II. 2.2. Potentiel d'hydrogène

Les courbes (Fig. 31 et 32) représentant l'évolution du pH des eaux de mer en fonction du temps montrent de faibles variations pour les mesures réalisées sur site et au laboratoire. Ces valeurs fluctuent entre 8,1 et 8,16 pour les mesures réalisées sur site (Fig. 31) et entre 8,04 et 8,3 pour celles effectuées au laboratoire (Fig. 32).

Notons que toutes valeurs du pH enregistrées sont supérieures à 8 témoignant ainsi de l'alcalinité des eaux de mer.

Les valeurs du pH de l'eau de mer sont, en général, conformes aux normes indiquées dans le contrat (Annexe II. 1); les limites inférieure et supérieure étant respectivement de 7,8 et 8,2.

II. 2.3. Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique (CE) de l'eau brute mesurée sur site (Fig. 33) sont comprises entre 52000 et 55400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une valeur moyenne de 53531 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un écart-type de 845,9. Celles mesurées au laboratoire (Fig. 34) varient entre 52500 et 54000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 53275 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un écart-type de 502,66 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

II. 2.4. Total de solides en suspension

Les valeurs du TSS de l'eau de mer (Fig.35) varient entre 0,16 et 7 mg/L avec une valeur moyenne de 4,19 mg/L et un écart-type de 2,34 mg/L.

Elles sont toutes inférieures à la limite maximale recommandée dans le contrat (Annexe II. 1) qui est de 8 mg/L.

II. 2.5. Potentiel d'oxydo - réduction (ORP)

Pour l'eau à traiter, les valeurs de l'ORP (Fig. 36) enregistrées sur site sont comprises entre 262 et 533 mV, la moyenne est de 348 mV et l'écart-type est de 70,1 mV. Nous notons dans la figure 36, une variation importante de l'ORP en fonction du temps.

Fig. 29 : Variations de la température d'eau de mer mesurée sur

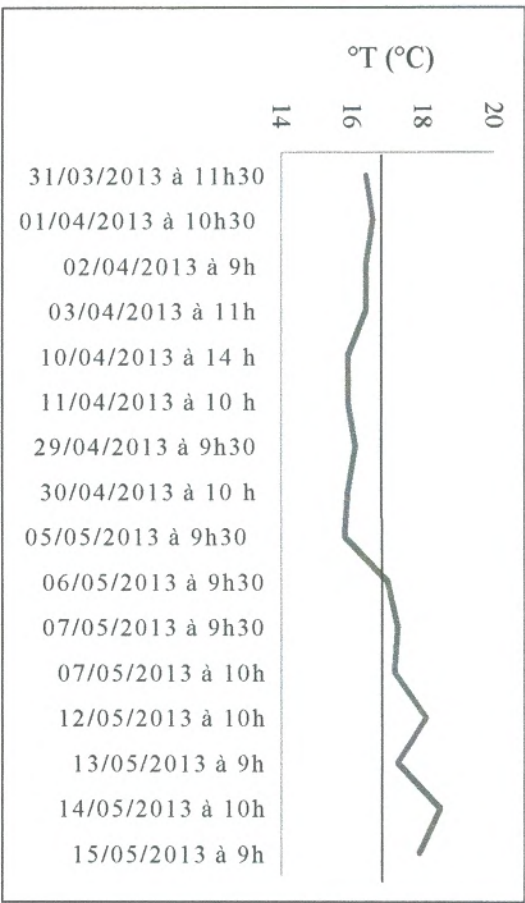


Fig. 27 : Variations de la turbidité d'eau mer mesurée sur site.

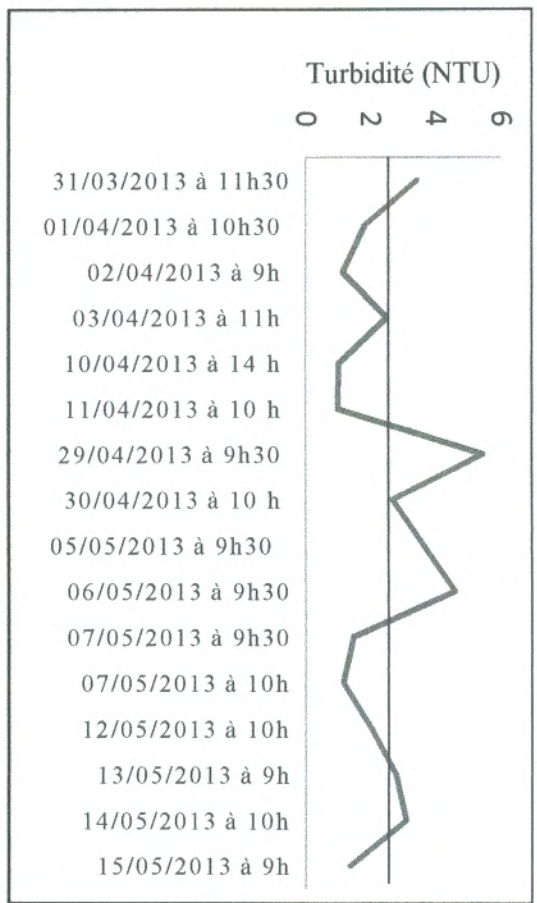


Fig. 28 : Variations de la turbidité d'eau de mer mesurée au

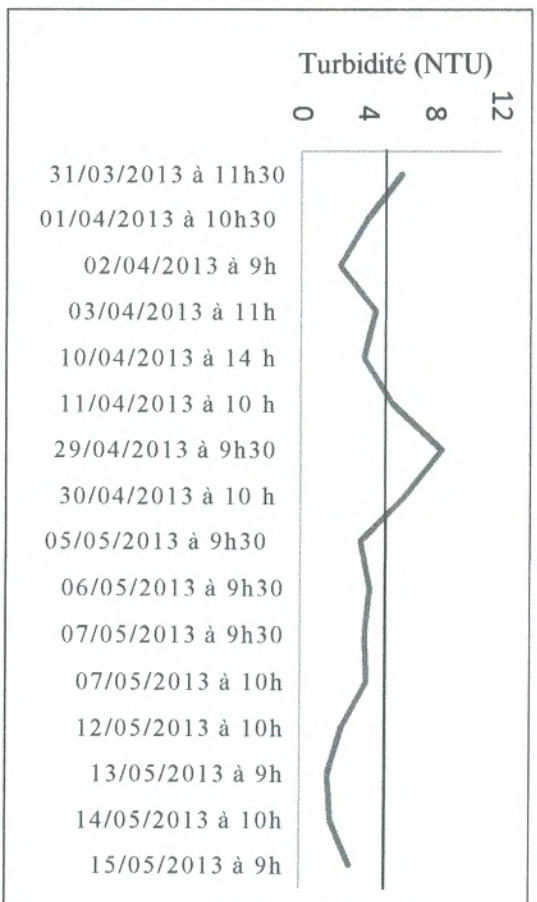
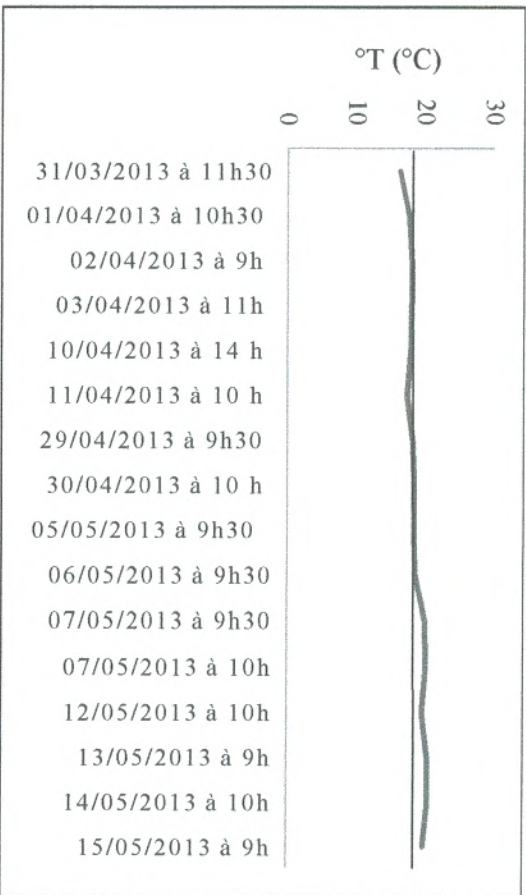


Fig. 30 : Variations de la température d'eau de mer mesurée au laboratoire.



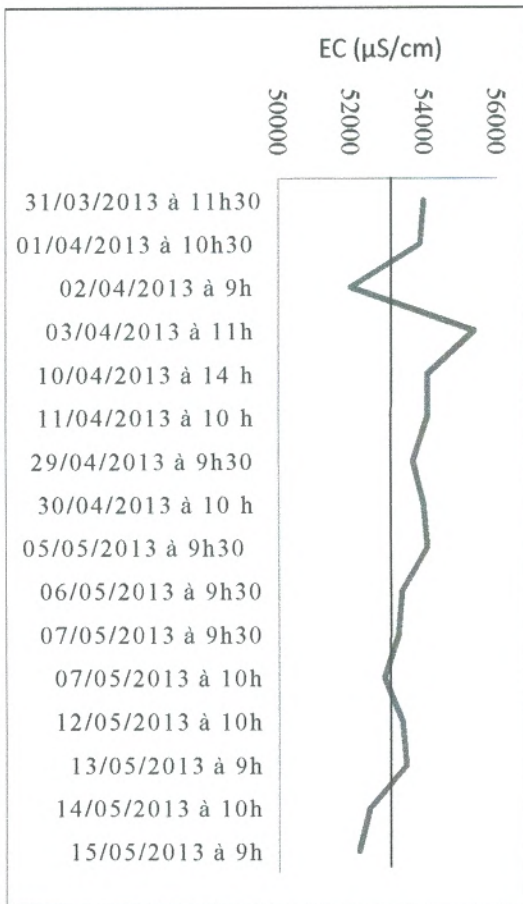


Fig. 31 : Variations du pH d'eau de mer mesuré su site.

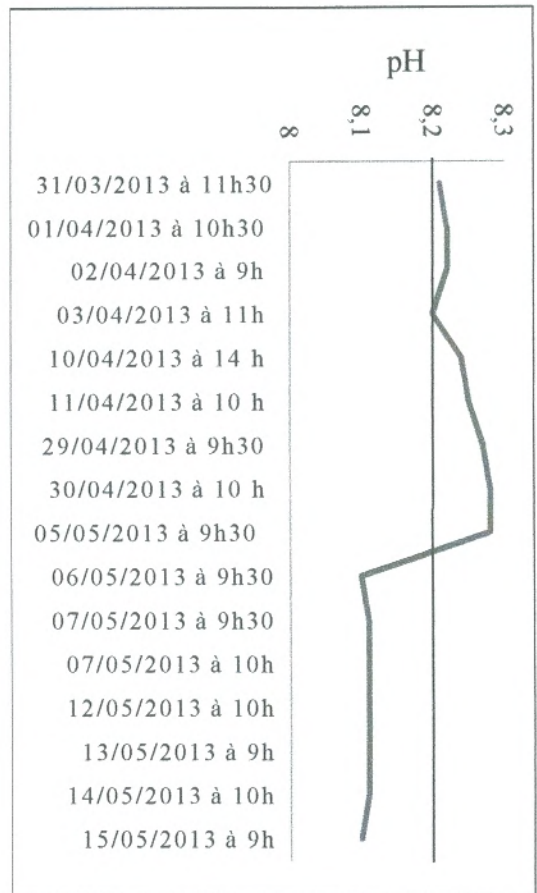


Fig. 32 : Variations du pH d'eau de mer mesuré au laboratoire.

