

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

UMMTO



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en Chimie de l'Environnement

**Thème :**

**Etude des performances  
du procédé de dessalement de l'eau de mer  
de la station de Tizirt**

**Présenté par :**

Melle. GATER Samia

Melle. HALOUANE Fatima

**Devant la commission d'examen composée de :**

Mr. M. DELLAH	M.A.A UMMTO	Promoteur
Mme. M. GRARADJI	A.D.E Tizirt	Co-promotrice
Mme. S. DELLAH	M.C.A UMMTO	Présidente
Mr. H. LOUNICI	Professeur U. Bouira	Examineur
Mr. S. KADDOUCHE	M.A.A UMMTO	Examineur
Mr. N. YOUSSEIDANE	D.T.P Azeffoune	Invité

Promotion : 2011 / 2012

## REMERCIEMENTS

**N**ous tenons à remercier d'une façon générale, l'ensemble des enseignants pour tout le savoir qu'ils nous ont donné à l'issue de notre cursus universitaire, en particulier :

**N**otre promoteur Monsieur M. DELLAH pour nous avoir confié ce sujet.

**M**onsieur H.LOUNICI, professeur à l'université de Bouira.

**M**onsieur MEDJEKANE, enseignant au département de Chimie (Mécanique des Fluides).

**M**onsieur T. ASLA, enseignant au département Biologie.

**N**ous vifs remerciements vont également :

**A** tout le personnel de la station de dessalement de Tizirt pour leurs précieuses aides et encadrements, en particulier Mr M.TELLACHE le responsable de la station, Madame M. GRARADJI (née MAHROUR), Mr. B. BELKADA et Mr. KADI.

**A** Monsieur N. YOUSSEF Subdivisionnaire Maritime (DTP-T.O).

**A** Monsieur Ait RAMDANE, chef de service de l'hydraulique au niveau de la DRHWTO.

**A** Monsieur CHIKHI, le responsable de la station météorologique OMM (BOUKHALFA).

**A** Mr. BOUMEDIENNE le Gestionnaire des Ressources Humaines de l'ADE de Tizi Ouzou, Mr. FERRAT responsable du laboratoire de l'ADE et tout le personnel, notamment Madame LADJEL et Madame MOULA.

**N**os sincères remerciements vont aussi aux membres du jury pour nous avoir fait l'honneur d'examiner et de juger notre travail.

**E**nfin, nos remerciements s'adressent à Monsieur M. HALOUANE et Madame D. HALOUANE qui ont contribué au bon déroulement de ce travail par leurs conseils et leurs encouragements.

# Dédicaces

Ce travail est dédié à :

*M*es très chers parents ;

*T*outes personnes m'ayant aidé de près ou de loin pour réaliser ce  
mémoire ;

*T*outes personnes qui me connaissent.

**S. Gater**

# Dédicaces

Ce travail est dédié :

*D'*abord à la mémoire de mon très cher père.

*Je* tiens à exprimer toute ma gratitude à mes parents ;

*Merci* à tous les membres de ma famille.

**F. Halouane**

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **CHAPITRE 1 : généralités**

1.1. Réserves d'eau mondiales .....	2
1.2. Situation en méditerranée .....	2
1.3. Situation en Algérie.....	2
1.4. Caractéristiques de l'eau de mer.....	3
1.5. Systèmes de pompage d'eaux.....	4
1.6. Procédés de dessalement de l'eau de mer.....	5

## **CHAPITRE 2 : procédés de séparation membranaire**

2.1. Définitions.....	7
2.2. Présentation des membranes et des modules.....	9
2.3. Performances de la filtration membranaire .....	14

## **CHAPITRE 3 : dessalement de l'eau de mer par Osmose Inverse**

3.1. Principe de l'osmose inverse.....	18
3.2. Paramètres de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse.....	19
3.3. Conception d'une installation de dessalement par osmose inverse.....	20
3.4. Limitations d'une unité d'osmose inverse.....	27

## **CHAPITRE 4 : description de la station de Tizirt**

4.1. Présentation du site.....	33
4.2. Présentation de l'installation .....	34
4.3. Type du procédé de dessalement .....	35
4.4. Description du procédé de dessalement par osmose inverse.....	36

## **CHAPITRE 5 : évaluation des performances du procédé de séparation membranaire par osmose inverse**

5.1. Equipements de contrôle.....	46
5.2. Evaluation des performances du prétraitement.....	47
5.3. Evaluation des performances du traitement par osmose inverse.....	53
5.4. Méthode suivie en cas d'une élévation brusque de la conductivité du perméat.....	58
5.5. Qualité de l'eau refoulée par la station.....	61
5.6. Problèmes et anomalies au niveau de la station.....	66

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>68</b>
---------------------------------	-----------

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

#### **Liste des figures**

#### **Liste des tableaux**

#### **Liste des photos**

#### **Liste des abréviations**

Trois facteurs principaux expliquent la demande de plus en plus forte pour le dessalement d'eau de mer constatée ces 15 dernières années :

Le développement démographique et son amplificateur ;

La demande croissante en eau de tous les secteurs de l'activité humaine : eau domestique, industrielle, touristique, agricole... ;

Par ailleurs, les progrès techniques des deux technologies utilisées (distillation et osmose inverse) en dessalement d'eau de mer se sont traduits par une réduction des coûts d'investissement (taille croissante des unités construites, amélioration des membranes utilisées en osmose inverse et surtout des coûts de fonctionnement réduits en particulier pour le procédé d'osmose inverse dont la demande en énergie a décru de 40% en 15 ans.

Le dessalement de l'eau de mer permet d'augmenter la ressource en eau douce disponible, de fournir une solution en cas de sécheresse et de faire face aux situations de pénuries et de crises.

L'Algérie se trouve parmi les pays du monde qui sont sous le seuil de pénurie, d'où la nécessité de mobiliser toutes les ressources d'eau disponibles pour sécuriser l'alimentation en eau potable. De ce fait, le dessalement des eaux de mer est la solution adéquate pour cette problématique.

L'objectif de notre travail est d'étudier les performances du procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse appliqué au niveau de la station de Tigzirt.

Dans un premier temps, quelques notions fondamentales sur la séparation membranaire et une description du prétraitement conventionnel utilisé actuellement dans la majorité des installations de dessalement par osmose inverse sont données.

Ensuite, une description du procédé de dessalement par osmose inverse appliqué au niveau de notre site de travail est abordée, puis on a évalué les performances du prétraitement et du système d'osmose inverse en se basant sur les données enregistrées au niveau de la station sur une durée d'étude de sept mois (allant du 01/01/2012 au 31/07/2012).

Enfin, nous tenons à signaler quelques remarques et observations, accompagnées de proposition de solutions pouvant améliorer la qualité de l'eau produite, ainsi que sa disponibilité.

## 1.1. Réserves d'eau mondiales

La surface totale de la terre est recouverte de 72% d'eau [1]. L'eau de mer représente 97,41% des eaux sur la terre [2]. Paradoxalement, les réserves d'eau douce, ne représentent que 2,5 % de la surface restante. De cette proportion, seul 0.07 % est directement accessible (le reste est sous forme de glace [3]).

On estime que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau à l'horizon 2050 [4], compte-tenu de l'évolution des besoins constamment croissants de la société, liés à l'évolution démographique et aux divers autres besoins (consommation domestique, industrie, agro-alimentaire...), il ya nécessité d'optimiser l'utilisation de cette ressource, telle que l'option de dessalement de l'eau de mer.

## 1.2. Situation en méditerranée

La Méditerranée abrite 60 % de la population mondiale dite « pauvre » en eau, c'est-à-dire bénéficiant de moins de 100 m<sup>3</sup> par habitant et par an de ressources en eau renouvelables [5]. Pour faire face à cette situation, les pays méditerranéens ont recours à des sources alternatives d'approvisionnement, telles que le dessalement des eaux de mer.

## 1.3. Situation en Algérie

L'Algérie a vécu une période de sécheresse de plusieurs décennies (Une pluviométrie irrégulière oscillant ente 100 et 600 mm/an [6]), les ressources conventionnelles en eau étaient insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population, ce qui a incité les pouvoirs publics à chercher d'autres ressources pour garantir l'alimentation en eau potable de cette population. Avec un littoral de 1200 km [7], le dessalement de l'eau de mer en Algérie revêt un caractère stratégique, il s'avère une alternative aux ressources naturelles d'eaux douces, non renouvelables, pour la majorité des villes du nord algérien.

---

[1] Le magazine de la chronique scientifique N°4, Juillet-Août 2005.

[2] Bulletin international de l'eau et de l'environnement N°22, Mars 1999.

[3] PELLETIER Frédéric – CAUATZ Aurélien IUT chimie 2005-2006.

[4] Viviane RENAUDIN, Novembre 2003.

[5] Les Notes du Plan Bleu N° 16 - Juillet 2010.

[6] communication@algerienne des eaux.com.dz.

[7] KERFOUF. A, ALAOUI. F/Z, DJOUDI. O/K, MEBARKI. Z & BENYAHIA. M.

Le secteur de l'hydraulique a engagé un programme de réalisation de 36 stations de dessalement (23 unités monobloc et 13 grandes stations). Ce nombre sera porté à 43 à l'horizon 2019 [8].

Le nombre de stations en exploitation est de 16 monoblocs et 9 grandes stations, d'une capacité totale de 1 467 500 m<sup>3</sup>/j [9].

## 1.4. Caractéristiques de l'eau de mer

L'ensemble des caractéristiques de l'eau de mer à dessaler est à prendre en compte dans le choix d'un procédé de dessalement, pour maîtriser les aspects de corrosion, de dépôts et de coûts.

### 1.4.1. Salinité

Quelques valeurs moyennes de la salinité de l'eau de mer [10]

Océan Atlantique : 32-38 g/L.

Mer Méditerranée : 37-40 g/L

Mer Rouge-Golf Arabique : 40-47 g/L

Mer morte : 270 g/L

Tableau I- 1 Composition chimique de l'eau de mer (Méditerranée) [11]

Cations	Quantité (mg/L)	Anions	Quantité (mg/L)
<b>Sodium</b>	11 970	<b>Chlorures</b>	21 560
<b>Magnésium</b>	1 440	<b>Sulfates</b>	2 990
<b>Calcium</b>	450	<b>Bicarbonates</b>	153
<b>Potassium</b>	440	<b>Bromures</b>	75
<b>Salinité total : 39 000 mg/L</b>			

[8] PCM N°1; 9 Octobre 2009.

[9] DMRE : Direction de la Mobilisation des Ressources en Eau.

[10] Mémento technique de l'eau, 2005.

[11] Alain Maurel, 2006.

### 1.4.2. Teneur en matières en suspension

L'eau de mer véhicule d'une part de la matière minérale et organique, et en d'autre part, des organismes vivants souvent microscopiques (de l'ordre de  $10^5$  à  $10^6$  bactéries/mL d'eau de mer [12]).

Tableau I-2 Caractéristiques des eaux de mer méditerranée [13]

Propriétés	Minimum	Moyenne	Maximum
Température (°C)	12,7	17,7	27,5
pH	7,74	8,12	8,40
Turbidité (NTU)	0,11	0,45	1,81
Conductivité (mS.cm <sup>-1</sup> )	54,1	56,8	58,9

### 1.5. Systèmes de pompage des eaux

Dans le domaine de pompage de l'eau, les pompes les plus fréquemment utilisées sont les pompes centrifuges [14].

**Pompe** : est une machine qui déplace un fluide d'un endroit à un autre en augmentant sa pression.

**Pompe centrifuge** : une pompe centrifuge est une machine tournante destinée à fournir au liquide pompé une énergie suffisante, pour provoquer son déplacement dans un réseau hydraulique comportant en générale une hauteur géométrique.

**Pompe à Haute Pression (PHP)** : les pompes à haute pression, sont conçues pour augmenter la pression d'un fluide.

**Turbine de récupération de l'énergie hydraulique** : la turbine de récupération d'énergie assure principalement de 30% à 40% de la pression d'alimentation totale [15], qui conduit à une réduction de la pression de décharge de la pompe à haute pression. En effet, grâce au système de récupération d'énergie, il est possible de réutiliser l'énergie du concentrat.

[12] Jean-Marie ROVEL, Juin 2003.

[13] Chatkaew TANSAKUL, Novembre 2009.

[14] Jean Paul LERY, Juin 1996.

[15] D. Abdessemed, S. Hamouni, G. Nezzal, 2009.

**Notion de pertes de charges :** les pertes de charges sont un élément fondamental de l'écoulement des liquides, elles sont provoquées par la présence d'accidents sur la canalisation: rétrécissements, élargissements, vannes, coudes, clapets, filtres, débitmètres... Ces accidents provoquent également des pertes d'énergie sous forme de frottements à cause des tourbillons créés par ces obstacles.

### 1.6. Procédés de dessalement de l'eau de mer

Le procédé de dessalement de l'eau de mer apparaît comme une solution permettant d'augmenter la ressource en eau douce, mis en place dans certaines régions côtières victimes de la sécheresse.

Aujourd'hui, plus de 15 000 unités de dessalement dans le monde produisent environ 56 millions de  $m^3/j$  [16], alors que la capacité mondiale de production en eau potable est de l'ordre de 500 millions de  $m^3/j$ .

En Méditerranée, la production des usines de dessalement s'élève à 10 millions de  $m^3/j$ .