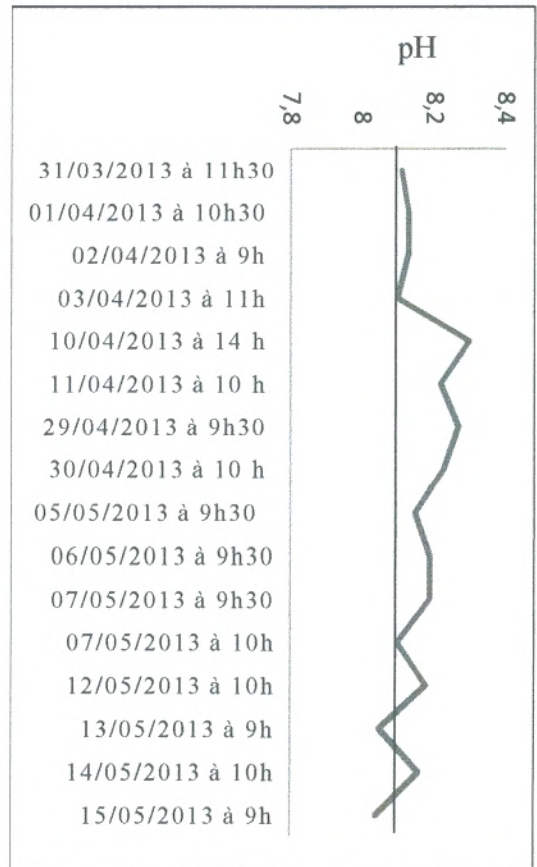
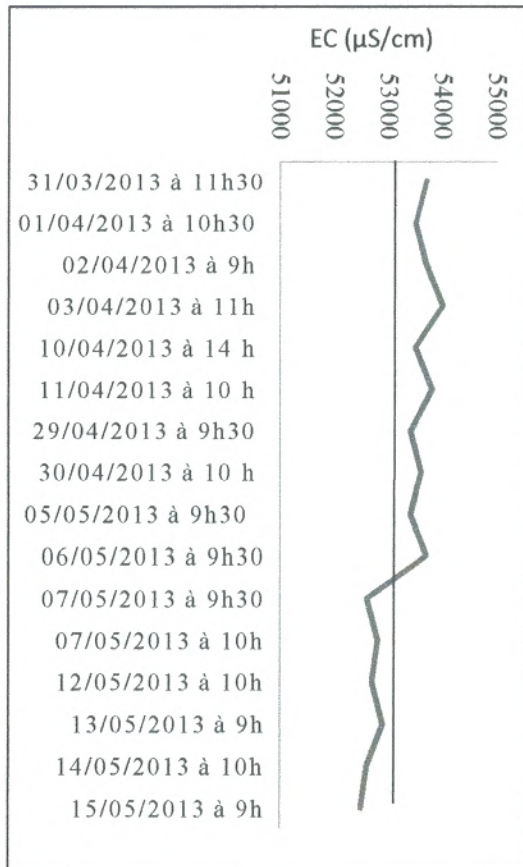


Fig. 35 : Variations de la TSS d'eau de mer.

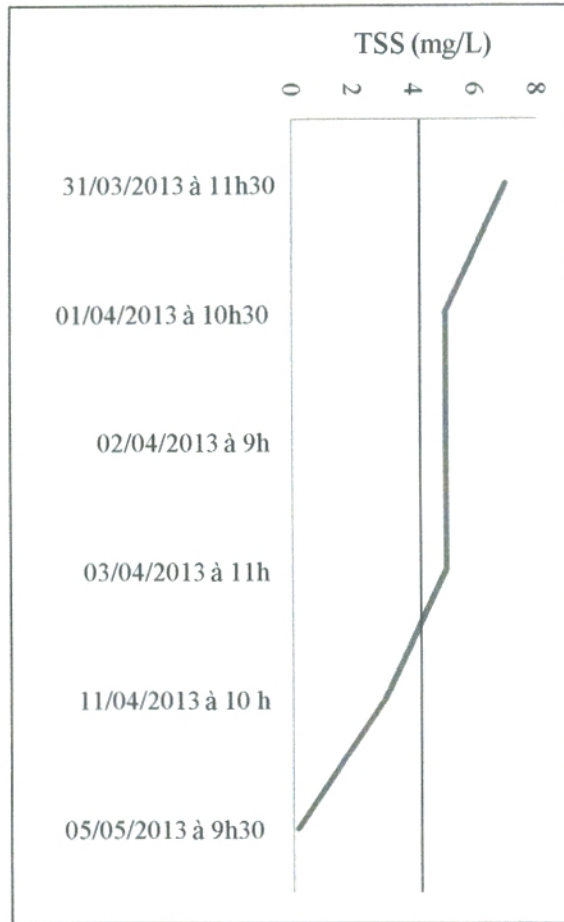
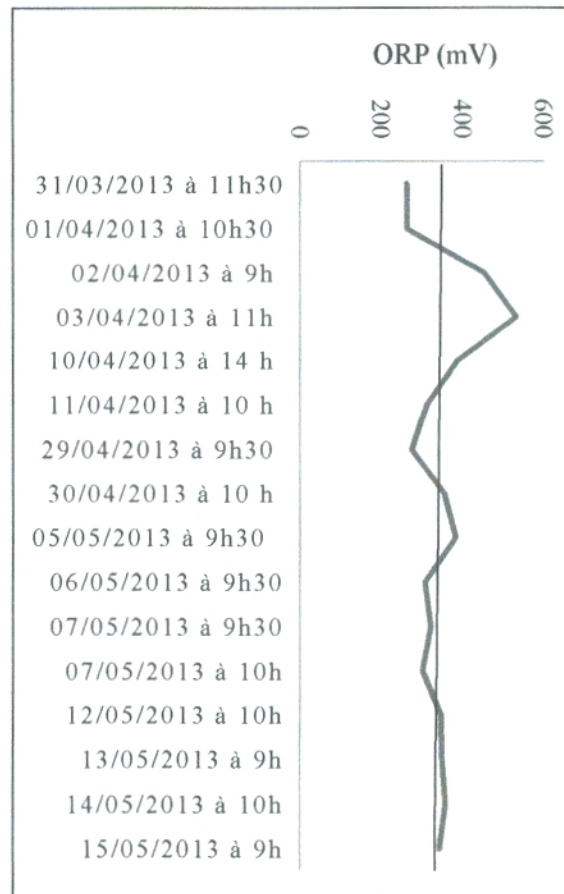


Fig. 36 : Variations de l'ORP d'eau de mer.



III. Eau traitée

III. 1. Variation des paramètres organoleptiques

III. 1.1. Couleur

Les analyses effectuées sur l'eau traitée ont indiqué que cette eau est incolore et claire.

III. 1.2. Odeur

Après traitement l'eau devient inodore et ne présente aucune odeur désagréable.

III. 1.3. Gout

L'eau traitée ne présente qu'un léger gout de javel à cause de la désinfection ayant lieu durant les étapes du traitement.

III. 1.4. Turbidité

Pour suivre les variations de la turbidité de l'eau traitée, on a analysé ce paramètre sur site (Fig. 37) et au niveau de laboratoire de la station (Fig. 38). Les valeurs enregistrées sur site varient entre 0,382 et 0,896 NTU avec une valeur moyenne de 0,61 NTU et un écart-type de 0,12 NTU. La courbe représentant les résultats de mesures au laboratoire (Fig. 38) pour les mêmes échantillons montre que les valeurs de la turbidité sont comprises entre 0,15 et 0,86 NTU avec une valeur moyenne de 0,53 et un écart-type de 0,17 NTU.

Ces valeurs de turbidité sont acceptables; elles restent inférieures à la concentration maximale admissible fixée par l'OMS qui est 5 mg/L.

III. 2. Variation des paramètres physico-chimiques

III. 2.1. Température

La figure 39 montre les variations de la température mesurée sur site au moment du prélèvement des échantillons de l'eau potable. On note une valeur de température minimale égale à 17,3 °C tandis que la valeur maximale est de 20,2 °C, la moyenne calculée pour 29 analyses est équivalente à 19 °C et l'écart-type est de 0,69 °C. Pour la température mesurée au laboratoire (Fig. 40) des mêmes échantillons, les valeurs se fluctuent entre 18,5 et 21,7 °C avec une moyenne de 20 °C et un écart-type de 0,86°C. On peut observer une légère variation (augmentation) de la température mesurée au laboratoire par rapport à celle mesurée sur site.

L'OMS ne donne aucune valeur guide de la température de l'eau potable, pour cela on a jugé nécessaire de nous référer à la norme algérienne qui est aussi celle de la Communauté Européenne. Toutes les valeurs enregistrées sont inférieures à 25°C et de ce fait sont conformes aux normes susmentionnées.

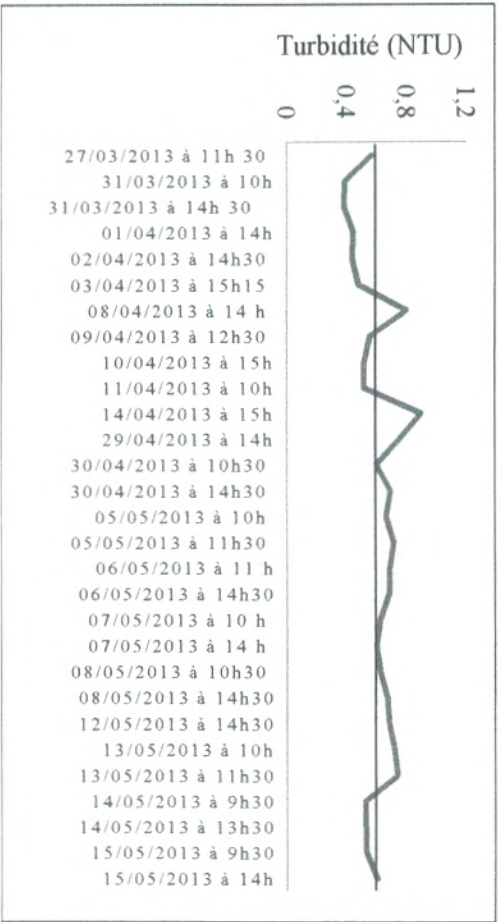


Fig. 37 : Variations de la turbidité d'eau traitée mesurée sur site.

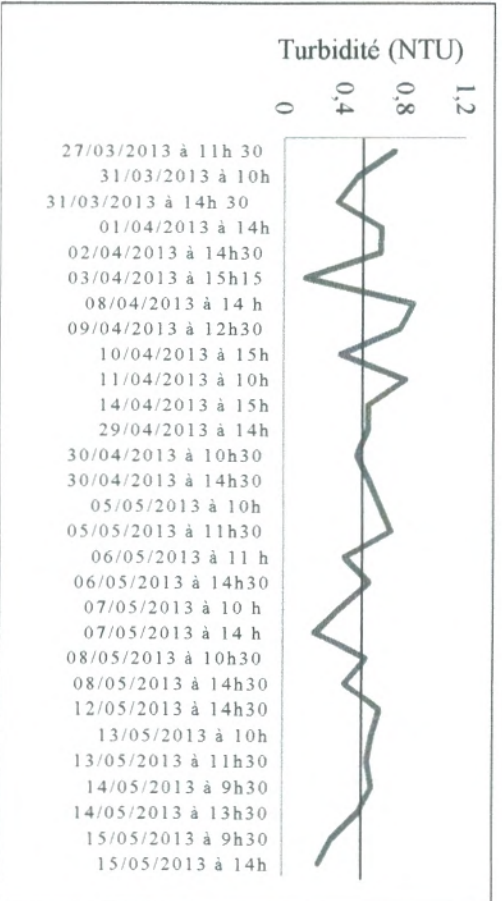


Fig. 38 : Variations de la turbidité d'eau traitée mesurée au laboratoire.

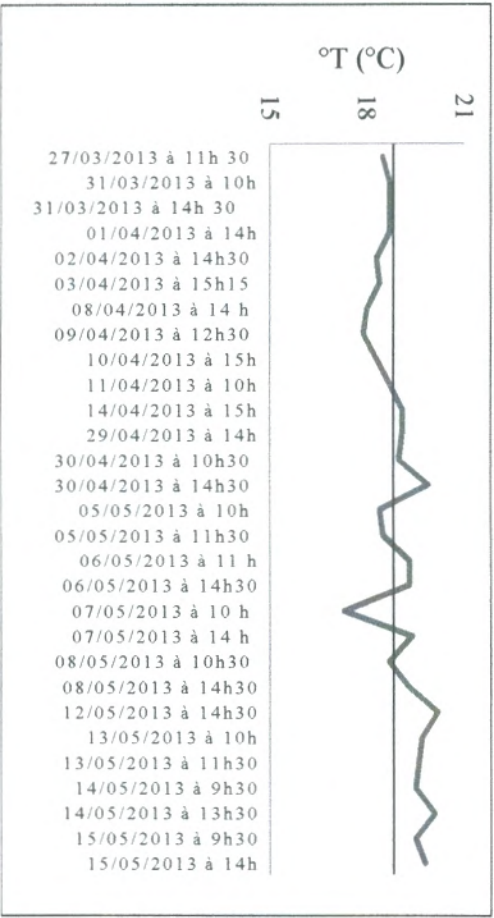


Fig. 39 : Variations de la température d'eau traitée mesurée sur site.

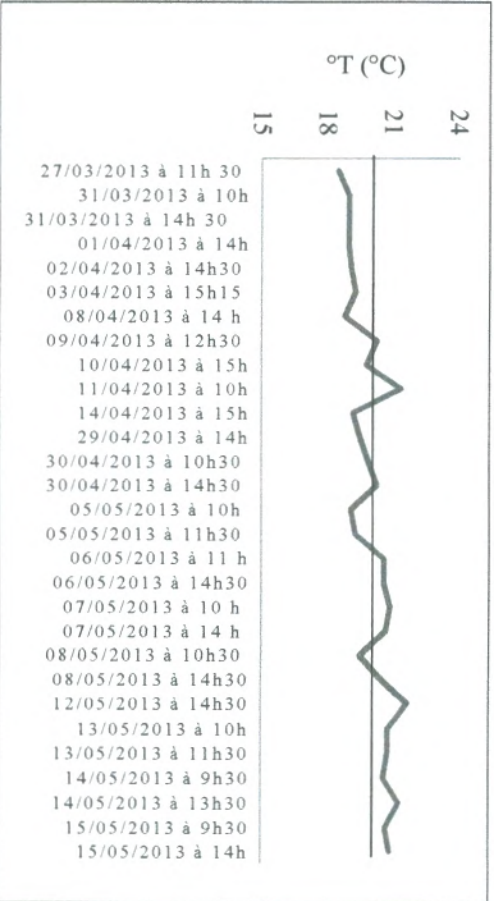


Fig. 40 : Variations de la température d'eau traitée mesurée au laboratoire.

III. 2.2. Potentiel d'hydrogène

Les figures 41 et 42 montrent successivement les mesures du pH sur site et au laboratoire. Pour les analyses effectuées sur site, les valeurs du pH sont comprises entre 8,33 et 8,47 avec une moyenne de 8,38. Le bulletin d'analyses du pH réalisées au laboratoire nous montre un pH maximal de 8,41 tandis que le pH minimal est de 8,27 et la moyenne est égale à 8,34. L'écart-type est de 0,03 pour les deux séries d'analyses. En comparant les deux graphes, on peut observer que les courbes prennent la même allure à part de petites différences en quelques points.

Si l'on se réfère aux normes de potabilité, les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne et à celle de l'OMS dont les valeurs minimale et maximale sont respectivement de 6,5 et 8,5.

III. 2.3. Conductivité électrique

Les observations de mesures de la conductivité électrique de l'eau traitée effectuées sur site (Fig. 43) indiquent les résultats suivants : $EC_{\min} = 856 \mu\text{S/cm}$, $EC_{\max} = 940 \mu\text{S/cm}$, $EC_{\text{moy}} = 894 \mu\text{S/cm}$ et $\text{Écart-type} = 25,46$. Pour les résultats obtenus sur les mesures de la conductivité électrique effectuées au laboratoire (Fig. 44), on a eu : $EC_{\text{minimale}} = 833 \mu\text{S/cm}$, $EC_{\text{maximale}} = 952 \mu\text{S/cm}$, $EC_{\text{moyenne}} = 895 \mu\text{S/cm}$ et $\text{Écart-type} = 29,57$. Les deux courbes sont similaires à part une légère élévation de mesures réalisées au laboratoire par comparaison avec celles-ci réalisées sur site.

Les valeurs de conductivité électrique enregistrées pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne et à celle de l'OMS dont les concentrations maximales admissibles (CMA) sont respectivement de $2880 \mu\text{S/cm}$ et $1400 \mu\text{S/cm}$.

III. 2.4. Chlore libre

La figure 45 représentant la variation des concentrations en chlore libre mesurées sur site de l'eau de consommation montre que ces dernières fluctuent entre 0,32 et 0,74 mg/L avec une moyenne de 0,51 mg/L et un écart-type de 0,1 mg/L. Celles mesurées au laboratoire (Fig. 46) en diffèrent peu et leurs valeurs sont comprises entre 0,25 et 0,76 mg/L. La moyenne et l'écart-type calculés pour les mesures réalisées au laboratoire sont respectivement de 0,49 mg/L et 0,1 mg/L.

Selon l'OMS, ce paramètre ne présente aucun risque sanitaire lorsque l'eau est de bonne qualité, cependant pour le confort et l'agrément du consommateur, une teneur en chlore libre limite est souhaitable. Certaines teneurs en chlore libre des eaux de la station dépassent la valeur guide préconisée par l'OMS qui est de 0,5 mg/L. Cette dernière ne donne aucune valeur maximale admissible.

Fig. 43 : Variations de la conductivité électrique d'eau traitée mesurée sur site.

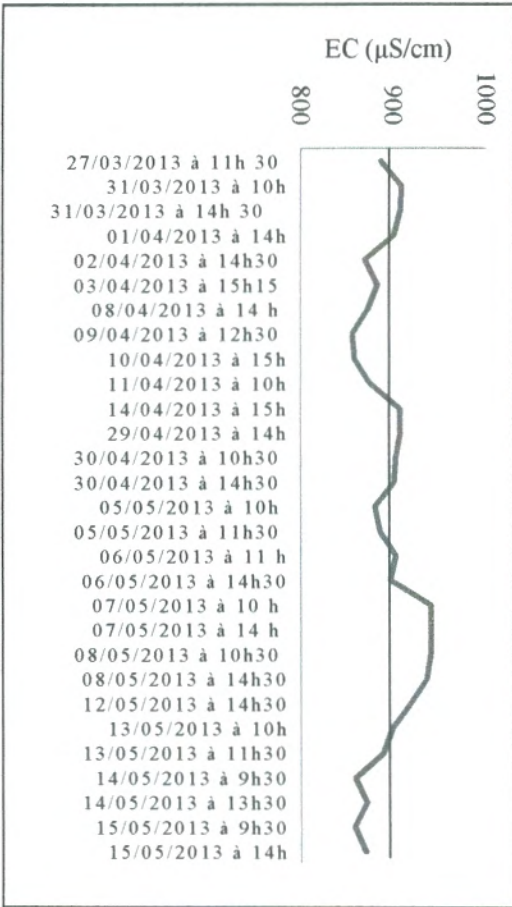


Fig. 41 : Variations du pH d'eau traitée mesurée sur site.

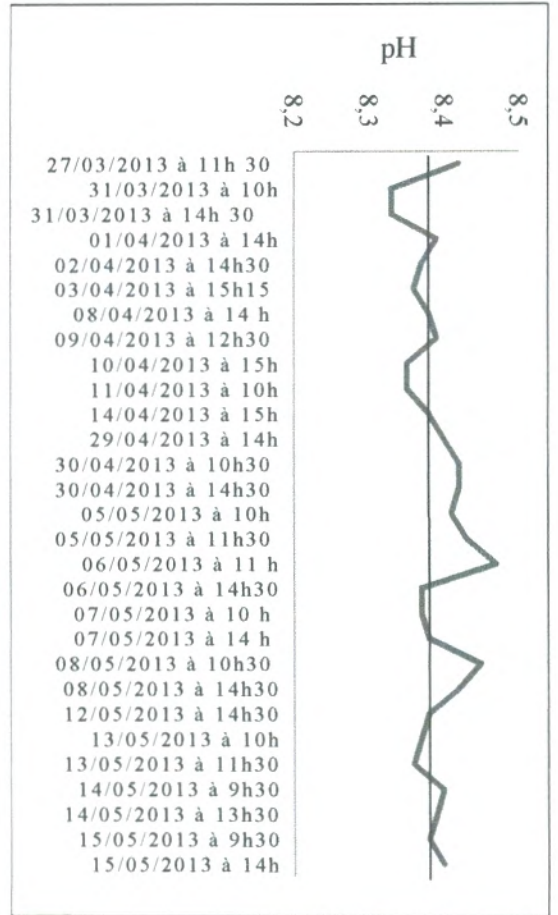


Fig. 44 : Variations de la conductivité électrique d'eau traitée mesurée au laboratoire.

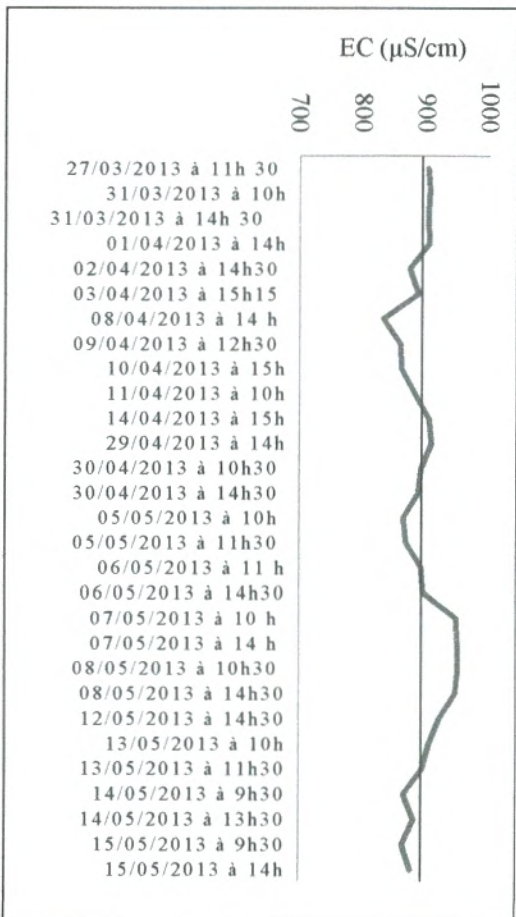


Fig. 42 : Variations du pH d'eau traitée mesurée au laboratoire.

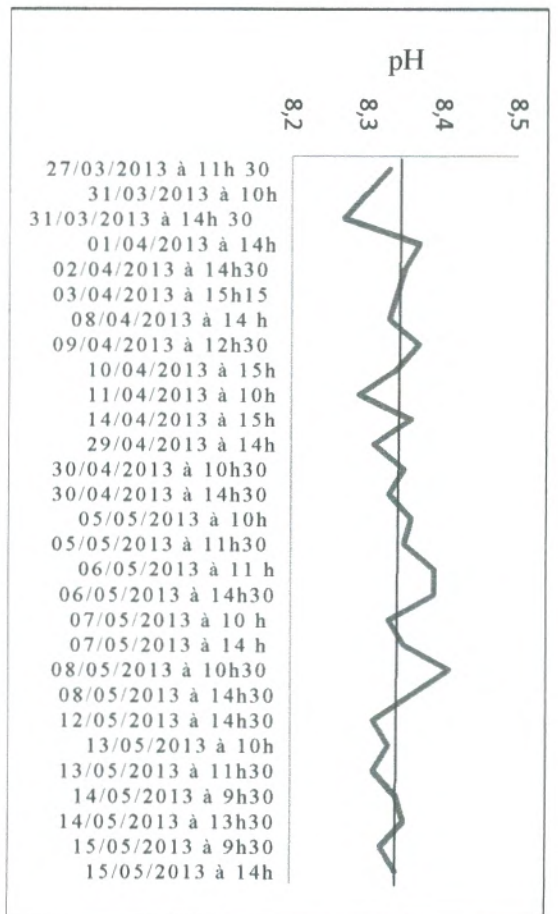


Fig. 45 : Variations des concentrations en chlore libre d'eau traitée mesurées sur site.