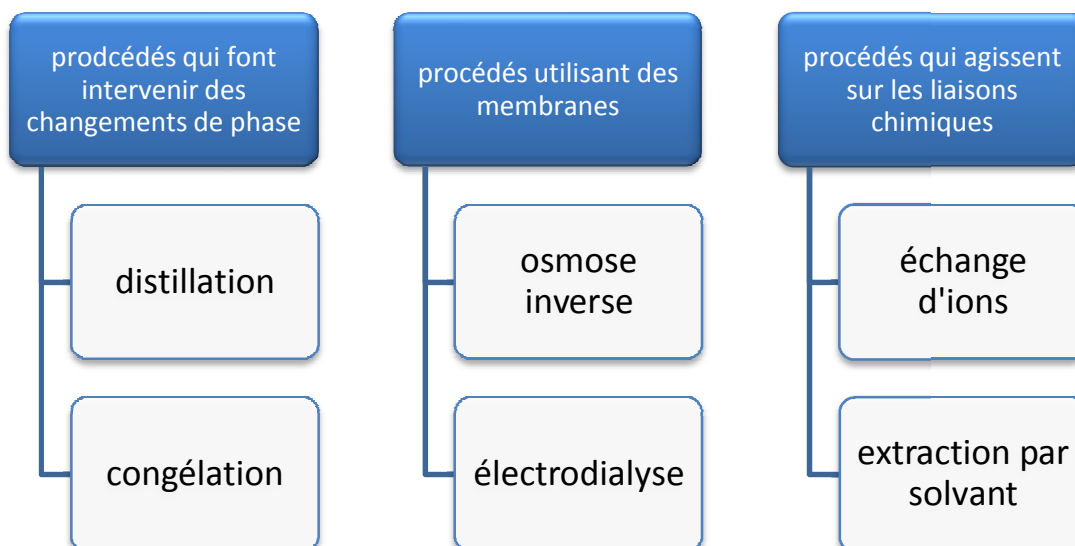


Figure I - 1 Différents types de procédés de dessalement

[16] Bulletin des énergies renouvelables, 2010.

- **Distillation** : la distillation est la séparation par voie physique des divers constituants d'un mélange liquide [17]. La phase vapeur est produite par évaporation en fournissant de la chaleur au système, la vapeur est ensuite récupérée par condensation.
- **Congélation** : lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ  $-2\text{ °C}$  [18], il ya formation de cristaux de glace constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation. En faisant baisser d'avantage la température, la production de glace augmente. Il s'agit d'un procédé qui n'est pas appliqué à l'échelle industrielle.
- **Osmose inverse** : l'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer le solvant et arrêtent les sels.
- **Electrodialyse** : le terme électrodialyse, désigne le transfert d'ions à travers des membranes échangeuses d'ions, qui permettent le transfert sélectif d'espèces chargées selon leur signe de charge [19].
- **Echange d'ions** : l'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution, sont éliminés par adsorption sur un matériau solide pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émises par le solide. Les ions de charge opposée ne sont pas affectés. [20]
- **Extraction par solvant** : l'extraction par solvant est l'opération fondamentale qui permet d'extraire un composé (soluté) d'un liquide, par un autre liquide (solvant). Cette méthode repose sur la miscibilité de certains solvants avec l'eau, sans être un solvant pour les sels. On obtiendra de l'eau douce par extraction.

---

[17] Jean - Charles CICLE, 2001.

[18] Raymond Desjardins, 2010.

[19] Hélène ROUX – de BALMANN et Ernest CASADE MONT, 2006.

[20] François de DAREL, 1998.

2.1. Définitions

2.1.1. Membrane

Une membrane permselective (OI, NF) est une mince couche de matière permettant d'effectuer une séparation solide-liquide, sélective à l'échelle microscopique, lorsqu'elle est soumise à une force motrice. Cette force peut être générée par un gradient de pression, de concentration ou de potentiel électrique, de part et d'autre de la membrane (Figure II-1).

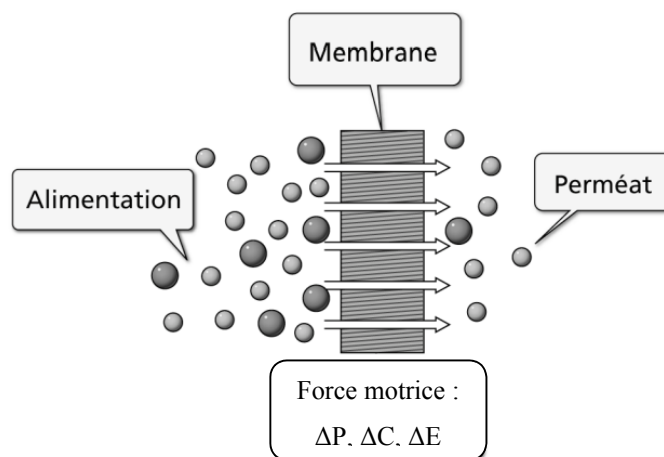


Figure II-1 Schéma de principe du fonctionnement d'une membrane permselective

2.1.2. Filtration membranaire

La filtration membranaire est basée sur l'application d'une différence de pression, qui permet le transfert du solvant à travers une membrane, dont la taille des pores assure la rétention de solutés. Ces opérations, classées selon une taille des pores décroissantes, sont : la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse (Figure II-2).

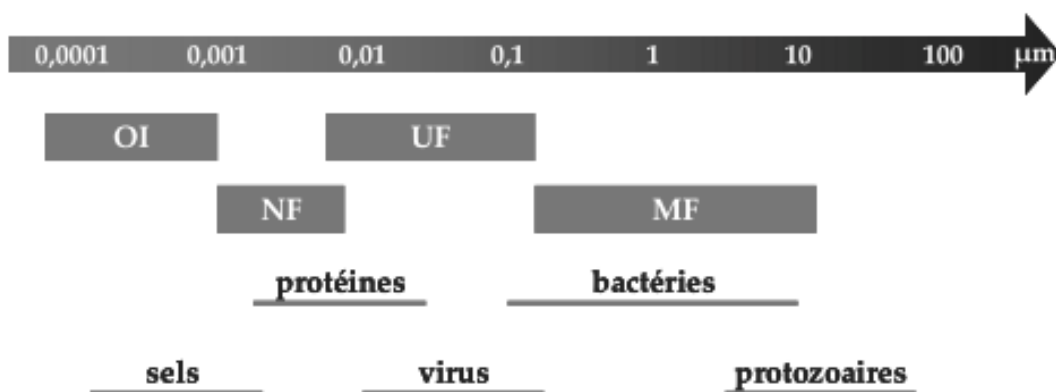


Figure II-2 Les procédés membranaires et les performances de séparation [12]

Les opérations de séparation membranaire (nanofiltration NF, ultrafiltration UF, microfiltration MF), dans lesquelles est incluse l'osmose inverse (OI), bien que les membranes ne soient pas poreuses, peuvent être présentées comme des séparateurs qui divisent un flux d'alimentation en deux : le rétentat et le perméat.

- **Osmose inverse** : L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laisse passer le solvant et arrêtent les sels, c'est un procédé utilisé pour déminéraliser des eaux (dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres) et pour la concentration des solutions.
- **Nanofiltration** : est le terme utilisé pour désigner une technique séparative à membrane, permettant la rétention de composés ayant une taille en solution voisine de celle de nanomètre (soit  $10 \text{ \AA}$  [21]).
- **Ultrafiltration** : cette technique utilise des membranes microporeuses, dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm [21]. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et permettent d'arrêter tous types de colloïdes présentant un diamètre compris entre  $1 \mu\text{m}$  à 1nm [22], telles que les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes).
- **Microfiltration tangentielle** : la microfiltration tangentielle peut être définie comme un procédé de séparation solide-liquide, qui met en œuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et  $10 \mu\text{m}$  [21]. Ce procédé permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries et de certains ions après fixation sur des plus grosses particules obtenues par complexation, précipitation ou floculation.

---

[21] Alain Maurel, juin 1993.

[22] NECHAD Amel, 2009.

Tableau II-1 Principales caractéristiques des séparations concernées [23]

Procédé	Pression de service (bar)	molécules retenues	Diamètre des pores (nm)	Seuil de coupure (Da)	Consommation énergétique (KWh/m <sup>3</sup> )	Flux moyen (l/h/m <sup>2</sup> )
<b>Microfiltration MF</b>	0,5 - 3	Particules (0,05 à 10 µm)	50 - 1000	-	1 - 10	30 - 150
<b>Ultrafiltration UF</b>	1 - 5	Macromolécules (1000 à 500 000 g/mol), virus	5 - 50	1000 - 300 000	1 - 10	30 - 150
<b>Nanofiltration NF</b>	3 - 30	Ions divalents, composés organiques (100 à 1000 g/mol)	1 - 5	200 à 1000	5 - 50	10 - 50
<b>Osmose inverse OI</b>	30 - 70	Ions minéraux, petits composés organiques (20 à 100 g/mol)	Membrane dense	< 200	10 - 200	10 - 50

## 2.2. Présentation des membranes et des modules

### 2.2.1. Membranes

#### 2.2.1.a. Structure

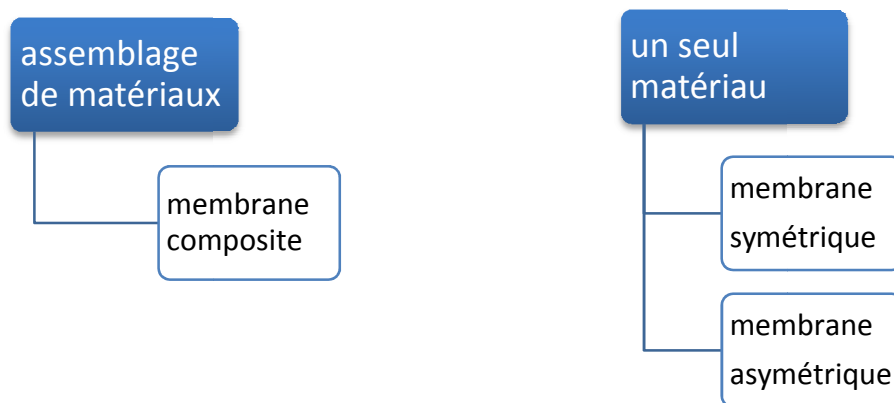


Figure II-3 Différents types de membranes

[23] Pierre AIMAR, Patrice BACCHINN, Alain Maurel, 1993.

- **Membranes symétriques** : sont composées d'un même matériau ayant une porosité sensiblement uniforme dans toute l'épaisseur. Elles peuvent être denses ou poreuses, toute leur épaisseur forme la couche sélective.
- **Membranes asymétriques (anisotropes)** : sont des membranes qui ont une porosité variable dans toutes leurs épaisseurs. On distingue deux parties :
  - La peau : est la partie sélective de la membrane, elle peut être poreuse ou dense, elle possède la porosité la plus faible et les pores les plus petits. Son épaisseur est très faible devant celle de la membrane, de l'ordre de  $1\mu\text{m}$  au moins [24].
  - Sous-couche poreuse : de 100 à 200  $\mu\text{m}$  d'épaisseur et de texture relativement poreuse (porosité de 60% à 80%) [24], elle n'offre pas de sélectivité et n'influe pas sur la perméabilité, son rôle est d'assurer la résistance mécanique de la membrane.
- **Membranes composites (dénommées TFC–Thin Film Composite)** : constituées d'un assemblage de deux ou plusieurs couches de matériaux de différentes porosités (état physique) et de différentes compositions chimiques (nature chimique), le support est choisi pour sa perméabilité et le film pour sa sélectivité, elles ont été développées afin d'augmenter la perméabilité des membranes en diminuant l'épaisseur de la couche active sélective d'un facteur de 10 environ [11].

Les structures précédemment décrites sont représentées dans la figure II- 4

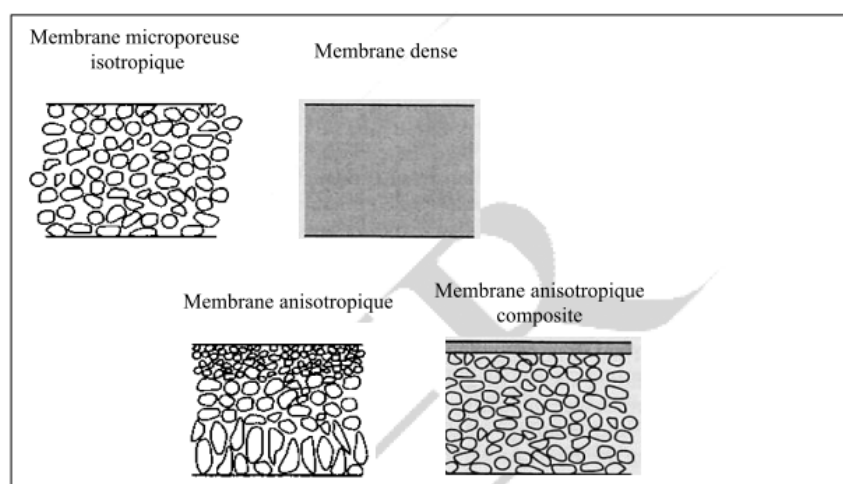


Figure II-4 Description des différents structures de membranes (source : Baker, 2004)

[24] Jean-Christophe REMIGY et Sandrine DESCLAUX, Mars 2007.