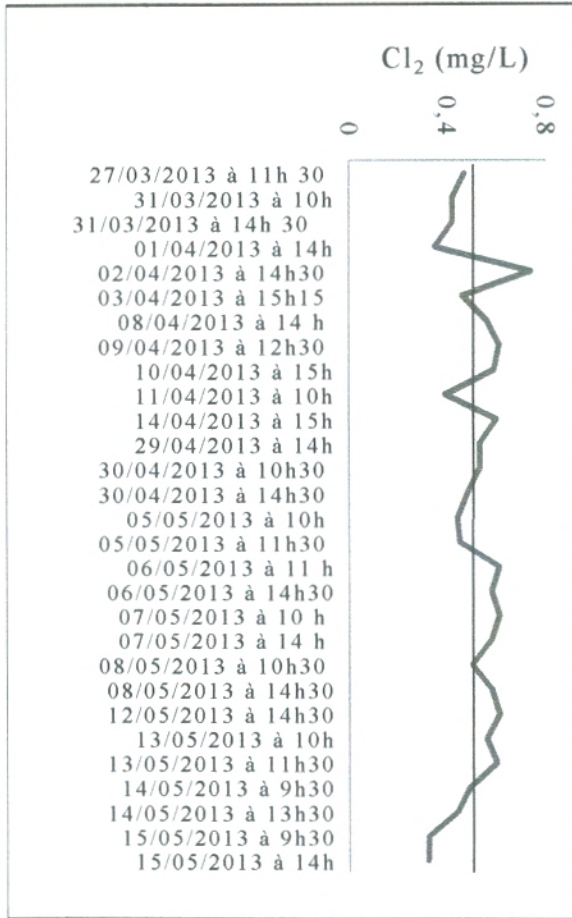
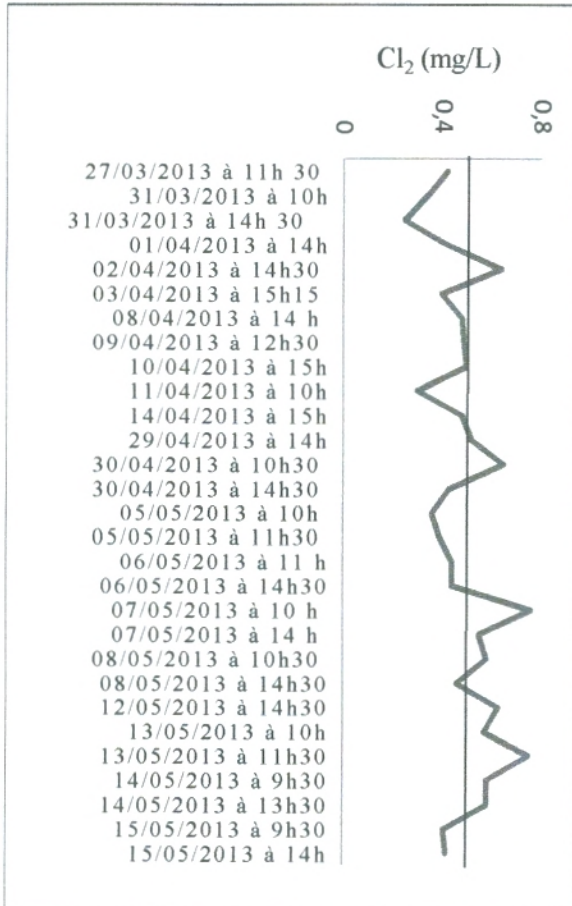


Fig. 46 : Variations des concentrations en chlore libre d'eau traitée mesurées au laboratoire.



III. 2.5. Alcalinité totale, Bicarbonates et Carbonates

La figure 47 comporte les enregistrements des mesures de l'alcalinité totale de l'eau destinée à la consommation. Elle indique des valeurs comprises entre 60,41 et 64,89 mg/L, une moyenne de 62,56 mg/L et un écart-type de 1,18 mg/L.

Toutes ces mesures sont conformes aux valeurs limites préconisées par l'OMS qui sont de 5 et 125 mg/L.

La représentation graphique montrant la variation des concentrations en bicarbonates (Fig. 48) a une allure identique à celle de la variation de l'alcalinité ; Ceci est dû au fait que ces deux paramètres sont reliés par la relation : $[\text{HCO}_3^-] = \frac{61}{50} \times \text{Alcalinité totale}$.

On note : $[\text{HCO}_3^-]_{\text{max}} = 79,16 \text{ mg/L}$, $[\text{HCO}_3^-]_{\text{min}} = 73,7 \text{ mg/L}$, $[\text{HCO}_3^-]_{\text{moy}} = 76,32 \text{ mg/L}$ et écart-type = 1,45 mg/L.

Les valeurs des concentrations en carbonates de l'eau traitée (Fig. 49) enregistrées en fonction du temps sont comprises entre 0,90 et 1,32 mg/L, la moyenne est de 0,99 mg/L et l'écart-type est égal à 0,04 mg/L.

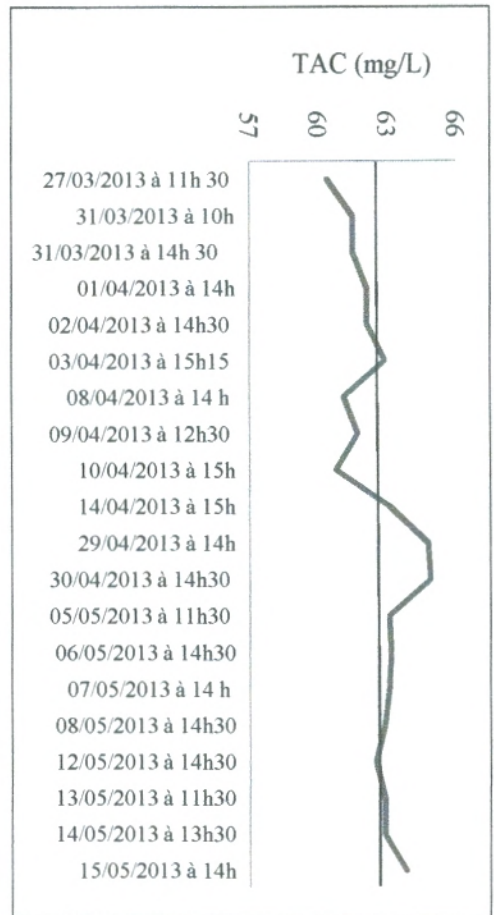


Fig. 47 : Variations de l'alcalinité totale d'eau traitée.

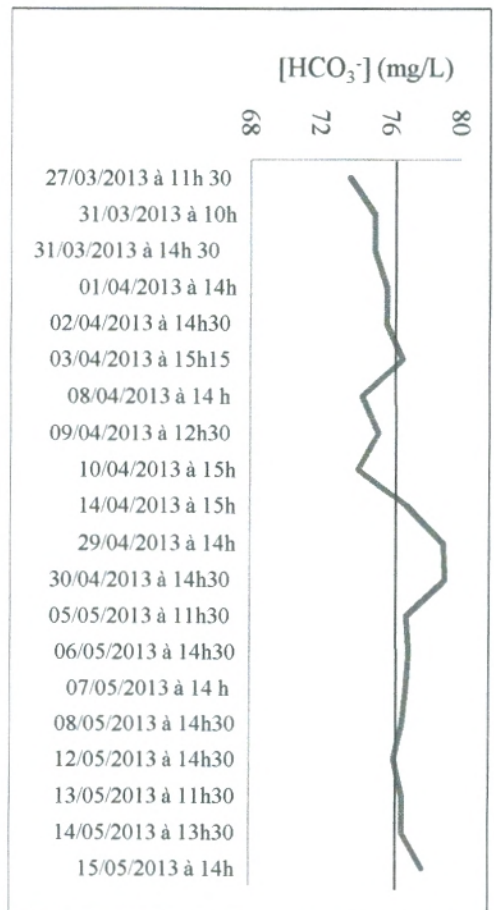


Fig. 48 : Variations des concentrations en bicarbonates d'eau traitée.

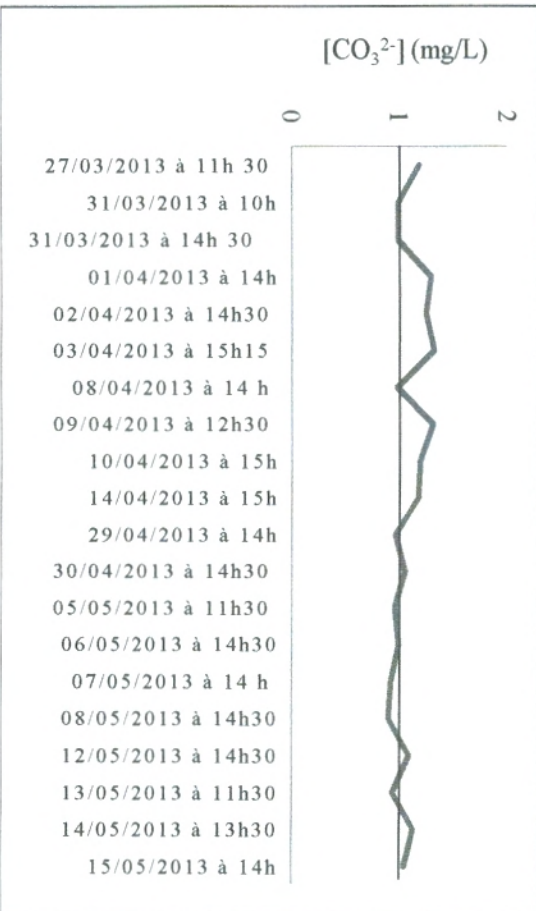


Fig. 49: Variations des concentrations en carbonates d'eau traitée.

III. 2.6. Dureté total (TH°), Calcium et Magnésium

Les valeurs de la dureté de l'eau traitée (Fig. 50) varient entre 78,06 et 110 mg/L. La moyenne et l'écart-type calculés pour cette série de valeurs sont respectivement 86,54 mg/L et 6,52 mg/L.

Les valeurs de ce paramètre sont inférieures à la valeur maximale admissible (500 mg/L) recommandée par les normes algériennes et l'OMS.

Les valeurs de concentrations en calcium (Fig. 51) sont comprises entre 28 et 41,44 mg/L avec une moyenne de 31,35 mg/L et un écart-type de 2,76. Elles évoluent de la même manière que celles de la dureté totale à laquelle elles sont reliées par l'équation :

$$TH \left(\frac{mg}{l} \right) = 2,497 [Ca^{2+}] + 4,118 [Mg^{2+}]$$

Les concentrations en magnésium sont très faibles et sont comprises entre 0,989 et 2,735 mg/L avec une moyenne de 1,97 mg/L et un écart-type de 0,49 mg/L.

Les concentrations en calcium de l'eau traitée sont inférieures à la valeur guide de 75 mg/L recommandée par les normes algériennes et par celles de l'OMS.

Le calcium est un minéral indispensable pour le corps humain et sa carence, dans l'aliment le plus essentiel qui est l'eau, peut provoquer des problèmes sanitaires tels que l'ostéoporose (fragilité excessive du squelette), l'hypocalcémie (taux du calcium dans le sang anormalement bas). Notons aussi que le manque de calcium peut également jouer un rôle dans la pathogénèse des maladies cardio-vasculaires.

Les concentrations en magnésium (Fig. 52) sont trop faibles ($[Mg^{2+}]_{moy} = 1,97$ mg/L) par rapport à la valeur guide recommandée dans les normes de l'OMS qui est de 50 mg/L ; les normes algériennes n'enregistrent qu'une CMA de 150 mg/L.

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).

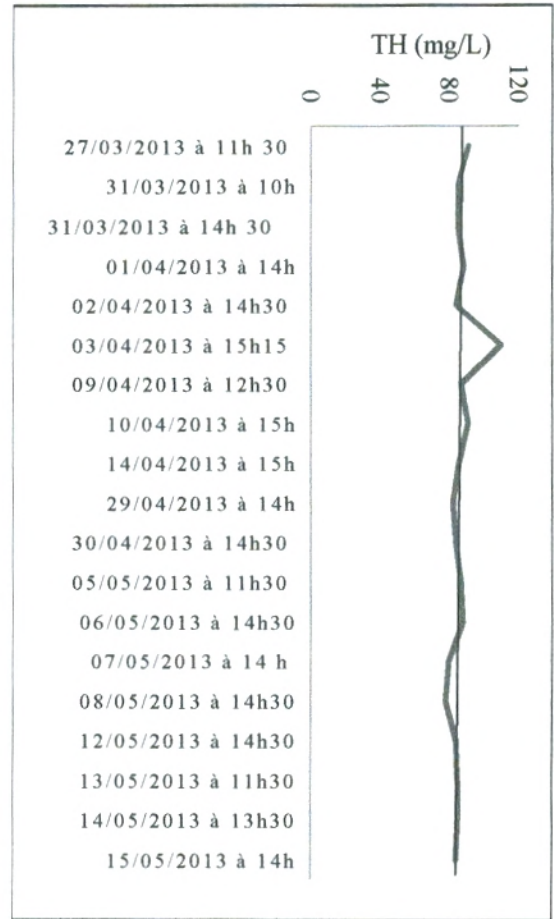


Fig. 50 : Variations de la dureté totale d'eau traitée.

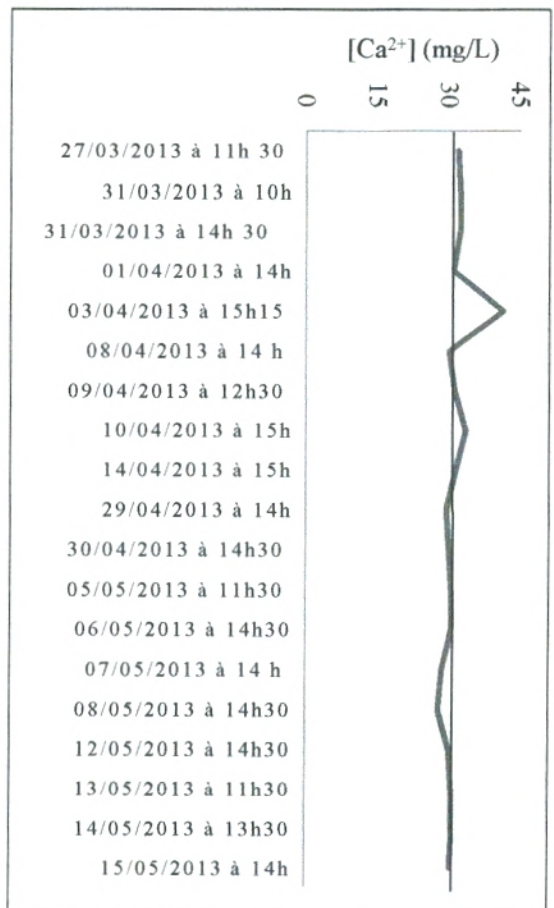


Fig. 51 : Variations des concentrations en calcium d'eau traitée.

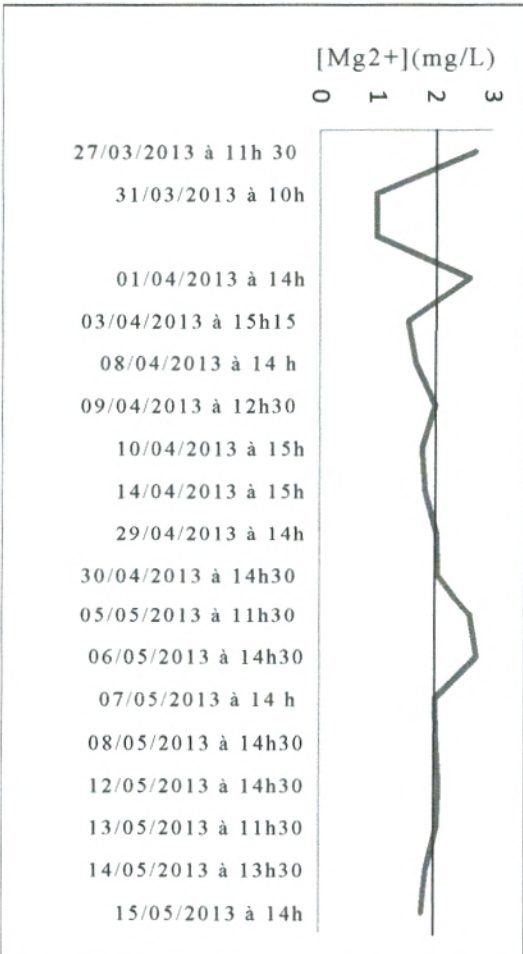


Fig. 52 : Variations des concentrations en magnésium d'eau traitée.

III. 2.7. Sodium

Les valeurs des concentrations en sodium de l'eau traitée (Fig. 53) sont comprises 138,6 et 169,43 mg/L. Celles de la moyenne et de l'écart-type sont respectivement de 151 et 9,79 mg/L.

Ces concentrations en sodium respectent les normes algériennes et de l'OMS puisqu'elles restent inférieures à la concentration maximale admissible qui est de 200 mg/L.

III. 2.8. Potassium

La figure 54 montre les variations des concentrations en K^+ de l'eau potable de la station. Elle enregistre des valeurs comprises entre 2,54 et 9,68 mg/L, une moyenne de 4,87 mg/L et un écart-type égal à 1,5 mg/L.

Les valeurs de concentrations en potassium sont assez faibles par rapport à la CMA recommandée dans les normes algériennes qui est de 20 mg/L.

Comme le potassium est un minéral essentiel qui assure plusieurs fonctions vitales dans l'organisme, un déficit de ce minéral dans l'eau de boisson peut provoquer plusieurs problèmes de santé qui s'expriment par la fatigue, la faiblesse et les crampes musculaires, la paresse intestinale, les ballonnements, les douleurs abdominales et la constipation. Si cette carence en potassium dans l'eau potable se réunit avec un manque dans l'alimentation, le risque sanitaire pourra aller jusqu'à la paralysie musculaire et l'arythmie cardiaque (De Zuane, 1997).

III. 2.9. Total de solides dissous

Le graphe de variations de la TDS mesurée pour l'eau traitée (Fig. 55) montre que les valeurs de celles-ci varient entre 442 et 546 mg/L avec une moyenne de 509,4 mg/L et un écart-type est de 17,63 mg/L.

Les valeurs de TDS dépassent, en plusieurs points, la valeur guide fixée par les normes algériennes de potabilité (500 mg/L) tandis qu'elles restent conformes aux normes de l'OMS (CMA = 1 500 mg/l) et dépassent aussi la CMA recommandée dans le contrat d'achat d'eau potable et exigée par la direction de la station de dessalement de Souk Tleta (Annexe II. 2).

Une haute concentration en TDS dans les eaux de boisson n'est pas dangereuse pour la santé.

III. 2.10. Bore

La courbe représentant les variations des concentrations en bore de l'eau destinée à la consommation (Fig. 56) indique que ces dernières varient entre 1,12 et 1,22 mg/L, avec une moyenne de 1,16 mg/L et un écart-type égal à 0,03 mg/L.

Les valeurs de concentrations en bore dépassent la valeur maximale admissible recommandée par l'OMS qui est de 1 mg/L.

Même si de telles concentrations en bore dans l'eau potable ne provoquent pas de dangers sanitaires pour les consommateurs, mais avec la probabilité d'augmentation de ces teneurs, on pourra parler des risques sanitaires suivants : problèmes de reproduction chez l'homme et des anomalies du développement (De Zuane, 1997).

IV. 2.11. Chlorures, sulfates, nitrates et nitrites

Les valeurs des concentrations en chlorures (Fig. 57) et celles en sulfates (Fig. 58) de l'eau traitée sont respectivement comprises entre 252,62 et 277,48 mg/L et 3,83 et 4,46 mg/L.

Les moyennes et les écart-types pour ces deux paramètres sont respectivement de 264,73 mg/L et 12,44 pour les chlorures et de 4,1 mg/L et 0,33 mg/L pour les sulfates.

Les concentrations en chlorures sont conformes aux normes algériennes et de l'OMS qui préconisent respectivement des valeurs de 200 et 600 mg/L.

En ce qui concerne les ions sulfates, leurs concentrations sont très faibles par rapport à la valeur guide recommandée par les normes algériennes qui est de 200 mg/L et de l'OMS qui préconise une valeur guide de 400 mg/L.

Les sulfates représentent la source majeure de soufre, et comme ce composant est essentiel pour de nombreuses protéines (peau, ongles, cheveux, ...), son déficit dans l'eau de boisson pourrait conduire à un ralentissement de la pousse des cheveux et des ongles chez le consommateur. Aussi il augmente la vulnérabilité aux infections car les échanges entre cellules sont moins bien assurés.

L'analyse des ions nitrites et nitrates par chromatographie ionique ne permet pas de doser avec précision des teneurs inférieures à 0,5 mg/L.

Notons que toutes les concentrations en ces éléments ne dépassent pas cette valeur de 0,5 mg/L.

De ce fait, ces concentrations en nitrates restent inférieures aux normes de potabilité algérienne et de l'OMS qui sont toutes les deux représentées par la valeur de 50 mg/L.

Cependant, pour les nitrites, leurs teneurs restent conformes à la norme indiquée par l'OMS qui indique une CMA de 0,5 mg/L et pourraient être supérieures à la norme algérienne qui préconise une CMA = 0,1 mg/L.

III. 3. Indice de Langelier

La courbe de la Figure 59 indique des valeurs de LSI comprises 0,07 et 0,29 et une moyenne de 0,14. Ces valeurs positives de LSI montrent que les eaux sont sursaturées et pourraient de ce fait conduire au colmatage des membranes.

Fig. 55 : Variations de la TDS d'eau traitée.

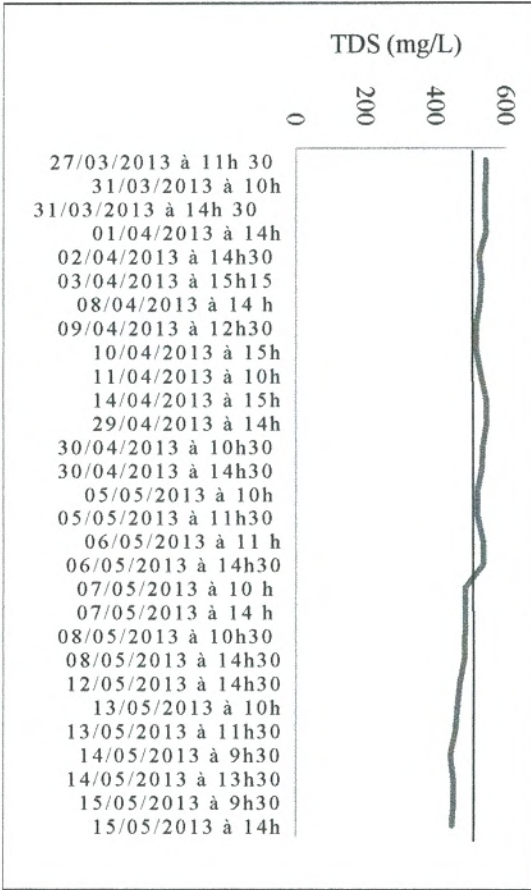


Fig. 53 : Variations des concentrations en sodium d'eau traitée.

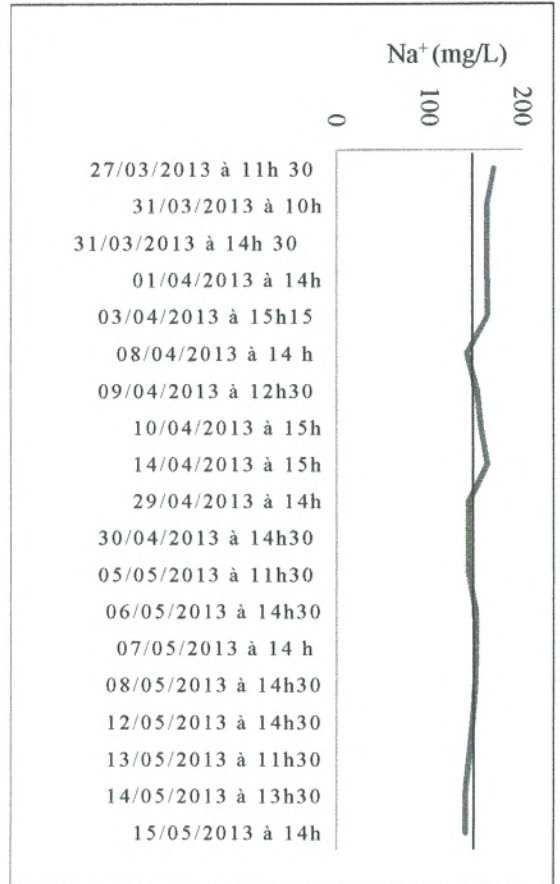


Fig. 56 : Variations des concentrations en bore d'eau traitée.