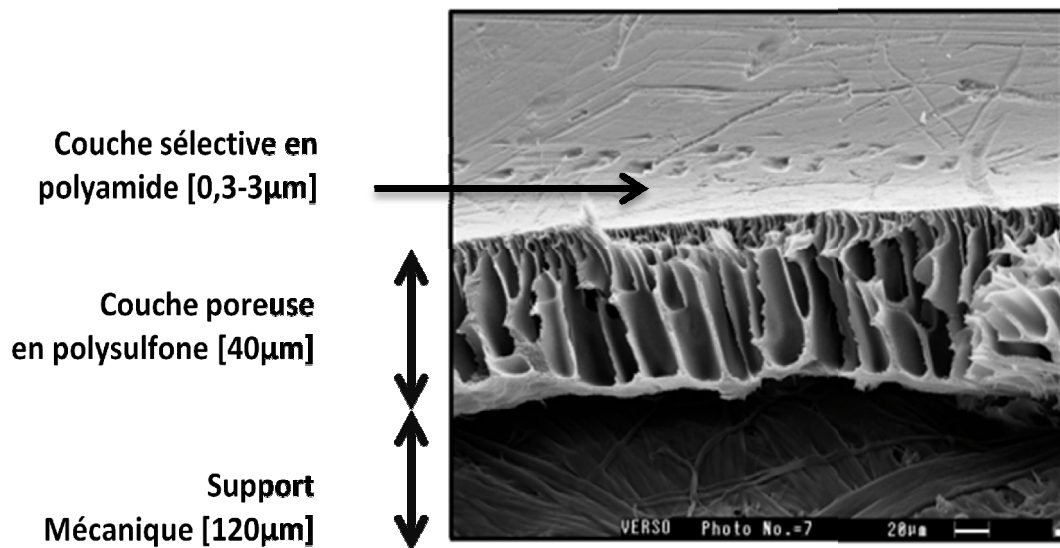


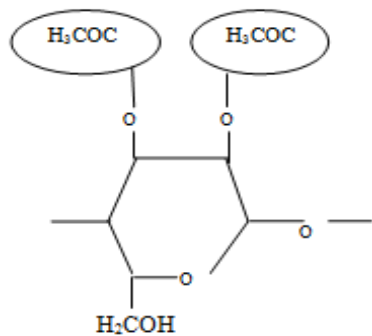
Figure II-5 Structure d'une membrane composite (source : Mathieu, 2005)

### 2.2.1.b. Matériaux membranaires

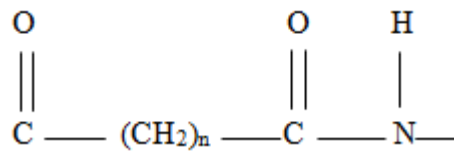
Les matériaux membranaires doivent avoir une résistance chimique, thermique et mécanique en accord avec le procédé et le fluide utilisé.

- Résistance chimique : est liée à la nature du fluide traité (pH, l'oxydant/réducteur..), ainsi qu'aux nettoyages mis en œuvre, lors de la lutte contre le colmatage et/ou la désinfection des installations.
  - Résistance thermique : impose la plage de température d'utilisation en continu ou de manière momentanée (lors de la phase de stérilisation).
  - Résistance mécanique : dépend des matériaux mais aussi de la structure de la membrane et de sa géométrie.
- **Matériaux organiques** : les membranes sont à base de matériaux organiques. Il s'agit de polymères d'origine naturelle ou synthétique et on distingue :
- Membranes en acétate de cellulose : il s'agit de polymères naturels (cellulose) dont les groupements hydroxyyles sont chimiquement modifiés.
  - Membranes en polyamide : sont des polymères qui possèdent une liaison amide.
  - Membranes en polysulfone : sont des polymères qui possèdent une liaison sulfone.

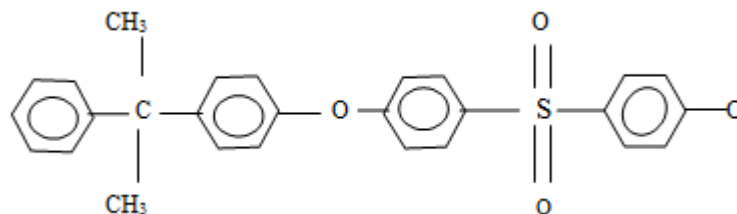
2.2.1.c. Formules chimiques



Acétates de cellulose



Polyamide



Polysulfone

Tableau II-2 Avantages et inconvénients des membranes organiques suivant leurs compositions

Matériau membranaire	Avantages	Inconvénients
Acétate de cellulose	Perméabilité élevée Sélectivité élevée Faible colmatage par adsorption	Sensibilité aux micro-organismes Sensible à la température, au pH et au chlore
Polyamide	Excellente sélectivité Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique	Grande sensibilité au chlore Faible perméabilité Phénomènes d'adsorption
Polysulfone	Tolérance au chlore Bonne stabilité thermique et au pH	Fort colmatage par adsorption

- **Matériaux minéraux** : il existe des membranes construites avec des matériaux minéraux comme le céramique, le carbone, les métaux et le verre, mais ne sont pas utilisés en osmose inverse car elles possèdent des pores de l'ordre de micromètre.

Les membranes métalliques sont exclusivement des membranes de microfiltration ou de haute UF avec une taille de pore minimale égale à 20 nm. [24]

**Tableau II-3 Avantages et inconvénients des grandes classes de matériaux**

<b>Matériaux</b>	<b>Organiques</b>	<b>Minéraux</b>
<b>Avantages</b>	Grande variété de taille de pore (MF, UF, OI) Grande variété de géométrie (plane, tube, spiralée, fibre creuse) Faible coût	Stabilité thermique ( $T > 300^{\circ}\text{C}$ ) Stabilité chimique (acide /base, oxydants) Résistance aux solvants
<b>Inconvénients</b>	Faible stabilité thermique ( $T < 100^{\circ}\text{C}$ ) Faible stabilité chimique (PH extrêmes, oxydants) Faible résistance aux solvants	Coût (facteur 10 par rapport aux membranes organiques) N'existe pas pour des faibles pores (NF, OI)

**2.2.2. Modules**

Pratiquement, les membranes sont assemblées sous forme de modules regroupant généralement plusieurs membranes. Un module est défini comme un support qui maintient la membrane, on distingue :

- **Modules plans** : sont constitués de membranes planes assemblées dans un agencement de type filtre–presse. L'assemblage élémentaire est constitué d'un Espaceur côté alimentation, d'une première membrane, d'un Espaceur côté perméat et d'une deuxième membrane.
- **Modules spiralés** : sont constitués de plusieurs assemblages élémentaires enroulés en spirale. L'étanchéité entre les différents compartiments est assurée par collage. Les membranes utilisées sont uniquement des membranes organiques qui sont suffisamment flexibles pour pouvoir être enroulées.

- **Modules tubulaires** : sont composés de membranes tubulaires dont le diamètre interne est de l'ordre du centimètre [25] et construits autour de membrane minérale (céramique), parfois de membranes en polymères.
- **Module fibres creuses** : sont constitués de fibres creuses (entre 50 et 5000 fibres et plus). [24]

### 2.3. Performances de la filtration membranaire

L'objectif de l'utilisateur d'un procédé membranaire est double : assurer une productivité (perméation) maximale pour minimiser les coûts de fonctionnement, tout en ayant une bonne efficacité (sélectivité).

La perméation et la sélectivité du procédé sont donc à la base de l'optimisation des procédés membranaires.

#### 2.3.1. Sélectivité

La sélectivité d'une membrane est en générale caractérisée par le taux de rétention ou le taux de rejet (TR) des espèces que la membrane est censée retenir. [23]

$$TR = (C_b - C_p) / C_b = 1 - (C_p / C_b)$$

Avec :

$C_b$  : concentration de l'espèce à retenir dans le rétentat ;

$C_p$  : concentration de la même espèce dans le perméat.

On utilise parfois le taux de passage (TP) qui est définit comme suit :

$$TP = C_p / C_b = 1 - TR$$

##### 2.3.1.a. Sélectivité des membranes d'osmose inverse

La sélectivité d'une membrane d'osmose inverse dépend essentiellement de sa nature chimique. En effet seules les substances solubles dans la membrane sont susceptibles de la traverser.

---

[25] J. P. Brun, Décembre 1988.

En premier lieu, la membrane doit avoir une grande affinité pour le solvant, en particulier, être très hydrophile si l'on veut extraire l'eau d'une solution. En ce qui concerne le soluté, la sélectivité va dépendre de deux paramètres :

- Le coefficient de distribution, appelé aussi coefficient de partage du soluté entre la membrane et la solution amont.
- Le coefficient de diffusion du soluté dans la membrane.

### 2.3.1.b. Sélectivité entre différents ions

Les petits ions ayant un caractère ionique plus marqué que les gros, ils sont les plus fortement solvatés. Il en résulte de même pour les ions multivalents par rapport aux ions monovalents, comme le montre le tableau ci-après :

- Pour des ions de même valence, le taux de rejet diminue, si leur masse molaire augmente.
- Pour des ions de valence différente, le taux de rejet croît avec la valence des ions.
- Ainsi, dans le traitement des eaux, les ions bivalents sont beaucoup mieux rejetés que les ions monovalents ; d'où la possibilité d'utiliser l'osmose inverse en adoucissement.

En conclusion, la sélectivité d'une membrane d'osmose inverse pour un composé donné (ion, molécule, complexe) est d'autant plus importante que ce composé est fortement solvaté, c'est à dire que son énergie d'hydratation est élevée.

Tableau II-4 Energie d'hydratation de différents ions [11]

Cations	M (g.mol <sup>-1</sup> )	E <sub>hyd</sub> (Kj.mol <sup>-1</sup> )	Anions	M (g.mol <sup>-1</sup> )	E <sub>hyd</sub> (Kj.mol <sup>-1</sup> )
Cs <sup>+</sup>	133	286	I <sup>-</sup>	127	274
Rb <sup>+</sup>	85,5	337	Br <sup>-</sup>	80	303
K <sup>+</sup>	39	363	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	62	310
Na <sup>+</sup>	23	454	Cl <sup>-</sup>	35,5	325
Li <sup>+</sup>	7	636	F <sup>-</sup>	19	449
Ca <sup>++</sup>	40	1615	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	96	1047

### 2.3.2. Perméabilité - densité du flux volumique

Le débit-volume par unité de surface est le rapport du débit de perméation par la surface membranaire.

Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité de flux volumique) doit être le plus élevé possible, de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par la même, l'investissement.

#### 2.4.2.a. Flux de perméat

Le flux de perméation à travers la membrane est directement proportionnel à la pression transmembranaire appliquée.

$$J = A \cdot \Delta P$$

Avec

J : flux de perméat ;

A : coefficient de perméabilité, permet de définir la perméabilité de la membrane utilisée ;

$\Delta P$  : pression transmembranaire.

Une unité conventionnelle pour la perméabilité  $l \cdot m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}$ .

Lorsque la membrane est utilisée pour retenir le soluté, la perméabilité décroît. La relation précédente est alors modifiée pour prendre en compte les phénomènes pouvant conduire à cette réduction :

$$y = A \times (\Delta P - \Delta \pi)$$

Avec

y : flux de perméation ;

A : coefficient de perméabilité, permet de définir la perméabilité de la membrane utilisée ;

$\Delta P$  : pression transmembranaire ;

$\Delta \pi$  : pression osmotique.

#### 2.4.2.b. Influence de la température sur la perméabilité

Lorsque la température augmente, le débit de perméat à travers une membrane d'osmose inverse augmente d'environ 3% par degré Celsius. [11]

L'élévation de la température peut augmenter le flux du perméat, mais aussi les activités biologiques entraînant un colmatage du type biofouling. [26]

#### **2.4.2.c. Influence de la pression sur le taux de rejet**

Si on ne tient pas compte des effets d'un colmatage sur la sélectivité, à pression faible, le transport d'eau est faible, et la diffusion transporte le soluté, qui se trouve donc dans le perméat. En augmentant la pression, on augmente le débit d'eau, qui dilue alors le flux diffusif de soluté, abaissant la concentration du perméat, donc la rétention augmente. [27]

---

[26] P. AIMAR et P. Aptel, 1992.

[27] Pierre AIMAR, Filtration membranaire.

---

### 3.1. Principe de l'osmose inverse

#### 3.1.1. Osmose directe/ équilibre osmotique/ osmose inverse

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'action d'un gradient de concentration (Figure III-1), les molécules d'eau ont tendance à migrer de la solution la moins concentrée vers la plus concentrée.

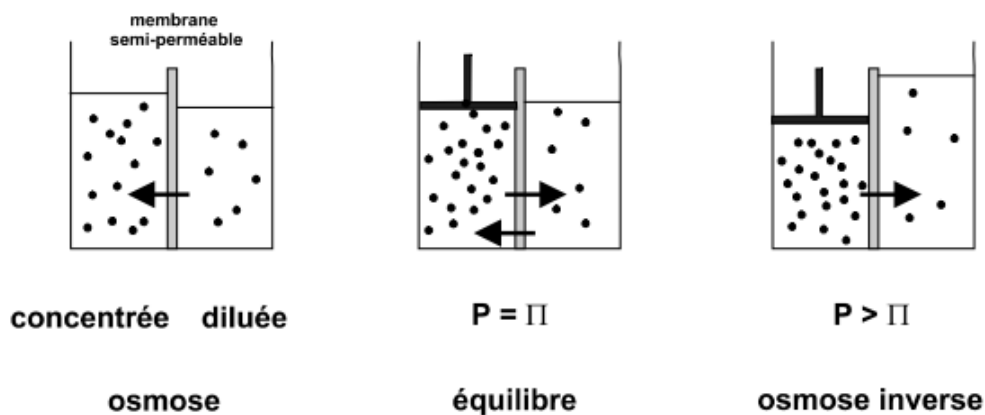


Figure III-1 Principe de l'osmose inverse (Source : Alain MAUREL, 2006)

Si une pression adéquate est appliquée à la solution concentrée, le flux de solvant va être annulé, c'est l'équilibre osmotique, le principe de l'osmose inverse consiste à appliquer à la solution concentrée une pression supérieure à la pression osmotique donc le flux de solvant est alors inversé et s'écoule de la solution concentrée vers la solution diluée.

#### 3.1.2. Pression osmotique

La première approximation c'est assimiler le comportement d'une molécule du soluté à celui de la molécule gazeuse. La loi des gazes parfaits est appliquée dans le cas d'une solution diluée.

La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique ( $\pi$ ) exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercée dans l'état gazeux parfait dans le même volume  $V$  et à la même température  $T$ .

$$\pi \times V = n \times R \times T$$

$$\pi = (n / V) \times R \times T = C \times R \times T$$

Si le soluté est dissocié en  $i$  ions, la pression osmotique sera  $i$  fois supérieure

$$\pi = i \times C \times R \times T$$

Avec

$\pi$  : pression osmotique ;

$i$  : nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte ;

( $i=1$  dans le cas d'un soluté non ionique) ;

$C$  : concentration molaire en mol/l ;

$R$  : constante des gaz parfaits ;

$T$  : température absolue.

## 3.2. Paramètres de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse

### 3.2.1. La pression motrice ( $\Delta P$ )

Est égale à la pression de refoulement de la pompe diminuée de la pression statique à la sortie du module d'osmose (côté production) et de la perte de charge due à l'écoulement de l'eau dans les tuyauteries amont des modules et le long de la membrane.

### 3.2.2. La conversion ( $Y$ )

Est le rapport entre le débit produit et le débit d'alimentation, il est défini par :

$$Y = 100 \times (Q_p / Q_0)$$

$Q_p$  : débit de perméat ;

$Q_0$  : débit d'alimentation.

Ce facteur s'exprime aussi sous la forme du facteur de conversion (FC)

$$FC = 100 / (100 - Y)$$

### 3.2.3. Le passage de sels (PS)

Se caractérise par le rapport entre leur concentration côté production et leur concentration côté alimentation.

$$PS = 100 \times (C_p / C_0)$$

$C_p$  : concentration du perméat ;

$C_0$  : concentration de l'eau d'alimentation.

On définit le taux de rétention (TR)

$$TR = 100 - PS$$

### 3.3. Conception d'une installation de dessalement par osmose inverse

Une installation de dessalement se compose d'au moins trois parties (Figure III-2).

Les débits et les paramètres physico-chimiques de l'eau de mer sont suivis aux différentes étapes de traitement et enregistrés en continu par un système d'acquisition centralisant des données recueillies par des sondes de mesure.

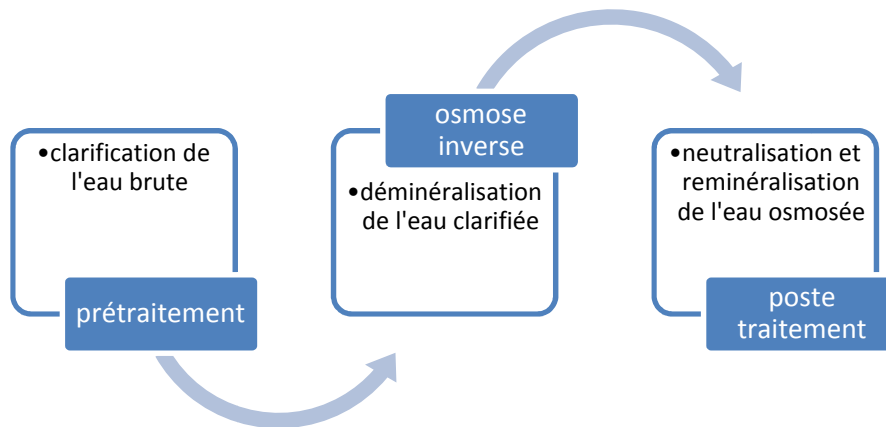


Figure III-2 Les étapes du procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse.

#### 3.3.1. Prétraitement

Le prétraitement a pour objectif la réduction du colmatage, l'augmentation de la durée de vie des membranes, l'amélioration de la qualité de l'eau produite et la maintenance des performances de l'osmose inverse.

Le prétraitement conventionnel est encore très majoritairement utilisé dans les usines de dessalement. La filière de prétraitement conventionnel dans une usine de dessalement de l'eau de mer comporte généralement les étapes suivantes : (Figure III- 1)

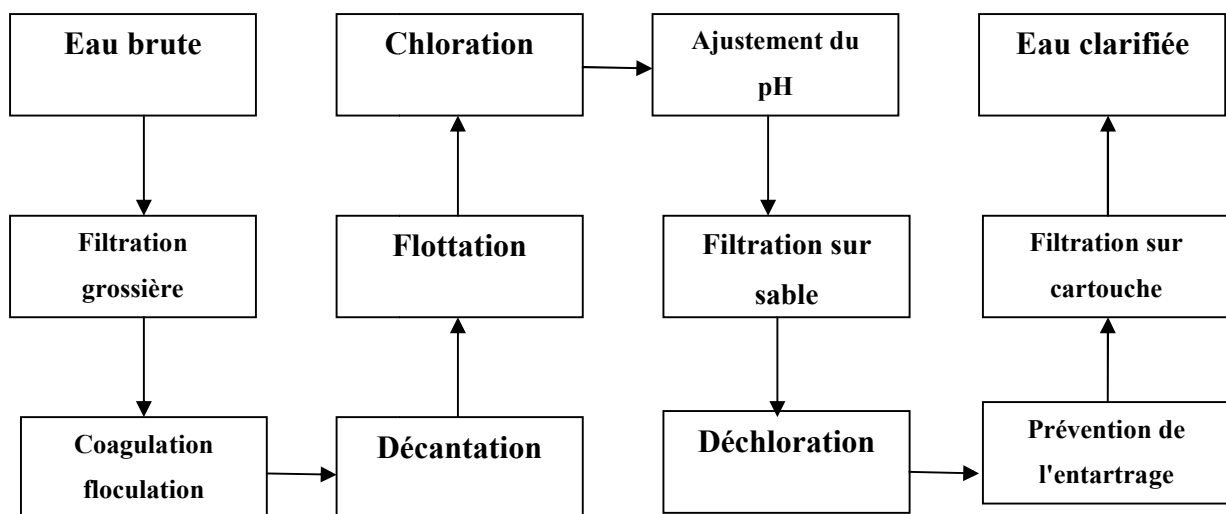
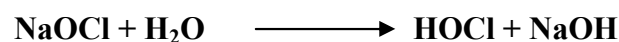


Figure III-3 Prétraitement conventionnel typique

- **Filtration grossière** : le rôle principal de la préfiltration est d'éliminer les gros matériaux qui peuvent endommager les installations et réduire l'efficacité globale du procédé de traitement.
- **Coagulation et floculation** : les coagulants sont ajoutés pour que les particules colloïdales puissent s'agglomérer. Pour améliorer la procédure de floculation, des floculants comme les polymères cationiques ou anioniques sont également rajoutés. Les coagulants les plus utilisés sont le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ), le sulfate ferrique ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ).
- **Décantation** : est assez peu utilisée en prétraitement avant osmose inverse compte tenu de l'importance de la surface au sol nécessaire et de la nécessité d'une filtration complémentaire. La décantation classique a été améliorée en utilisant des décanteurs lamellaires qui fonctionnent pour des rendements d'élimination équivalents à la décantation classique, avec des charges hydrauliques superficielles très élevées de 10 à 15  $\text{m}^3/\text{h}$ , le temps de séjour de l'eau est réduit à environ 10 à 12 minutes contre 2 heures dans un décanteur classique [28].
- **Flottation** : en cas de présence des hydrocarbures ensuite sont éliminés par raclage.
- **Chloration** : la chloration est nécessaire pour désinfecter et éviter la croissance biologique qui cause le biocolmatage de la membrane. Le chlore est ajouté sous la forme d'hypochlorite de sodium ( $\text{NaOCl}$ ) :



Une concentration en chlore résiduel libre ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NaOCl}$ ,  $\text{HOCl}$  et  $\text{OCl}^-$ ) de 0,5 à 1,0  $\text{mg.L}^{-1}$  doit être maintenue tout le long de la filière du prétraitement pour empêcher le colmatage de la membrane [13].

Les formes prédominantes sont  $\text{HOCl}$  à pH acide et  $\text{OCl}^-$  à pH basique, en pratique on peut retenir que la proportion d'acide hypochloreux  $\text{HOCl}$  est l'ordre 80% à PH 7, 50% à 7,5 et

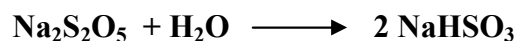
---

[28] Jean-Claude BOEGLIN, 2002.

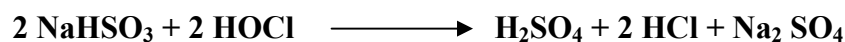
25% à 30% à pH 8 [29], cette notion est importante car l'effet germicide de HOCl est très supérieur à celui de OCl<sup>-</sup>.

Ainsi le chlore oxyde le fer présent dans l'eau qui cause l'entartrage des membranes d'osmose inverse [30].

- **Ajustement du pH** : pour avoir une efficacité majeure de l'action de l'hypochlorite de sodium, qui agit mieux à un pH bas et pour éviter la précipitation et les incrustations du carbonate de calcium.
- **Filtration sur sable mono- ou bicouche** : la filtration sur sable est nécessaire pour éliminer les agglomérats produits lors de la floculation. L'efficacité de la filtration dépend de l'épaisseur de la couche filtrante, la forme et la granulométrie du matériau, la taille des particules en suspension dans l'eau et la vitesse de filtration.
- **L'adsorption sur charbon actif** : est un phénomène physique de fixation de molécules sur une surface solide allant de 1000 à 1700 m<sup>2</sup>/gramme de charbon. Les quantités de produit adsorbé varient de moins de 0.01 g à maximum 0.3 g/gramme de charbon [31].
- **Déchloration** : la déchloration doit être effectuée avant l'osmose inverse car le chlore résiduel peut détériorer les membranes. Des fournisseurs de membranes donnent une dégradation après un temps de contact de 200 à 1000 heures avec une concentration en chlore résiduel libre de 1 mg.L<sup>-1</sup> pour des membranes composites [11]. Le métabisulfite de sodium (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) est utilisé pour la déchloration, pour son efficacité et son faible prix. Dans l'eau, il produit du bisulfite de sodium :



Le bisulfite de sodium réduit l'acide hypochloreux et acidifie le milieu par formation de l'acide chlorhydrique



[29] Pierre MOUCHET, janvier 2000.

[30] Enrico Riboni, Chézard-Saint-Martin, 1997-2008.

[31] Pierre GILLES, 1999.

- **Prévention de l'entartrage** : la méthode la plus utilisée pour éviter les dépôts de tartre ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ), consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres (polyphosphates, polymères carboxyliques...).
- **Filtration sur cartouche** : le poste de microfiltration constitue la dernière étape de la filtration de l'eau destinée à l'alimentation du bloc d'osmose inverse avec une taille de maille de 5 à 10  $\mu\text{m}$  pour protéger les pompes à haute pression et les membranes d'osmose inverse.

### 3.3.2. Colmatage maximum avant changement des cartouches

La perte de charge maximale tolérable pour les cartouches, due au colmatage, doit être limitée à 1,5 bars, ce qui correspond à 90 % de leur durée de vie totale des cartouches [32], comme l'indique la figure III- 4.

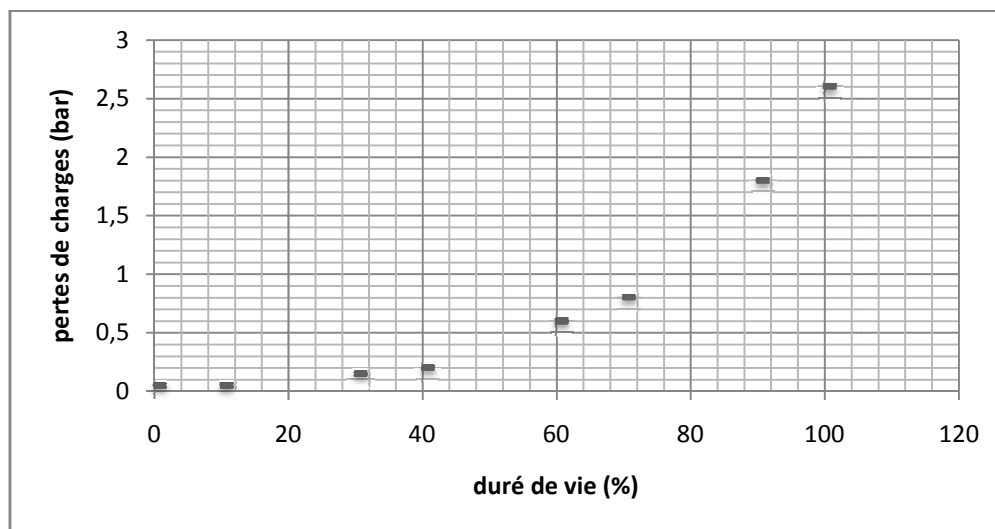


Figure III-4 Perte de charge par rapport à la durée de vie des cartouches [32]

Le changement des cartouches s'effectue dès que la pression différentielle entre l'entrée et la sortie du microfiltre atteint 1,5 bar plus la différence de pression du filtre propre.

[32] Programme bilatéral de coopération Algéro –Française, 2005.

### 3.3.3. Bloc d'osmose inverse

#### 3.3.3.a. Choix du type de l'écoulement

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel comme cela est explicité sur la figure III-5. Le débit de la solution à traiter  $Q_0$  se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes :

- Une partie qui passe à travers la membrane appelé perméat ( $Q_p$ ) ;
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane appelé concentrât ou retentât ( $Q_c$ ).