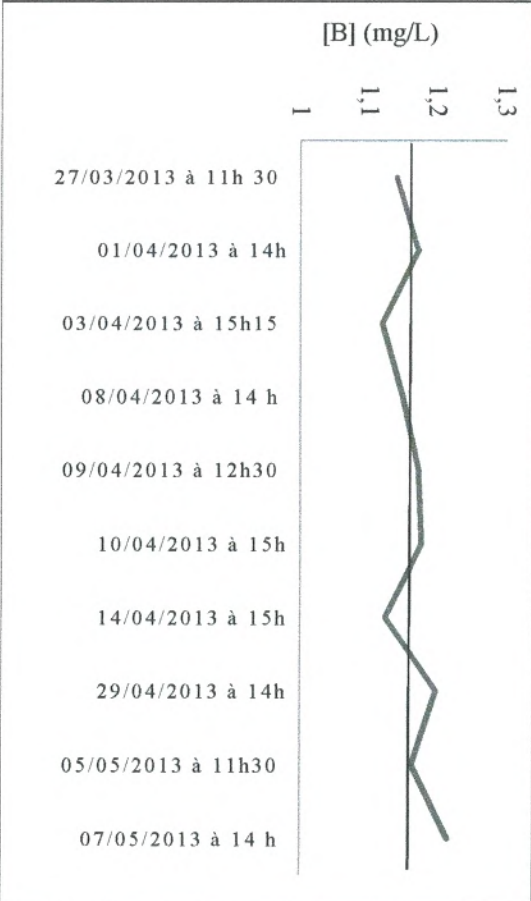
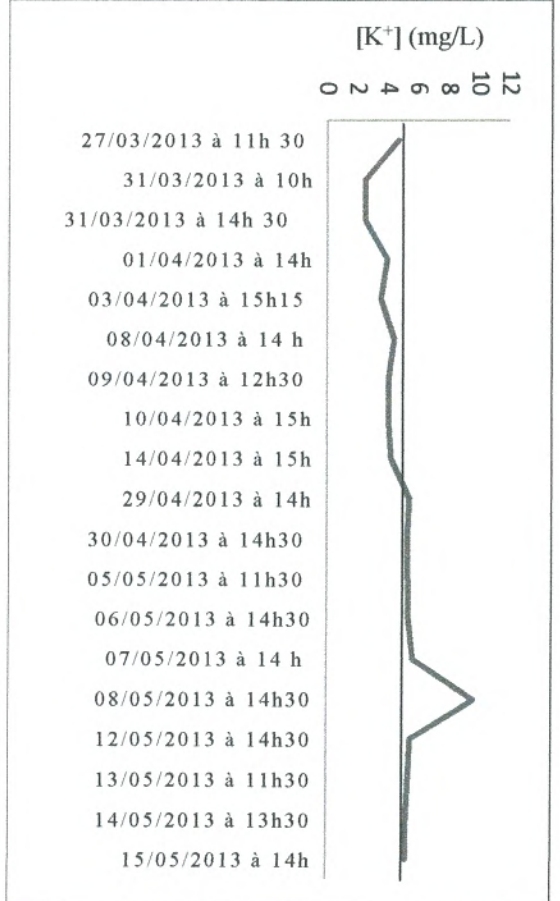


Fig. 54 : Variations des concentrations en potassium d'eau traitée.



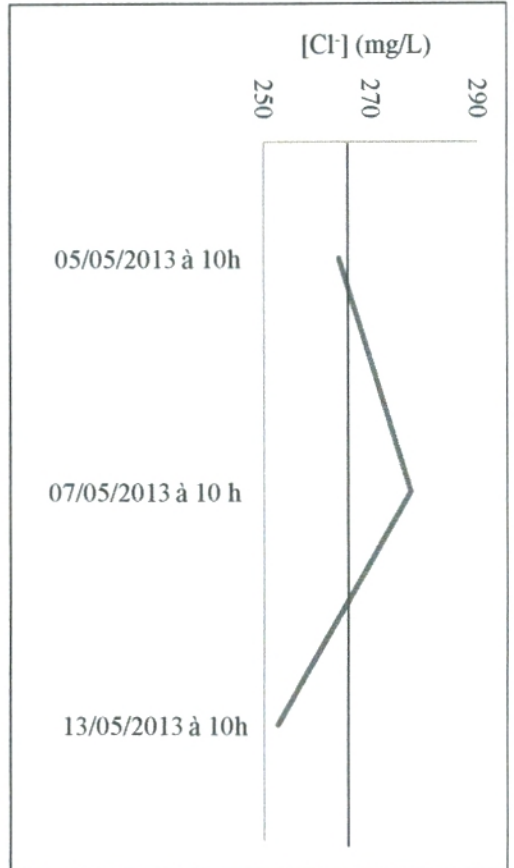


Fig. 57 : Variations des concentrations en chlorures d'eau traitée.

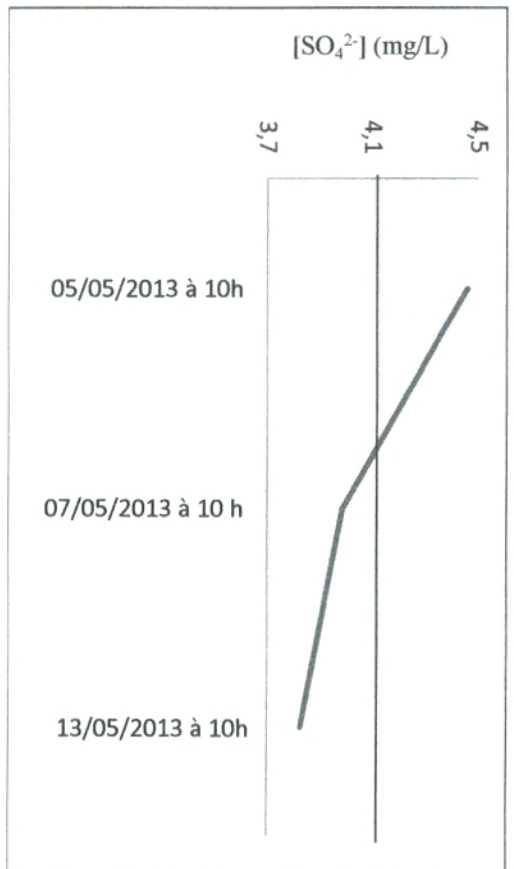


Fig. 58 : Variations des concentrations en sulfates d'eau traitée.

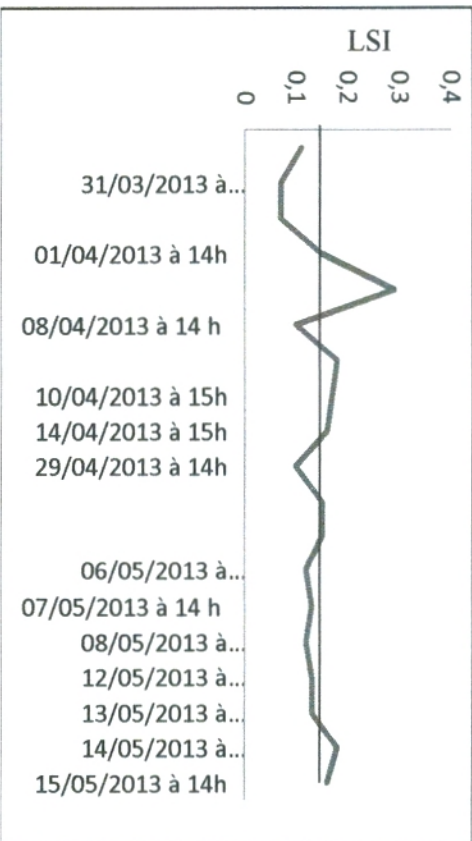


Fig. 59 : Variations de LSI d'eau traitée.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Le dessalement de l'eau de mer est un moyen utilisé pour augmenter la ressource en eau douce et lutter contre la soif dans le monde. Il existe plusieurs procédés de dessalement, parmi lesquels, l'osmose inverse qui est la technologie de séparation membranaire la plus répandue. Elle permet la filtration des sels dissous sous pression à travers une membrane. Cette technologie nécessite un prétraitement pour retenir la matière en suspension dans le but de protéger les membranes contre le colmatage, et un post-traitement, après l'obtention du perméat, pour la reminéralisation des eaux de façon qu'elles soient conformes à la consommation humaine.

Une filtration mécanique, systèmes de nettoyage et dosage de plusieurs réactifs (Chlore, SMBS, dioxyde de carbone, chaux,...) sont des opérations effectuées afin de protéger les équipements de l'usine de dessalement et de produire une eau potable de bonne qualité.

Les paramètres mesurés pour l'eau de mer respectent les normes recommandées dans le contrat avec un pH supérieur à 8 et une conductivité électrique moyenne de 53275 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aussi la prise d'eau brute à 860 m dans la mer assure une meilleure qualité qui affirme une absence de toute contamination fécale et de pollution domestique.

En ce qui concerne les eaux traitées, on peut noter les points suivants :

- Les analyses organoleptiques établies pour cette eau ne détectent aucune gêne pour la consommation humaine à part un léger goût de javel.
- Les mesures effectuées pour le pH ainsi que celles de la conductivité électrique donnent des valeurs conformes aux normes algériennes et de l'OMS.
- Concernant les cations et anions, une attention particulière devrait être portée aux ions calcium, magnésium, potassium et sulfates dont les teneurs de l'eau potable restent très faibles par rapport à la valeur guide préconisée par l'OMS. Notons qu'une telle carence pourrait engendrer, à l'avenir, des problèmes de santé importants chez le consommateur.
- Les concentrations en chlorure, bicarbonate, nitrate et sodium dans l'eau traitée sont conformes aux normes de potabilité suscitées.
- Les valeurs de concentrations en bore dépassent légèrement la valeur maximale admissible recommandée par l'OMS qui est de 1 mg/L. Même si de telles concentrations en bore dans l'eau potable dépassent légèrement la norme suscitée, elles pourraient provoquer des risques sanitaires chez les consommateurs (problèmes de reproduction chez l'homme et anomalies du développement).
- Concernant les nitrites, aucune conclusion définitive ne peut être donnée du fait que les concentrations inférieures à 0,5 mg/L ne peuvent pas être détectées par le chromatographe utilisé.
- Les valeurs de l'indice de saturation de Langelier témoignent d'un début de colmatage (incrustations) et donc des mesures préventives devraient être prises dans l'immédiat.

Recommandations

Suite aux observations réalisées lors du stage effectué au niveau de la station de dessalement d'eau de mer de Souk Tleta, on peut noter les recommandations suivantes :

- Il est nécessaire d'effectuer fréquemment des analyses de métaux lourds pour les eaux traitées au niveau du laboratoire de la station.
- Il faut ajuster les concentrations en calcium, potassium, magnésium, bore et sulfate de l'eau traitée de façon qu'elles soient conformes aux normes algériennes et/ou à celles de l'OMS.
- Une surveillance plus exacte est recommandée pour la désinfection au chlore et l'élimination de ce dernier, de telle façon que l'eau potable (eau fournie au consommateur) ne présentera aucun gout d'eau de javel.
- En ce qui concerne les paramètres chimiques, il est préférable de se conformer aux normes de potabilité existantes non prévues dans le contrat d'achat de l'eau traitée.
- Il est important de réviser la norme de la concentration en bore (moyenne annuelle inférieure à 1,3 mg/L) utilisée par la station. Il serait plus correcte de fixer une norme quotidienne de ce paramètre dont les concentrations journalières fluctuent et pourraient dépasser de loin la valeur de 1,3 mg/L déjà supérieure à la norme de l'OMS.
- Il faut prendre les mesures nécessaires afin d'éviter le colmatage des membranes en réduisant le LSI.

Références bibliographiques

ANNEXE I :

Appareillage et Modes Opérateires

8- Appuyer sur OK pour lancer la lecture qui va prendre un peu du temps avant de stabiliser et s'afficher sur l'écran de l'instrument.

- **Calibrage et vérification**

Le calibrage du pH-mètre se fait à l'aide de trois solutions standards qui sont préparées à partir d'une poudre tampon à un pH bien déterminé (pH 4,01, pH 7,00 et pH 10,01) dissolue dans l'eau ultra pure. Cette opération d'étalonnage se fait quotidiennement, chaque matin avant la prise des mesures. Elle se déroule de la façon suivante :

- 1- Dans la liste de programmes du l'appareil, on choisit (Calibrage) ;
- 2- Premièrement, mesurer le pH de la solution standard pH 4,01 ;
- 3- Ensuite, mesurer le pH de la solution standard pH 7,00 ;
- 4- Et enfin, mesurer le pH de la solution standard pH 10,01.

Remarque : A chaque passage d'une mesure à l'autre, et pour éviter tout type de contamination, il est obligatoire de rincer la sonde avec de l'eau ultra pure et de la bien sécher.

La vérification se réalise de la façon suivante :

- 1- Dans la liste de programmes du pH-mètre, choisir (Mesure du pH) ;
- 2- Vérifier l'efficacité du calibrage en mesurant le pH de la solution standard pH 7,00.

En fin, le pH-mètre est prêt à être utilisé pour mesurer le pH des échantillons

I. 4. Conductivité électrique EC

- **Mode opératoire**

En utilisant le conductimètre HACH SensION EC7, la mesure s'effectue comme suit :

- 1- Verser 100 ml d'échantillon dans un bécher propre et sec ;
- 2- Allumer le conductivimètre ;
- 3- Rincer la sonde avec l'eau ultra pure et la bien sécher, puis la rincer avec de l'eau à analyser ;
- 4- Tremper la sonde dans le bécher ;
- 5- Lancer la lecture en appuyant sur EC. La lecture prend un peu du temps pour se stabiliser et s'afficher sur l'écran de l'appareil.