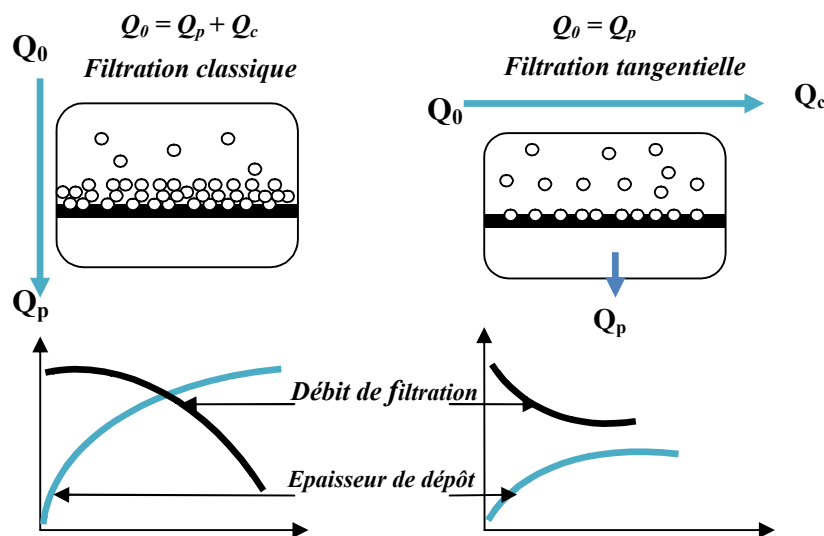


Figure III-5 Comparaison entre la filtration frontale et la filtration tangentielle [Erreur ! Signet non défini].

Le mode tangentiel, assure une productivité élevée (limitation du colmatage), avec un prix plus élevés en termes d'investissement (pompe supplémentaire) et de fonctionnement (énergie de circulation).

#### 3.3.3.b. Choix de pression de fonctionnement

Les installations de dessalement par osmose inverse fonctionnent généralement sous des pressions de 40 à 80 bars selon la salinité [33]. Le choix de la pression de fonctionnement est lié à des considérations d'abord techniques ensuite économiques.

[33] Dossier thématique- La Cité de la mer, Mars 2005.

- **Considérations techniques** : pour une vitesse de circulation donnée, il existe une pression limite au-delà de laquelle le flux du perméat n'augmente plus par suite du phénomène de polarisation de concentration. Il est donc impératif de connaître cette valeur limite, de manière à se situer nettement au dessous. Lorsque la pression est trop élevée, se posant des problèmes de tenue mécanique des membranes (compactage).
- **Considérations économiques** : le choix de la pression de fonctionnement, doit faire l'objet d'une optimisation entre le coût de la consommation énergétique et le coût lié à la surface de membranes.

**3.3.3.c. Choix de la température**

Le choix de la température de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse, est déterminé en fonction des considérations suivantes :

Pour une pression donnée, le compactage d'une membrane est d'autant plus important que la température est élevée ; le débit d'eau à travers la membrane augmente avec la température par suite la diminution de la viscosité.

Il en résulte que l'on peut :

- Soit augmenter la température en récupérant éventuellement des calories disponibles.
- Soit diminuer la pression de fonctionnement si la température est trop élevée.

**3.3.3.d. Choix de taux de conversion**

Le choix de ce paramètre résulte d'un compromis entre des considérations économiques et des considérations techniques.

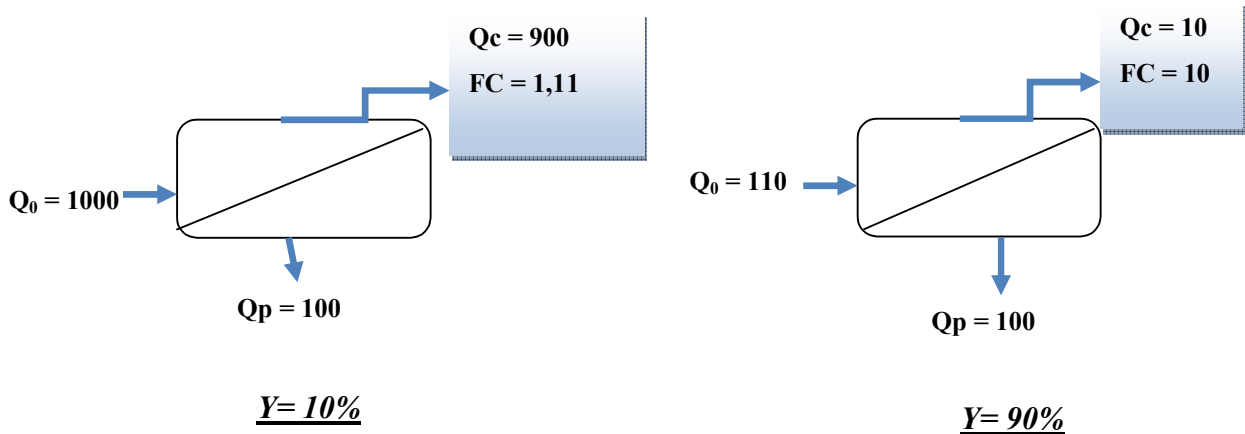


Figure III-6 Choix du taux de conversion d'une unité de dessalement pour une capacité de production donnée.  
(FC = facteur de conversion)

- **Du point de vue économique** : on a en effet intérêt à adopter un taux conversion le plus élevé possible, de manière à diminuer la quantité d'eau brute entrant dans l'installation, et les rejets à éliminer.
- **Du point vue technique** : un taux de conversion élevé va se traduire par une augmentation importante de la salinité de la saumure et par la même de sa pression osmotique. Cela va entraîner une diminution de la pression efficace ( $\Delta P - \Delta \pi$ ) et donc du débit de perméat.

### 3.3.3.e. Choix des membranes

Il conviendra, dans une première sélection, de considérer la nature du matériau (Tableau II-3), puis de se conformer aux gammes de température, de pH et de conditions chimiques (Tableau II-2).

La plupart des membranes utilisées pour le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse sont des membranes composites à base de polyamide et de configuration spiralée (Figure III-7).

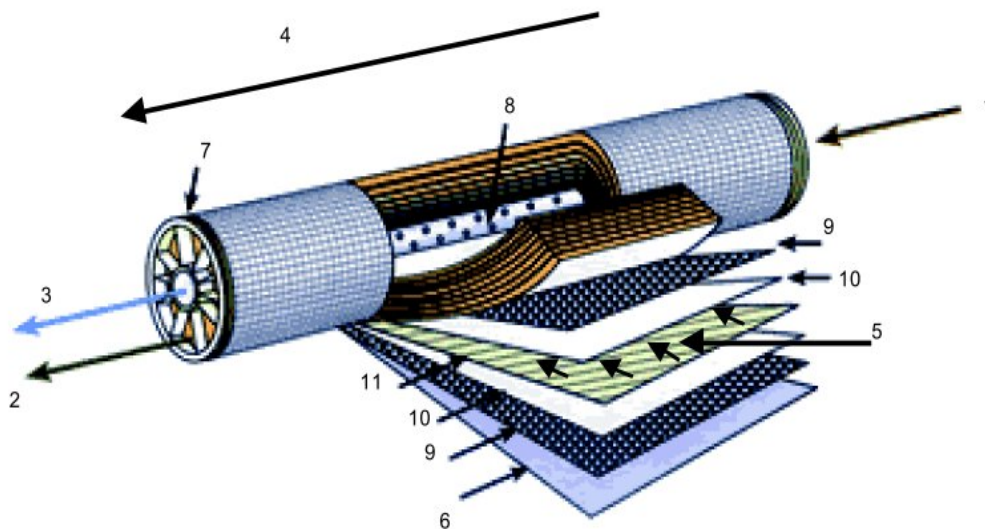


Figure III-7 Structure interne d'une membrane spiralée (<http://www.sofrance.com/findex.html>)

- |   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 1 | Entrée d'eau                     | 7 | Joint d'étanchéité entre module et enveloppe |
| 2 | Sortie de concentrat             | 8 | Perforations collectant le perméat           |
| 3 | Sortie de perméat                | 9 | Espaceur                                     |
| 4 | Sens d'écoulement de l'eau brute |   |  |
| 5 | Sens d'écoulement du perméat     |   |  |
| 6 | Matériau de protection           |   |  |

- 10 Membrane
- 11 Collecteur de perméat

### 3.4. Limitations d'une unité d'osmose inverse

#### 3.4.1. Phénomène de polarisation de concentration

##### 3.4.1.a. Nature du phénomène

C'est l'accumulation progressive des espèces dans la couche limite de concentration, située entre la surface de la membrane et la masse de fluide à filtrer (Figure III- 8). La polarisation de concentration est un phénomène réversible, qui disparaît si le gradient de transfert est annulé.

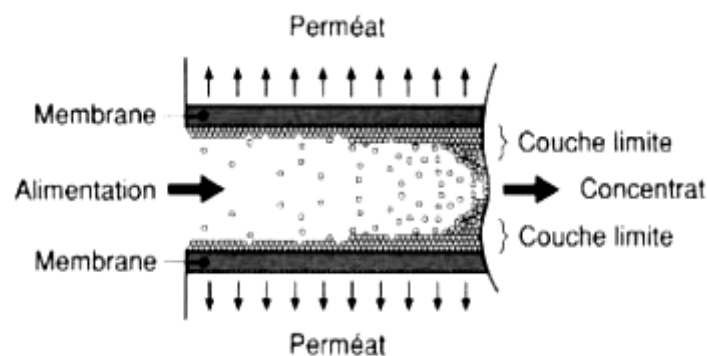


Figure III-8 Formation de la couche de polarisation de concentration

##### 3.4.1.b. Conséquences du phénomène de polarisation de concentration

- **Diminution du flux de perméat** : dans le cas d'un système fonctionnant à pression constante, la pression efficace diminue à cause de l'augmentation de la pression osmotique du concentrat [34].
- **Variation de la sélectivité** : une augmentation de la concentration près de la membrane, peut se traduire soit par une augmentation de la concentration dans le perméat, soit par une diminution lorsqu'il y a dépôt et que celui-ci joue le rôle d'une deuxième membrane [35], car la couche de polarisation offre une résistance supplémentaire au transfert et limite le passage de ces particules à travers la membrane.

[34] Julie MENDRET, Novembre 2007.

[35] Nathalie LEBLEU, Novembre 2007.

- **Colmatage de la membrane** : l'augmentation de la concentration près de la membrane facilite l'entartrage [22], c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation et l'augmentation rapide de la vitesse de déposition, ce qui va engendrer la formation du tartre.

### 3.4.2. Phénomène de colmatage

C'est l'ensemble des phénomènes qui limitent le flux du perméat à travers la membrane.

#### 3.4.2.a. Principales origines du colmatage

Il faut distinguer les phénomènes qui conduisent à une évolution des propriétés des membranes pour des raisons mécaniques ou chimiques, des phénomènes de colmatage. On distingue quatre catégories de colmatage :

- **Adsorption** : l'adsorption est un phénomène de surface [36]. Les particules (généralement les macromolécules comme les protéines) ayant une affinité physico-chimique pour le matériau membranaire, s'adsorbent à la surface de la membrane ou dans ses pores [37].
- **Obstruction des pores (capture des particules)** : les particules dont la taille est de l'ordre de grandeur de celle des pores ou supérieur, ont tendance à se bloquer à la surface, à l'entrée ou dans les pores, entraînant une obstruction totale ou partielle de ces derniers. [24, 34, 37]
- **Dépôt** : correspond à un changement d'état des solutions (transition entre une phase dispersée et une phase condensée) au voisinage de la membrane, pour former une phase gel ou solide [24, 34].
- **Biofouling** : c'est un colmatage dû à des micro-organismes, soit directement par le développement d'un biofilm à la surface de membranes, soit indirectement par les métabolites produits par les micro-organismes. [11, 13, 36]

---

[36] Pierre AIMAR ; Patrice BACCHIN ; Alain MAUREL, Février 2010.

[37] Pierre-Jean REMIZE, Janvier 2006.

### 3.4.2.b. Conséquences du colmatage

Diminution accentuée du flux de perméat, à cause de la résistance supplémentaire à la filtration, provenant des dépôts résultant d'une augmentation de la concentration. [11]

### 3.4.3. Indice de colmatage : Salt Density Index (SDI)

Le SDI est un paramètre indicateur du potentiel de fouling des membranes, il dépend de la nature et de l'origine de l'eau brute.

#### 3.4.3.a. Moyens pour limiter le colmatage

Le colmatage peut être réversible ou irréversible, selon les moyens employés pour éliminer la perte de perméabilité des membranes. [38]

- **Préventifs** : amélioration de l'hydrodynamique dans le module par :
  - L'augmentation de la vitesse tangentielle : le gain peut être estimé en considérant l'augmentation du coefficient de transfert de matière ;
  - L'augmentation de l'hydrodynamique à débit de circulation constant : est de travailler avec un espace plus petit pour l'écoulement ;
  - Utilisation des promoteurs de turbulence : afin de créer des écoulements instationnaires au-dessus de la membrane ;
  - Rinçages séquentiels : ces procédures peuvent s'envisager de façon séquentielle dans le procédé, en alternant des cycles de filtration avec es cycles de rinçage ;
  - Rétrolavage : il consiste en une inversion périodique du flux. Par ailleurs, toutes les membranes ne supportent pas les rétrolavages qui peuvent décoller la peau sélective, donc la membrane doit être auto supportée ;
  - Ecoulement diphasique : il s'agit d'injecter en continu ou périodiquement de l'air dans le rétentat [37]. L'écoulement tangentiel se présente comme un écoulement de trains de poches d'air contribuant au décollement de la matière déposée.

---

[38] Revue ACER, Alfa ARZATE, 2010.

- **Curatifs** : nettoyage des membranes : la fréquence de nettoyage dépend de la qualité des eaux prétraitées. Elle est en générale comprise entre une fois par mois et une fois par an [*Erreur ! Signet non défini.*]. Les séquences du nettoyage chimique peuvent durer de 20 à 60 min .Les nettoyages sont d'autant plus efficaces qu'ils sont menés à haute température [24].

Si l'installation est à l'arrêt pour une période de plus que 24 heures, les membranes doivent être bien lavées et entreposées à l'aide d'un agent bactéricide tel que le métabisulfite de sodium [3838].

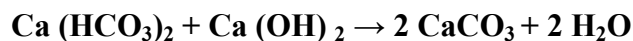
#### 3.4.4. Phénomène de l'entartrage

L'entartrage est dû à la précipitation et au dépôt, dans la zone alimentation/concentration, des sels de calcium, de baryum, de strontium, de silice, à savoir principalement pour l'eau de mer :

- Carbonate de calcium ;
- Sulfate de calcium ;
- Fluorure de calcium ;
- Sulfate de baryum ;
- Sulfate de strontium.

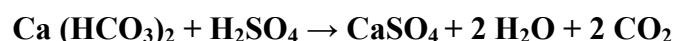
##### 3.4.4.a. Moyens pour limiter l'entartrage

- **Précipitation à la chaux** : ce procédé est employé lorsque la dureté carbonatée est due essentiellement aux ions  $\text{Ca}^{2+}$ . En revanche, l'addition de chaux entraîne la précipitation du  $\text{CaCO}_3$  avant la membrane.



Cette technique présente des inconvénients inhérents à l'emploi de la chaux et à la quantité de boues produite, mais celles-ci sont facilement déshydratées.

- **Décarbonatation à l'acide** : l'addition d'un acide fort,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{HCl}$ , déplace les carbonates sous forme de gaz carbonique.



- **Germination ou ensemencement** : ce système consiste à provoquer des dépôts sur des germes cristallins que l'on a introduits dans la solution, à raison de 10 à 20 g.L<sup>-1</sup> [12].  
Ces germes peuvent être du carbonate de calcium, du sulfate de calcium ou du sulfate de baryum. Les risques de « prise en masse » au cours des arrêts existent et peuvent expliquer le faible développement de ce procédé.
- **Adoucissement sur résines de l'eau de mer** : l'adoucissement de l'eau de mer consiste à remplacer les ions calcium par des ions sodium. Le procédé consiste à faire circuler l'eau de mer sur des résines cationiques saturées en ion sodium, où se produit un échange ionique.
- **Inhibiteurs d'entartrage** : c'est ce procédé qui est le plus souvent utilisé. Les produits chimiques nommés « tartriques » sont injectés à très faible dose (quelques ppm) dans l'eau d'alimentation. Ils ont la propriété d'éviter ou de minimiser les dépôts qui se font sur la membrane. Les trois principales familles de produits antitartre utilisées dans le dessalement de l'eau de mer, sont les polyphosphates, les organophosphonates et les polymères carboxyliques.

### 3.4.5. Vieillessement des matériaux membranaires

Le vieillissement chimique correspond à une modification de la structure chimique d'un polymère, point de départ d'une transformation irréversible [39].

Le lavage périodique des installations membranaires, les soumet à des conditions chimiques difficiles, qui peuvent entraîner un vieillissement des matériaux. Les conséquences en sont d'une part un risque accru de rupture des membranes et, d'autre part, un changement de leurs propriétés de sélectivité et de perméabilité.

---

[39] Axel ETTORI, 2011.

### 3.4.6. Durée de vie des membranes

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la membrane, mais aussi des conditions d'utilisation : pression de fonctionnement, température de l'eau, pH, qualité de prétraitement. Enfin, la notion même de la durée de vie d'une membrane n'est pas très nette. Les performances d'une membrane d'osmose inverse évoluent lentement au cours du temps et, en générale, on change les membranes lorsque la qualité du perméat dépasse un certain seuil. Mais pour différentes raisons, l'exploitant peut très bien augmenter la durée de vie des membranes.

---

## 4.1. Présentation du site

### 4.1.1. Situation géographique de la commune de Tizirt

Tizirt, est une zone côtière située à 125 Km à l'Est d'Alger, à 120 Km à l'Ouest de Bejaia et 38 Km au Nord de la wilaya de Tizi Ouzou.

### 4.1.2. Présentation de la station de dessalement de l'eau de mer

Elle se situe à la sortie Ouest de Tizirt, éloignée d'environ 400 m de la plage TASSALAST. Les travaux ont été lancés depuis le mois d'Avril 2003, cette station est réalisée par la société « HYDRO-TRAITEMENT » est mise en service en Août 2004, elle est réceptionnée par l'Algérienne des Eaux (ADE) en 2007.

Avec une capacité de production de 2500 m<sup>3</sup>/jour, cette station "monobloc" permet de garantir une alimentation en eau potable de la population de la ville de Tizirt, estimée à 16600 habitants.

L'unité de dessalement de Tizirt produit une eau osmosée refoulée vers un réservoir, où elle est mélangée avec les eaux de forage, puis distribuée sur 4500 habitants [40].

Cette dernière comprend une station de pompage des eaux brutes, un décanteur lamellaire avec des pompes de transfert des eaux vers l'installation, une monobloc d'osmose inverse, un laboratoire d'analyses, un poste de transformation du courant électrique, un groupe électrogène de secours, un local de stockage de produits chimiques et un logement de service.

Le procédé de production adapté au niveau de cette station conduit à des rejets liquides qui sont rejetés à la mer.

Le coût global de cet ouvrage est estimé à 125 millions de dinars algériens.

---

[40] Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH- 2009).

## 4.2. Présentation de l'installation

### 4.2.1. Données de l'installation

<b>Modèle</b>	ASTROBLOC 33V-7/SW
<b>N° de la machine</b>	1411
<b>Date de fabrication</b>	SEP 2002

<b>Paramètres</b>	<b>Valeurs nominales</b>	<b>Unité</b>
<b>Débit d'entrée</b>	232	m <sup>3</sup> /heure
<b>Débit de production</b>	104	m <sup>3</sup> /heure
<b>Débit de saumure</b>	128	m <sup>3</sup> /heure
<b>Taux de conversion</b>	45	%
<b>Capacité de production</b>	2 500	m <sup>3</sup> /jour

### 4.2.2. Les pompes utilisées

<b>Pompes</b>	<b>Débit (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>HMT (m)</b>	<b>Vitesse de rotation (tours/min)</b>	<b>Puissance (kW)</b>	<b>Marque</b>	<b>Type</b>	<b>Pompe en marche</b>	<b>Année d'installation</b>
<b>Pompe d'eau de mer</b>	232	25	1465	25.5	RITZ	Centrifuge horizontale	1 sur 2	2009
<b>Pompe de transfert vers l'installation</b>	93	40	2940	18.5	MORELLI Bombas	Centrifuge horizontale	2 sur 3	2009
<b>Pompe à haute pression</b>	77	280	5930	150	GRUNDFOS (ESP)	Suppresseur	2 sur 3	2004
<b>Pompe de lavage et de refoulement</b>	90	89.1	-	30	SIEMENS	Centrifuge à transmission verticale	1 sur 2 pour chaque une	2004

### 4.3.Type du procédé de dessalement

Le procédé utilisé au niveau de la station de Tizgirt, est un procédé continu à un seul étage (Figure IV-1).

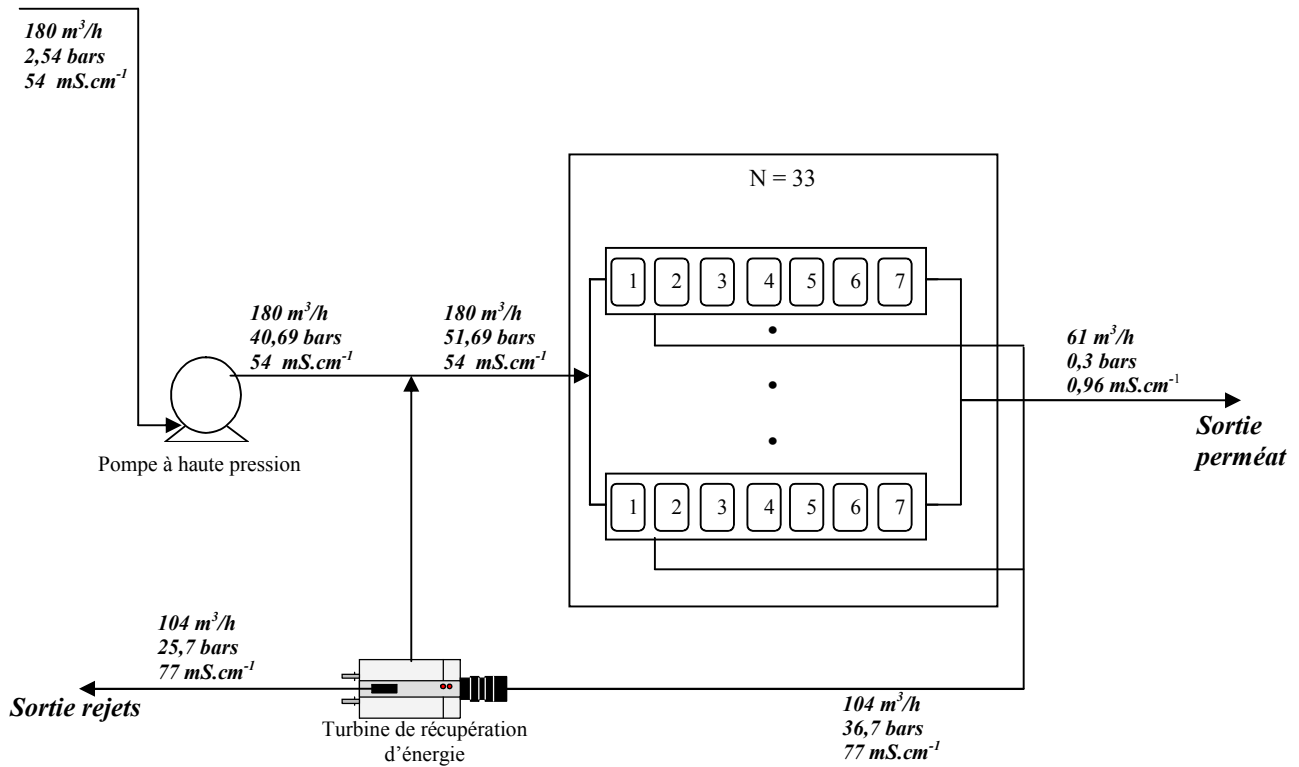


Figure IV-1 Montage du procédé continu à un seul étage

Tableau IV-1 Paramètres de fonctionnement de l'installation

paramètres	Valeurs	Unités
Débit d'entrée	180	m <sup>3</sup> /heure
Débit de production	61	m <sup>3</sup> /heure
Débit de saumure	108	m <sup>3</sup> /heure
Taux de conversion (Y)	36	%
Capacité de production	1 464	m <sup>3</sup> /jour
Facteur de conversion (FC)	1,56	/

#### 4.4. Description du procédé de dessalement par osmose inverse

##### 4.4.1. Prise d'eau de mer

La prise d'eau de mer est assurée par une pompe centrifuge avec un débit estimé à  $232 \text{ m}^3/\text{h}$ , elle est munie d'une conduite en polyéthylène à haute densité (PEHD) de diamètre intérieur de 400 mm, émergée dans la mer à une profondeur de 12 m et 500 m au large, son site et sa conception seront choisis pour éviter au mieux les zones à forte teneur en matières en suspension.

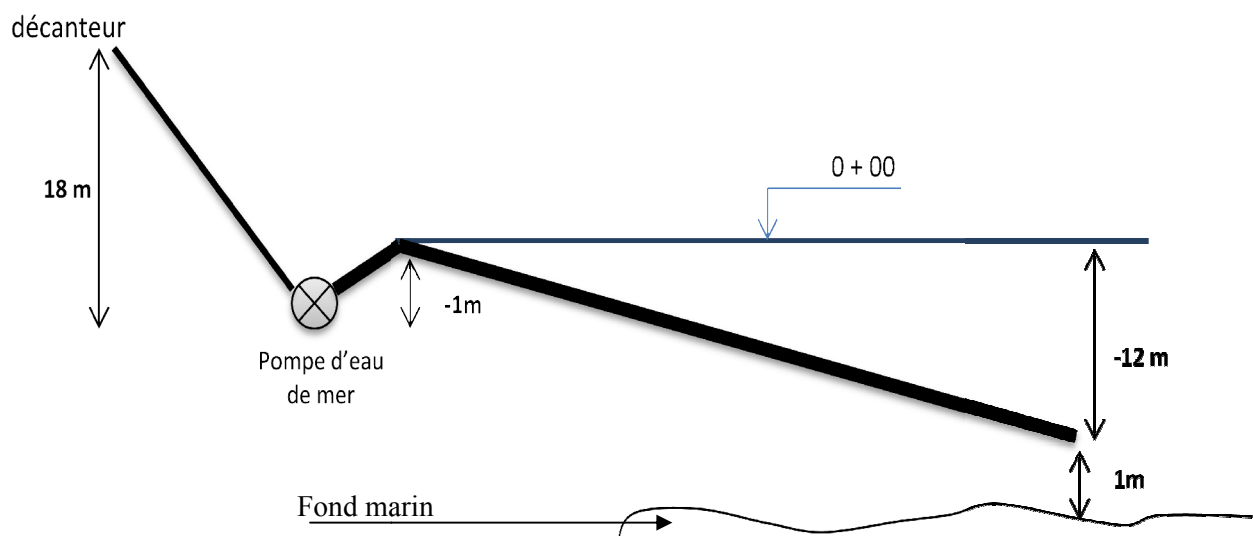


Figure IV-2 Schéma illustrant la prise d'eau de mer.