- **Calibrage et vérification**

Le calibrage du conductivimètre se fait à l'aide de trois solutions standards qui sont préparées à une conductivité bien déterminée ($EC_1 = 147 \mu\text{S}/\text{cm}$, $EC_2 = 1413 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $EC_3 = 12,88 \text{ mS}/\text{cm}$). Cette opération d'étalonnage se fait chaque semaine et elle se déroule de la façon suivante :

- 1- Dans la liste de programmes de l'appareil, on doit choisir (Calibrage) ;
- 2- Premièrement, mesurer la conductivité de la première solution standard à $EC_1 = 147$;
- 3- En suite, mesurer la conductivité de la seconde solution standard à $EC_2 = 1413 \mu\text{S/cm}$;
- 4- Et enfin, mesurer la conductivité de la dernière solution standard à $EC_3 = 12,88 \text{ mS/cm}$.

Remarque : A la fin de chaque une mesure, il est obligatoire de rincer la sonde avec de l'eau ultra pure et de la bien sécher avant de passer à la mesure suivante.

Pour son étalonnage, la sonde est trempée dans une solution standard de chlorure de potassium (KCl) ayant une conductivité de $180 \pm 2 \mu\text{S/cm}$.

I. 5. Alcalinité Totale

Ce paramètre est mesuré par la méthode titrimétrique de HCl

• Solutions et matériels utilisés

- Echantillon à analyser ;
- Solution HCl à 0,02 M d'une concentration de 0,0191 mg/L;
- Eau ultra pure ;
- Fiole d'erlenmeyer
- Pipette graduée de 100 ml ;
- Burette graduée ;
- pH-mètre et agitateur magnétique.

• Mode opératoire

- 1- Prendre 100 ml de l'échantillon à analyser à l'aide de la pipette et les verser dans la fiole ;
- 2- Mesurer le pH initial de l'échantillon ;
- II. Noter le volume initiale du HCl contenant dans la burette ;
- III. Titrer l'échantillon avec le HCl en lançant au même temps l'agitateur et le pH-mètre, jusqu'avoir un pH compris entre 4,55 et 4,45 ;
- IV. Noter le pH final de la solution après titrage et le volume final restant dans la burette.

Remarque : Ce test se fait 2 fois pour chaque mesure et les valeurs utilisées dans la formule de mesure de l'alcalinité ce sont les moyennes entre les valeurs des 2 tests.

• Formule de calcul

$$\text{Alcalinité Totale } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{\text{concentration de 0,02M de HCl} \times \text{moyenne du volume de HCl consommé} \times 50\,000}{\text{Volume d'échantillon}}$$

- **Mode opératoire :**

- 1- Préchauffer l'étuve à 180 °C ;
- 2- Sécher la capsule vide dans l'étuve à 180 °C pendant 2 h (Minuterie réglée pour 2h) ;
- 3- Mettre la capsule sèche dans le dessiccateur pendant 20 minutes (en utilisant toujours la minuterie) ;
- 4- Peser la capsule sèche et vide en utilisant la balance électronique ; c'est le W_{tb} ;
- 5- Homogénéiser l'échantillon ; et prendre 25 ml d'eau à l'aide de la pipette ;
- 6- Verser le volume sur le papier filtre fixé sur l'entonnoir ;
- 7- Démarrer la pompe de filtration, qui aspire le filtrat dans un bécher ;
- 8- Verser le filtrat dans la capsule ;
- 9- Peser l'ensemble (capsule + filtrat) ;
- 10- Chauffer l'ensemble dans l'étuve pendant 2h à 180 °C ;
- 11- Mettre l'ensemble dans le dessiccateur pendant 20 minutes ;
- 12- Peser l'ensemble ; c'est le W_{ta} .

Le calcul de TDS est réalisé par la formule suivante :

$$\text{TDS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \frac{W_{ta} - W_{tb}}{V} \times 10^6$$

Avec :

- W_{ta} : le poids de l'ensemble (capsule + filtrat) après chauffage et séchage en mg ;
- W_{tb} : le poids de la capsule vide après chauffage et séchage en mg ;
- V : volume d'échantillon qui est égal à 25 ml.

- Détermination de TDS par calcul

La manière commode de mesurer la TDS est d'examiner la conductivité de l'échantillon. La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à faire passer un courant électrique, cette traversée est affectée par la présence des matières solides dissoutes. La conductivité est multipliée par un facteur fixé à l'avance.

Le facteur de TDS est mesuré de la façon suivante :

- Mesurer le EC d'une gamme d'échantillons (15 à 20 échantillons) ;
- Mesurer le TDS des mêmes échantillons ;
- Le facteur de TDS d'un échantillon est déduit par la division de TDS sur EC de même échantillon ;

Avec :

$$\text{Facteur de TDS} = \frac{\text{TDS}}{\text{EC}}$$

- TDS en mg/L ;
- EC en mg/L.
- On obtiendra une série de 15 à 20 valeurs de facteurs de TDS ;
- On calcul la moyenne pour avoir un seul facteur de TDS ;

$$\text{Facteur de TDS} = \frac{\text{Total de facteurs de TDS}}{\text{Nombre d'échantillons}}$$

- De cette façon on obtiendra un facteur de TDS qui permet au futur de mesurer le TDS directement sans passer par la méthode gravimétrique ;

$$\text{TDS (mg/L)} = \text{EC} \times \text{Facteurs de TDS}$$

Remarque : cette méthode de calcul permet de gagner du temps et d'accélérer l'opération en mesurant de TDS, mais il est nécessaire de refaire la mesure du facteur à chaque période. Aussi, le facteur de TDS se change d'un endroit du prélèvement à l'autre à cause de variation d'EC.

- Au moment de notre stage au niveau de laboratoire de la station, les facteurs de TDS de quelques échantillons selon les sites du prélèvement étaient fixés aux valeurs suivantes :

Facteurs de TDS de quelques échantillons.

Echantillon	Facteur de TDS
Eau traitée	0,60
Eau filtrée par RO	0,60
Eau filtrée par UF	0,65
Eau d'alimentation de RO	0,65
Eau de mer	0,70

I. 8. TSS

- Détermination de TSS par spectrométrie

- 1- Sur le programme du spectromètre HACH DR 2700, il faut choisir mesure de TSS ;
- 2- Remplir une cuvette en verre de spectromètre propre et sèche, avec 10 ml de l'eau ultra pure ;
- 3- Insérer la cuvette dans l'appareil et appuyer sur ZERO pour l'étalonner ; l'écran affichera 0 mg/L ;
- 4- Remplir la deuxième cuvette avec 10 ml de l'eau à analyser ;
- 5- Insérer la cuvette dans l'appareil et appuyer sur READ ;
- 6- La valeur de mesure s'affiche directement sur l'écran de l'appareil en ppm.

- Détermination de TSS par gravimétrie

Pour mesurer le TSS par la méthode gravimétrique, on suit les mêmes étapes que celles de mesure de TDS en utilisant l'étuve à une température qui s'installe entre 103 à 105°C au lieu de 180°C.

Mais dans cette opération, c'est ce qui reste sur le papier filtre qui est concerné par le chauffage, le séchage et le calcul du poids.

I. 9. Chlore libre

• Solutions et matériels utilisés

- Echantillon à analyser ;
- Sachet de DPD pour 10 ml ;
- Cuvette en verre de 10 ml ;
- Colorimètre HACH DR 890 ;
- Agitateur
- Eau ultra pure.

Remarque : Le DPD signifie Diéthyl-P-Phénylénédiamine est une amine aromatique dont la formule chimique est $C_{10}H_{16}N_2$, utilisée comme réactif pour le dosage du chlore, du brome et de l'ozone dans l'eau via colorimétrie

• Mode opératoire

- 1- Dans le programme du colorimètre, choisir Cl_2 ;
- 2- Remplir la cuvette propre et sèche par 10 ml d'eau à analyser ;
- 3- Insérer la cuvette dans le colorimètre et mettre le couvercle, puis appuyer sur ZERO pour étalonner l'appareil à 0 mg/L ;
- 4- Ouvrir la cuvette et ajouter un sachet du DPD ;
- 5- Utiliser l'agitateur pour assurer la dissolution complète du DPD. On aura une couleur rose qui indique la présence du chlore ;
- 6- Réinsérer la cuvette dans le colorimètre et remettre le couvercle, puis appuyer sur READ pour lancer la mesure ;
- 7- La mesure s'affichera sur l'écran de l'appareil en quelques secondes.

I. 10. Ions majeurs

• Solutions et matériels utilisés pour l'analyse des cations

- Echantillon à analyser ;
- Solution d'étalon de Ca^{2+} à 1000 mg/L ;
- Solution d'étalon de Mg^{2+} à 1000 mg/L ;
- Solution d'étalon de K^+ à 1000 mg/L ;
- Solution d'étalon de Na^+ à 1000 mg/L ;
- Acide dipicolinic (DPA) ;
- Acide nitrique à 60% ;
- Fiole jaugée en plastique de 2000 ml ;
- Micropipette (100 à 1000 μ l) ;
- Chromatographe ionique Metrohm Compact IC 881 pro ;
- Balanceur électronique ;

- Seringue d'injection
- Récipient d'éluant en plastique de 2000ml.
- Eau ultra pure ;

- **Préparation de solutions d'étalons des cations**

A partir des solutions mères des cations (1000 mg/L), préparer les solutions standards qui sont indiquées dans le tableau suivant :

Les solutions standards des cations.

Solution standard	N° 1 mg/L	N°2 mg/L	N°3 mg/L	N°4 mg/L
Ca ²⁺	1	5	10	20
Mg ²⁺	0,25	0,5	1	2
K ⁺	1	5	10	20
Na ²⁺	1	2,5	5	10

- **Préparation d'éluant des cations**

- 1- Peser 0,117 g d'acide dipicolinic (DPA) et les diluer dans 400 ml d'eau ultra pure dans une fiole de 2000 ml en plastique ;
- 2- Mesurer 130 µl d'acide nitrique à 60% en utilisant la micropipette et les verser dans la même fiole ;
- 3- Diluer le contenu de la fiole avec l'eau ultra pure jusqu'au 2000 ml. L'éluant est maintenant prêt à être utilisé ;
- 4- S'assurer que la conductivité de l'éluant soit entre 712 à 716 µS/cm pour le bon fonctionnement de la chromatographie ionique ;
- 5- Raccorder le récipient d'éluant avec l'appareil.

- **Mode opératoire**

- 1- Etalonner le chromatographe ionique avec les solutions standards en les enregistrant comme des références ;
- 2- Injecter à l'aide de seringue 2 ml de l'eau à analyser dans le chromatographe et appuyer sur « START » ;
- 3- Le traçage de la courbe prend 17 minutes, puis appuyer sur « STOP » ;
- 4- Les valeurs des concentrations des cations en ppm sont obtenues par une simple lecture sur l'écran d'ordinateur.

Remarque : Pour l'eau de mer, il faut préparer des dilutions d'échantillon avant l'injection dans le chromatographe car les concentrations des cations sont plus importantes.

- **Solutions et matériels utilisés pour l'analyse des anions**

- Echantillon à analyser ;
- Solution étalon de Cl⁻ à 1000 mg/L ;
- Solution étalon de NO₂⁻ à 1000 mg/L ;
- Solution étalon de NO₃⁻ à 1000 mg/L ;

- Solution étalon de SO_4^{2-} à 1000 mg/L ;
- Bicarbonate de sodium à 1 mmol/L ;
- Carbonate de sodium à 3,2 mmol/L ;
- Fiole jaugée en plastique de 2000ml ;
- Micropipette (100-1000 μ l) ;
- Balanceur électronique ;
- Chromatographe ionique Metrohm Compact IC 881 pro ;
- Seringue d'injection ;
- Récipient d'éluant en plastique de 2000ml ;
- Eau ultra pure.

- **Préparation de solutions d'étalons des anions**

A partir des solutions mères des cations (1000 mg/L), préparer les solutions standards qui sont indiquées dans le tableau suivant :

Les solutions standards des anions.

Solution standard	N° 1 mg/L	N°2 mg/L	N°3 mg/L	N°4 mg/L
Cl^-	1	5	10	20
NO_2^-	0,2	1	1,5	2
NO_3^-	0,5	1	1,5	2
SO_4^{2-}	0,5	1	1,5	2

- **Préparation d'éluant des anions**

- 1- Peser 168 g de bicarbonates de sodium et 0,678 g de carbonates de sodium et les diluer dans l'eau ultra pure dans une fiole jaugée en plastique de 2000 ml ;
- 2- Remplir le reste du volume de la fiole avec l'eau ultra pure. L'éluant est maintenant prêt à être utilisé ;
- 3- Raccorder le récipient d'éluant avec l'appareil.