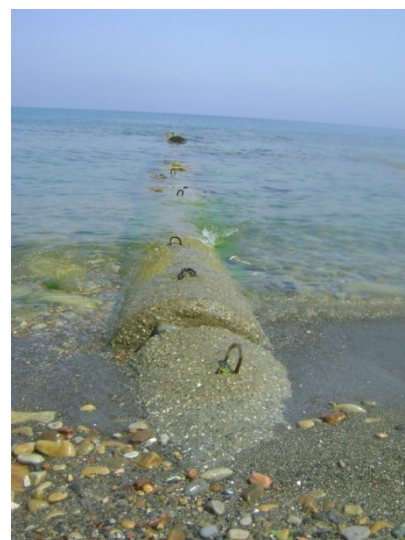


Photo 1 Prise directe d'eau de mer

#### 4.4.2. Décantation

Le décanteur est de type lamellaire opérant à un débit de 232 m<sup>3</sup>/h, il comporte 03 compartiments :

- **1<sup>er</sup> compartiment** : alimenté par deux conduites d'eau brute et muni d'une autre conduite appelée « trop plein » servant à évacuer les eaux excédentaires. Au niveau de ce bassin, les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau sont décantées et extraites périodiquement.
- **2<sup>eme</sup> compartiment** : ce bassin communique avec le premier par le fond ce qui favorise la décantation du reste des matières en suspension. Après le passage dans le deuxième bassin les eaux ont tendance à remonter en surface pour se retrouver dans des tubes à section hexagonale. Les lamelles sont constituées de polychlorure de vinyle (PVC), inclinées de 60°, les boues sont charriées à l'encontre du courant ascendant de l'eau pour favoriser l'écoulement des particules vers le fond de l'ouvrage [41]. A la surface du bassin, des conduites perforées sont plongées dans l'eau décantée afin de l'acheminer vers le 3<sup>ème</sup> compartiment.
- **3<sup>eme</sup> compartiment** : des pompes d'apports sont installées pour l'acheminement de l'eau décantée et l'alimentation pour la production.

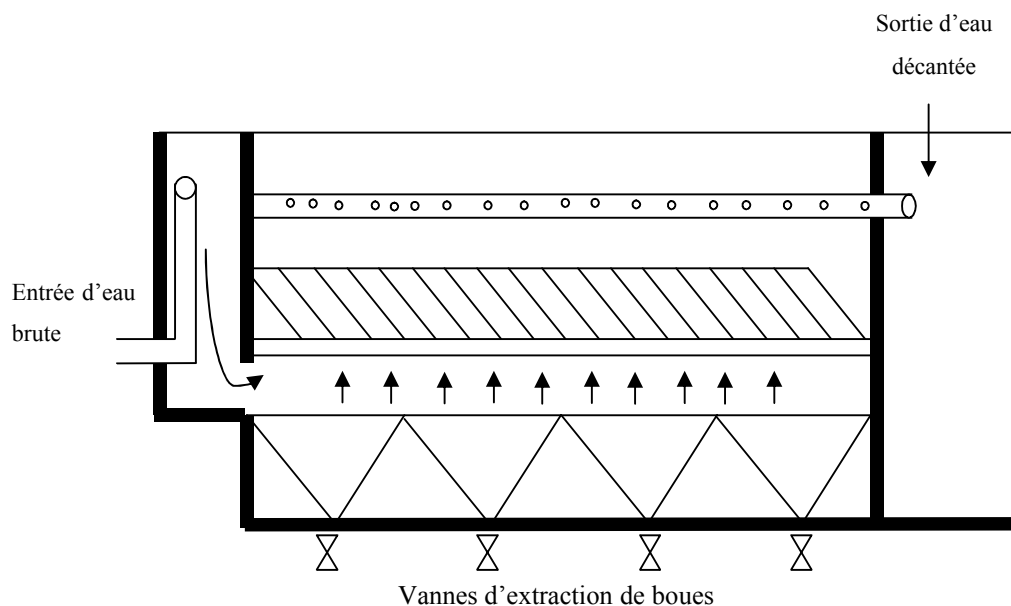
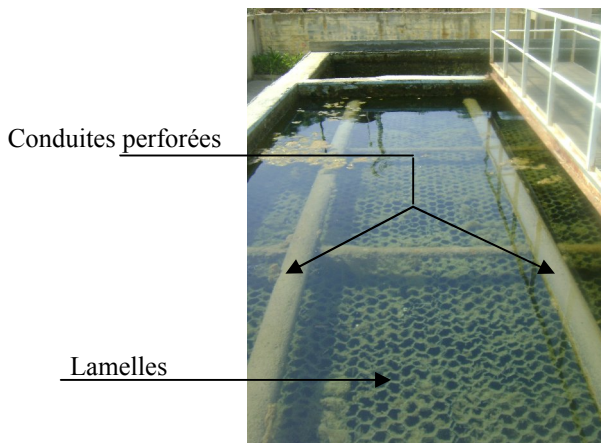


Figure IV-3 Schéma du décanteur lamellaire

[41] Pierre BLAZY, EL-Aid JDID et Jean-Luc BERSILLON, 1999.

1<sup>er</sup> compartiment2<sup>ème</sup> compartiment

Décanteur lamellaire

3<sup>ème</sup> compartiment

#### 4.4.3. Dosage de l'acide chlorhydrique

Le système de dosage se compose d'un réservoir de stockage de 500 litres, construit en PEHD, l'acide chlorhydrique est injecté à l'entrée des filtres à sable.

Le pH de l'eau brute est ajusté à 6,78 afin de protéger les membranes contre la précipitation des sels et la formation d'un dépôt de carbonates de calcium sur les surfaces des membranes qui entraîne un colmatage de type scaling (entartrage).

- Débit d'injection : 12,5 L /heure.



Photo 2 Point d'injection de l'acide chlorhydrique

#### 4.4.4. Filtration duelle

Le système de filtration est composé de 03 filtres verticaux du type duel (double lit filtrant), constitués par des matériaux inertes comme l'anthracite et le silex. Chaque unité de filtration prévue pour 1/3 du débit nominal.

Le degré de filtration de ce système est de 20  $\mu\text{m}$ .

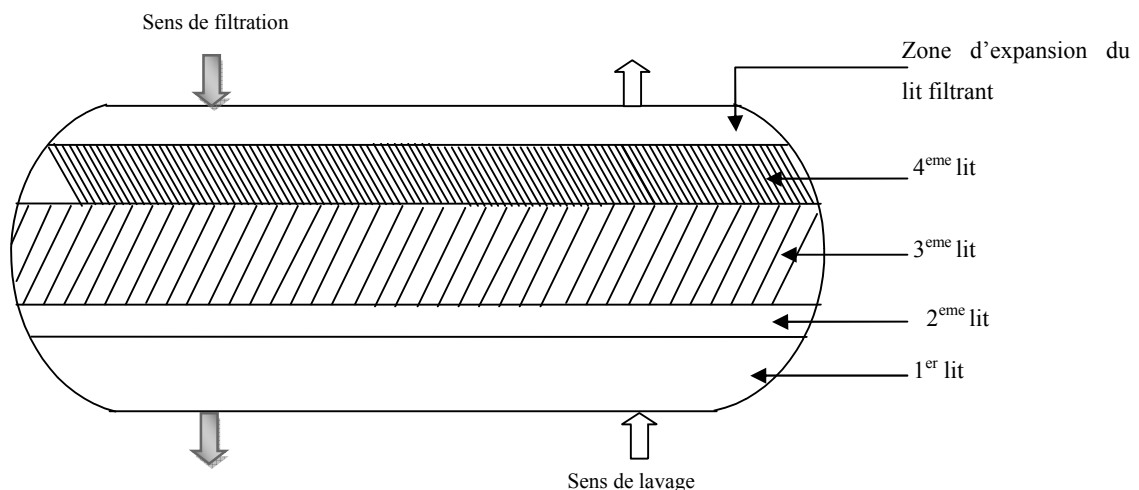


Figure IV-4 Filtre à sable

Tableau IV-2 Les charges de chaque filtre à sable

Lit	silex	Taille (mm)	Hauteur couche (mm)	Quantité	
1 <sup>er</sup> lit	silex support lourd	3-5	Couvrir le collecteur	800	Kg
2 <sup>eme</sup> lit	silex support	1-2	300	1500	Kg
3 <sup>eme</sup> lit	silex filtrant	0,4-0,8	500	2500	Kg
4 <sup>eme</sup> lit	anthracite	0,8-1,2	400	1800	litre



Photo 3 Image des trois filtres à sable

#### 4.4.5. Dosage du bisulfite de sodium

Le système de dosage du bisulfite de sodium se compose d'un réservoir d'emménagement d'une capacité de 500 litres construit en PEHD.

- Débit d'injection : 2 L/h.



Photo 4 Point d'injection du bisulfite de sodium

*Remarque :* Les réservoirs de stockage de produits chimiques sont composés d'un interrupteur de niveau minimum, lequel déclenchera l'alarme et l'arrêt de l'installation.

#### 4.4.6. Filtres d'affinement et de sécurité

Une fois l'eau de mer filtrée au niveau des filtres duels et dosée avec des produits chimiques décrits antérieurement, elle est acheminée vers le système de microfiltration, afin d'éliminer toutes les particules qui peuvent rester en suspension, ayant une dimension supérieures à 5 microns.

Cette partie du processus se compose d'une carcasse de filtre d'affinement construit en polymère renforcé de fibres de verre (PRFV), chaque filtre est constitué de 33 cartouches.

Tableau IV - 3 Caractéristiques des cartouches de filtration

<b>Type de cartouche</b>	PX – 0540
<b>Degré de filtration</b>	5 $\mu\text{m}$
<b>Longueur</b>	40 cm
<b>Diamètre</b>	6 cm



Photo 5 Les trois filtres de sécurité

#### 4.4.7. Pompage à haute pression et turbine de récupération de l'énergie hydraulique du concentrat

L'eau parfaitement conditionnée arrive au système de pompage à haute pression, ce dernier l'impulse vers les membranes d'osmose inverse. L'eau à traiter a une pression osmotique de 18 bars approximativement, la pression nécessaire pour la production est de 54 bars. 15% de l'énergie hydraulique du rejet sont récupérés par la turbine de récupération.

#### 4.4.8. Système de membranes d'osmose inverse

L'installation est équipée de membranes de configuration spiralée, installées en séries dans des tubes de pression à raison de sept membranes par tube, elles sont raccordées par des joints.

Ces membranes sont construites en polyamide, spécialement utilisées pour des eaux marines ayant jusqu'à une concentration de 50000 ppm, de haute efficacité, de marque HYDRANAUTICS. Le choix des membranes de haut rejet de sel a pour objet de produire une eau traitée d'une salinité totale inférieure à 400 ppm. Ces dernières ont une grande résistance chimique et peuvent fonctionner dans une gamme de pH allant de 2 à 10, ce qui donne une grande facilité de nettoyage, acceptant une grande variété de produits chimiques de lavage.

Les membranes sont groupées sur un châssis et montées dans 33 tubes de pression de 7 unités, de diamètre de 21 cm et d'une longueur de 760 cm, fabriquées en PRFV et conçus pour une pression de travail de 70 bars. Les membranes sont du type SWC3 de 20 cm de diamètre et 100 cm de longueur.

Les principales caractéristiques sont :

- Taux de rejet : 99.6 %
- Aire : 353 031,5 cm<sup>2</sup>
- Poids : 16,4 Kg



Photo 6 Membranes d'osmose inverse

#### 4.4.9. Système d'équilibre osmotique

Quand un arrêt accidentel de l'installation se produit, les trois racks de membranes disposent d'un réservoir d'eau de 4 000 litres, construit en polyester (PE), dont le montage se réalise en le mettant au-dessus des conteneurs.

Avec ce système, quand l'installation est à l'arrêt, les membranes restent remplies d'eau traitée, évitant les risques de précipitation des sels, qui auraient pu se produire si l'installation était remplie d'eau brute mais de concentration plus importante, celle-ci dépend de conversion de conception.



Photo 7 Système d'équilibre osmotique

#### 4.4.10. Equipement de nettoyage chimique

Avec le temps, toutes les installations souffrent d'encrassement qui dépend plus ou moins du prétraitement installé et des caractéristiques de l'eau d'alimentation.

L'équipement de lavage est constitué d'un réservoir de préparation des réactifs de 2 000 litres construit en PEHD. Ce réservoir est doté d'un agitateur électrique, d'une résistance d'échauffement, d'un thermostat de sécurité et d'interrupteurs de niveau maximum, moyen et minimum.

Tableau IV - 4 Caractéristiques du filtre de sécurité et de lavage

<b>Type de cartouche</b>	PX – 2040
<b>Quantité</b>	33 unités
<b>Degré de filtration</b>	20 $\mu\text{m}$
<b>Longueur</b>	40 cm

#### 4.4.11. Réservoir tampon et pompage de refoulement

L'eau traitée est stockée dans un réservoir cylindrique vertical de 1 000 litres de capacité, construit en PRFV.

##### 4.4.11.a. Neutralisation de l'eau traitée

L'eau traitée à la sortie du réservoir d'équilibre osmotique passe par un système de neutralisation par dosage de soude (NaOH).

##### 4.4.11.b. Chloration de l'eau traitée

Pour que l'eau traitée ne soit pas contaminée au niveau du réservoir de stockage final, elle est dosée par une petite quantité de chlore moyennant une pompe doseuse dont les caractéristiques sont identiques à celles indiquées au prétraitement.

L'équipement de chloration est composé d'un réservoir de stockage de 500 litres, construit en PEHD.