- **Mode opératoire**

- 1- Etalonner le chromatographe ionique avec les solutions standards en les enregistrant comme des références ;
- 2- A l'aide de seringue, injecter 2 ml de l'eau à analyser dans le chromatographe et appuyer sur « START » ;
- 3- Le traçage de la courbe prend 17 minutes, puis appuyer sur « STOP » ;
- 4- Les valeurs des concentrations des anions en ppm sont obtenues par une simple lecture sur l'écran d'ordinateur.

I. 11. Bore

- Mesure de concentration du bore de l'eau traitée par chromatographie ionique

• Solutions et matériels utilisés

- Echantillon à analyser ;
- Solution étalon de bore à 1000mg/L ;
- Carbonate de sodium Na_2CO_3 anhydre ;
- Hydroxyde de sodium NaOH à 50% ;
- Fiole jaugée en plastique de 100ml ;
- Fiole jaugée en plastique de 2000ml ;
- Micropipette (100-1000 μl) ;
- Chromatographe ionique Metrohm Compact IC 881 pro ;
- Balance électronique ;
- Seringue d'injection ;
- Récipient d'éluant en plastique de 2000ml ;
- Eau ultra pure.

• Préparation de solution d'étalon du bore

A partir de la solution mère du bore (1000 mg/L), préparer les solutions standards qui sont indiquées dans le tableau suivant :

Les solutions standards du bore.

Solution Standard	N°1 mg/L	N°2 mg/L	N°3 mg/L
B	0,5	1,0	2,0

• Préparation d'éluant du bore

- Peser 0,0424 g de carbonate de sodium (Na_2CO_3) et les diluer dans 400 ml d'eau ultra pure dans une fiole de 2000 ml ;
- A l'aide de micropipette, mesurer 434 μl d'hydroxyde de sodium NaOH à 50% et les rajouter dans la même fiole ;
- Diluer le contenant des deux produits chimiques avec de l'eau ultra pure jusqu'au 2000ml. L'éluant est prêt à être utilisé ;
- S'assurer que la conductivité de l'éluant est entre 810 et 825 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Raccorder le récipient d'éluant avec le chromatographe.

• Mode opératoire

- 1- Etalonner le chromatographe ionique avec les solutions standards en les enregistrant comme références.
- 2- A l'aide de seringue, injecter 2ml l'eau à analyser dans le chromatographe et appuyer sur « START » ;
- 3- Le traçage de la courbe prend 20 minutes, puis appuyer sur « STOP » ;

4- Les valeurs des concentrations des anions en ppm sont obtenues par une simple lecture sur l'écran d'ordinateur.

- Mesure de concentration du bore d'eau de mer par spectrométrie

• Solutions et matériels utilisés

- Echantillon à analyser
- Azomethine-H Sel de Sodium $C_{17}H_{12}NNaO_8S_2$;
- Acide L-Ascorbique $C_6H_8O_6$;
- Acétate d'ammonium CH_3COONH_4 ;
- Acide phosphorique H_3PO_4 ;
- Acide citrique $C_6H_8O_7$;
- EDTA disodique dihydraté $C_{10}H_{18}N_2Na_2O_{10}$;
- Acide sulfurique H_2SO_4 ;
- Eau ultra pure ;
- Étuve à convection naturelle de type ED53- BINDER ;
- Spectromètre HACH DR 2700 ;
- pH-mètre HACH SensION 156
- Balance électronique ;
- 3 fioles jaugées en plastique.

• Préparation de la solution réactive

1^{ère} Solution d'Azomethine-H : Peser 1g d'Azomethine-H sel de sodium et 3g d'acide L-Ascorbique, les mettre dans une fiole jaugée en plastique de 100ml et remplir son volume avec de l'eau ultra pure.

2^{ème} Solution tampon pH=5,9 : peser 250g d'acétate d'ammonium et les mélanger avec 250ml d'eau ultra pure, rajouter 5ml d'acide phosphorique, 1g d'acide citrique et 1g d'EDTA disodique dihydraté. Bien mélanger le contenu et puis doser avec l'acide sulfurique jusqu'au pH=5,9 (utiliser le pH-mètre).

Mixer les 2 solutions pour obtenir une seule solution réactive.

Préparation de la solution de référence : mélanger 25ml d'eau ultra pure avec 10 ml de la solution réactive dans une fiole jaugée en plastique.

Préparation de l'échantillon à analyser : mélanger 25ml d'eau à analyser avec 10 ml de la solution réactive dans une fiole jaugée en plastique.

Mettre les 2 solutions obtenues (solution de référence et d'échantillon) dans l'étuve à 30°C pendant 2h.

- **Mode opératoire**

- 1- Sur le programme du spectromètre, il faut choisir mesure de Bore ;
- 2- Remplir une cuvette en verre de spectromètre propre et sèche, avec 10 ml de la solution de référence ;
- 3- Insérer la cuvette dans l'appareil et appuyer sur ZERO pour l'étalonner ; l'écran affichera 0 mg/L ;
- 4- Remplir la deuxième cuvette avec 10 ml de la solution d'échantillon à analyser;
- 5- Insérer la cuvette dans l'appareil et appuyer sur READ ;
- 6- La valeur de mesure de la concentration du bore s'affichera directement sur l'écran de l'appareil en ppm.

ANNEXE II :

**Contrats de la station de
dessalement de Souk Tleta**

II. 1. Normes de qualité de l'eau de mer selon le contrat de la station

Normes de qualité de l'eau de mer selon le contrat de la station.

Paramètre	Unité de mesure	Minimum	Maximum	Valeur guide
Température	°C	18	27	24
TDS	mg/l	36,500	38,000	37,500
TSS	mg/l	2	8	4
Chlorures	mg/l	19,677	20,391	20,300
Calcium	mg/l	416	429	420
Sulfates	mg/l	2,710	3,400	3,400
Strontium	mg/l	9	10	10
Magnésium	mg/l	1,325	1,381	1,330
Sodium	mg/l	11,631	12,384	11,650
Bicarbonates	mg/l	130	135	135
Bore	mg/l	4,8	5,0	5,0
pH	mg/l	7,8	8,2	8,0
TOC	mg/l	0,1	0,5	0,5

II. 2. Normes de qualité d'eau traitée selon le contrat de la station

Normes de qualité d'eau traitée selon le contrat de la station

Paramètres	Unités	Valeur minimale	Valeur maximale
pH	/	7,0	8,5
LSI	/	0	0,4
TDS	mg/l	150	500
Dureté Total	mg/l	60	150
Alcalinité	mg/l	50	80
Bore (B)	mg/l	/	< 1,3

Liste des figures

	Page
Fig. 1 : Schéma représentant les étapes principales de dessalement d'eau de mer.....	3
Fig. 2 : Procédé de distillation à simple effet.....	5
Fig. 3 : Procédé de distillation à multiples effets.....	5
Fig. 4 : Principe général d'électrodialyse.....	7
Fig. 5 : Phénomène d'osmose et d'osmose inverse.....	8
Fig. 6 : Ecoulement du fluide à travers une membrane d'osmose inverse.....	8
Fig. 7 : Schéma d'un module plan.....	9
Fig. 8 : Schéma d'un module tubulaire.....	10
Fig. 9 : Schéma d'un module spiralé.....	10
Fig. 10 : Schéma représentant le procédé de distillation solaire.....	12
Fig. 11 : Photo montrant la situation de la station de Souk Tleta.....	14
Fig. 12 : Station de dessalement de Souk Tleta.....	14
Fig. 13 : Schéma résumant les étapes de fonctionnement suivies au niveau de la station.....	15
Fig. 14 : Schéma représentant la prise d'eau.....	16
Fig. 15 : Représentation d'un train d'ultrafiltration.....	17
Fig. 16 : Schéma expliquant le fonctionnement de la membrane de l'UF en production et en Backwash.....	18
Fig. 17 : Pompe à haute pression.....	20
Fig. 18 : Train d'osmose inverse.....	21
Fig. 19 : Réservoir de contact eau/chlore.....	22
Fig. 20 : Site de préparation du CO ₂	23
Fig. 21 : Site de préparation de la chaux.....	23
Fig. 22 : Turbidimètre OAKTON T-100.....	27
Fig. 23 : pH-mètre HACH SensION 156.....	28
Fig. 24 : Conductivimètre HACH SensION EC7.....	29
Fig. 25 : Spectromètre HACH DR 2700.....	30
Fig. 26 : Chromatographe Metrohm Compact IC 881 pro.....	33
Fig. 27 : Variations de la turbidité d'eau mer mesurée sur site.....	38
Fig. 28 : Variations de la turbidité d'eau de mer mesurée au laboratoire.....	38
Fig. 29 : Variations de la température d'eau de mer mesurée sur site.....	38
Fig. 30 : Variations de la température d'eau de mer mesurée au laboratoire.....	38
Fig. 31 : Variations du pH d'eau de mer mesuré su site.....	39
Fig. 32 : Variations du pH d'eau de mer mesuré au laboratoire.....	39
Fig. 33 : Variations de la conductivité électrique de l'eau de mer mesurée sur site.....	39
Fig. 34 : Variations de la conductivité électrique de l'eau de mer mesurée au laboratoire.....	39
Fig. 35 : Variations de la TSS d'eau de mer.....	40
Fig. 36 : Variations de l'ORP d'eau de mer.....	40
Fig. 37 : Variations de la turbidité d'eau traitée mesurée sur site.....	42
Fig. 38 : Variations de la turbidité d'eau traitée mesurée au laboratoire.....	42
Fig. 39 : Variations de la température d'eau traitée mesurée sur site.....	42
Fig. 40 : Variations de la température d'eau traitée mesurée au laboratoire.....	42

Fig. 41 : Variations du pH d'eau traitée mesuré sur site.....	44
Fig. 42 : Variations du pH d'eau traitée mesurée au laboratoire.....	44
Fig. 43 : Variations de la conductivité électrique d'eau traitée mesurée sur site.....	44
Fig. 44 : Variations de la conductivité électrique d'eau traitée mesurée au laboratoire...	44
Fig. 45 : Variations des concentrations en chlore libre d'eau traitée mesurées sur site...	45
Fig. 46 : Variations des concentrations en chlore libre d'eau traitée mesurées au laboratoire.....	45
Fig. 47 : Variations de l'alcalinité totale d'eau traitée.....	47
Fig. 48 : Variations des concentrations en bicarbonates d'eau traitée.....	47
Fig. 49 : Variations des concentrations en carbonates d'eau traitée.....	47
Fig. 50 : Variations de la dureté totale d'eau traitée.....	49
Fig. 51 : Variations des concentrations en calcium d'eau traitée.....	49
Fig. 52 : Variations des concentrations en magnésium d'eau traitée.....	49
Fig. 53 : Variations des concentrations en sodium d'eau traitée.....	52
Fig. 54 : Variations des concentrations en potassium d'eau traitée.....	52
Fig. 55 : Variations de la TDS d'eau traitée.....	52
Fig. 56 : Variations des concentrations en bore d'eau traitée.....	52
Fig. 57 : Variations des concentrations en chlorures d'eau traitée.....	53
Fig. 58 : Variations des concentrations en sulfates d'eau traitée.....	53
Fig. 59 : Variations de LSI d'eau traitée.....	53

Liste des tableaux

	Page
Tab. 1 : Composition des eaux de mer.....	2
Tab. 2 : Classification des eaux selon leur dureté totale en °F.....	29

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Option Hydrogéologie

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA STATION DE DESSALEMENT DE SOUK TLETA (NW, ALGERIE).

Nom d'auteur: AGGAB Chahrazed

Etablissement : **Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen**

RESUME

L'objectif de cette étude concerne l'évaluation des paramètres physiques et chimiques de l'eau de mer dessalée produite à la station de dessalement de Souk Tleta qui utilise le processus d'osmose inverse (RO). Différents échantillons d'eau ont été prélevés. Ils concernent l'eau brute et l'eau dessalée traitée.

Les concentrations de l'eau post-traitée en certains éléments restent conformes aux

normes algériennes et à celles de l'OMS. Cependant, celles des ions magnésium, calcium, potassium et sulfate ont permis la mise en évidence de certaines carences en ces éléments qui pourraient à l'avenir causer des problèmes de santé chez le consommateur.

Les concentrations en bore, comprises entre 1,12 et 1,22 mg/L, dépassent la valeur maximale admissible recommandée par l'OMS qui est de 1 mg/L.

Mots clés : Dessalement, RO, Souk Tleta, Eau de mer, Eau traitée, Qualité, Normes