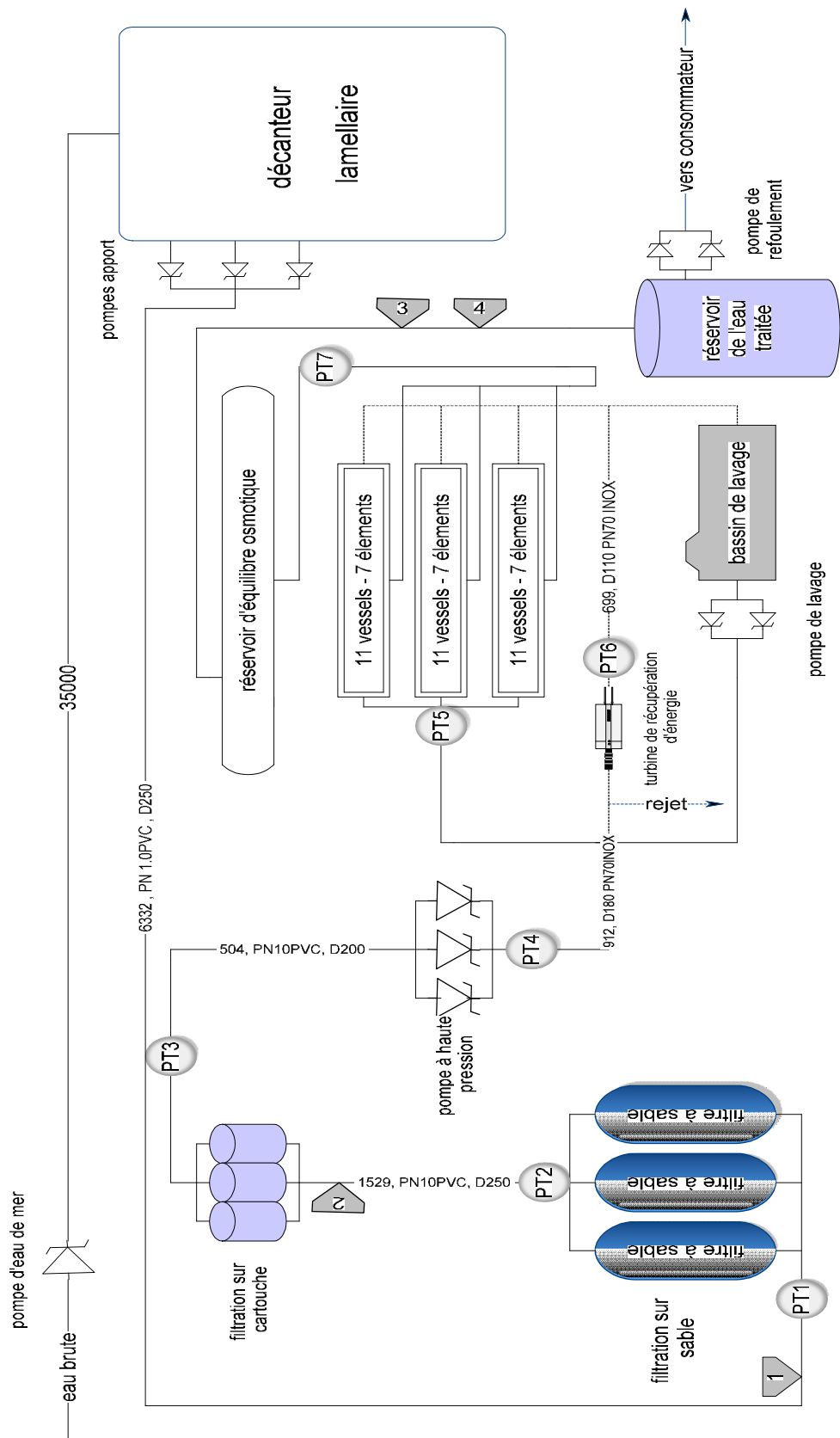
- Débit d'injection : 0,85 L/h



Photo 8 Réservoir tampon de stockage de l'eau traitée

#### 4.4.12. Armoire de commande

Des signaux délivrés par les différents analyseurs sont traités par l'automate sous forme des seuils « bas » et « haut » à ne pas dépasser. Le défaut est signalé à l'exploitant qui neutralisera l'alarme après avoir recherché les causes.



4 : dosage la soude

3 : dosage de l'hypochlorite de sodium

2 : dosage de bisulfite de sodium

1 : dosage de HCl

PT : transmetteur de pression

Figure IV-5 Schéma général de la station

# CHAPITRE 5 EVALUATION DES PERFORMANCES DU PROCEDE DE SEPARATION MEMBRANAIRE PAR OSMOSE INVERSE

---

1234567891011121314151617181920212223242526272829303132333435363738394041

---

	1
	2
3	
	4
	5
	6
	7
	8
	9
10	
	11
	13
	14
	15
	16
	17
	18
	19
	20
	21
	22
	23
	24
	25
	26
	27
	28
	29
	30
	31
	32
	33
	34
	35
	36
	37
38	
39	

La station de dessalement de l'eau de mer de Tizirt est équipée de sondes de mesure de quelques paramètres physico-chimiques.

## **5.1. Equipements de contrôle**

### **5.1.1. Equipements de processus**

- Indicateurs de pression différentielle, doublés de manomètres pour la mesure de l'état d'encrassement des différents filtres et des éléments d'osmose inverse.
- Analyseurs

**Tableau V-1 Les différents analyseurs au niveau de la station**

<b>Analyseurs</b>	<b>Circuits</b>			
	<b>Eau prétraitée</b>	<b>Eau distribuée</b>	<b>Perméat</b>	<b>Concentrat</b>
<b>pH-mètre</b>	X	X		
<b>Conductivimètre</b>	X		X	
<b>Redox mètre</b>	X			
<b>Capteur de température</b>	X			
<b>Débitmètre</b>			X	X

### **5.1.2. Appareils portables**

- Kit de mesure de l'indice de colmatage.

### **5.1.3. Appareils de laboratoire**

- Conductivimètre ;
- Turbidimètre ;
- pH-mètre.

### **5.1.4. Equipements divers**

- Kit pour le prélèvement par tubage du perméat produit par les tubes de pression.
-

## 5.2. Evaluation des performances du prétraitement

### 5.2.1. Qualité de référence

Les prétraitements physico-chimiques ont pour rôle de fournir une eau d'alimentation des membranes présentant les caractéristiques suivantes :

- SDI (15min) maximal 5
- Turbidité maximale 1NTU
- Gamme de pH 3-10 unité pH
- Température maximale 45°C
- Potentiel redox maximal 500 mV
- Teneur en chlore maximale 0,1 ppm.

### 5.2.2. Analyses physico-chimiques à différentes étapes du prétraitement

Afin de prévoir la performance du prétraitement, nous avons procédé à des analyses physico-chimiques. Ces dernières sont effectuées à l'entrée de la chaîne du prétraitement de l'eau brute (1), au niveau du décanteur lamellaire (2), à la sortie des filtres à sable (3) et à la sortie des cartouches d'affinement (en amont du système d'osmose inverse) (4)

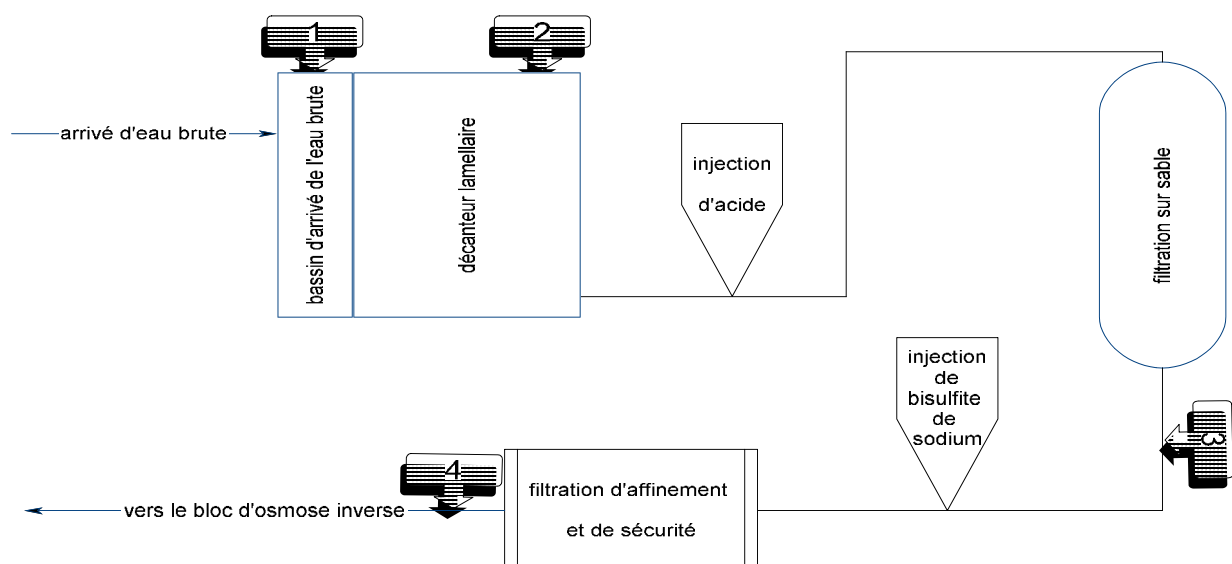


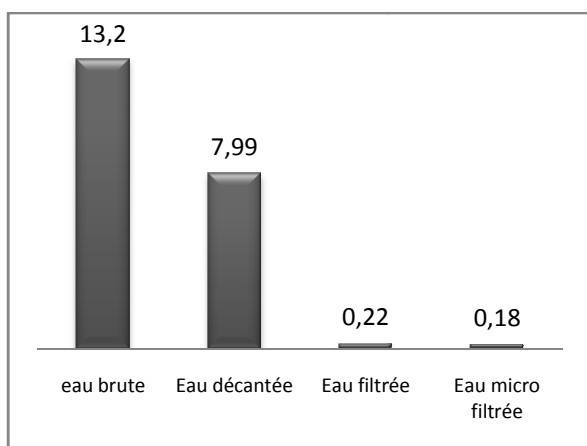
Figure V-1 Schéma illustrant les étapes du prétraitement et les points de prélèvement.

5.2.2.a. Résultats des analyses

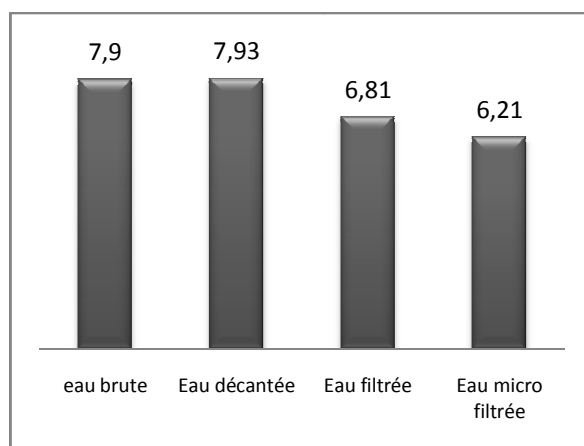
Tableau V-2 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau à différentes étapes du prétraitement

Point de prélèvement	pH	Conductivité ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) T= 20,3°C	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
Eau brute (1)	7,90	54 600	13,2	36,3
Eau décantée (2)	7,93	54 300	7,99	36,4
Eau filtrée (3)	6,81	54 400	0,22	36,5
Eau micro filtrée (4)	6,21	54 100	0,18	36,7

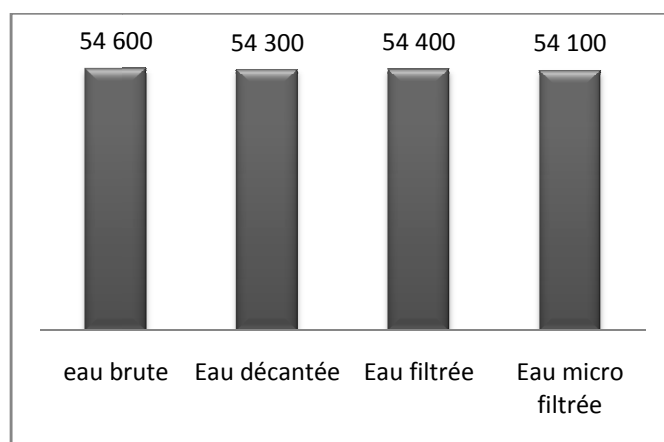
5.2.2.b. Représentations graphiques



Variation de la turbidité (NTU)



Variation du pH



Variation de la conductivité ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )

### 5.2.2.c. Interprétations

**Turbidité :** nous constatons que le meilleur taux d'élimination de la turbidité qui a lieu au niveau de filtres à sable (3) est de 97,24% par comparaison à celle des autres étapes.

En effet, les taux de réduction au niveau des points (2) et (4) sont estimés respectivement à 39,45% et 18,18%.

Ces résultats indiquent que la filtration sur sable réduit considérablement les risques de colmatage de type colloïdal des membranes d'osmose inverse. Par conséquent, cette rétention provoque un colmatage rapide des filtres à sable, d'où l'augmentation de la fréquence du nettoyage.

**pH :** Le pH de l'eau brute reste pratiquement constant en passant par le décanteur, puis il diminue pour atteindre la valeur de 6,81, cette diminution est justifiée par l'ajout de l'acide chlorhydrique en amont des filtres à sable, ensuite l'eau subit une légère acidification par l'ajout du bisulfite de sodium en aval des filtres à sable (pH = 6,21).

**Conductivité :** La conductivité de l'eau est pratiquement constante, à l'exception de quelques variations qui sont à l'origine des ajouts des produits chimiques, ce qui prouve que les sels sont retenus par les membranes d'osmose inverse et non pas durant le prétraitement.

### 5.2.3. Etude de l'évolution de quelques paramètres physico-chimiques en fonction du temps

Plusieurs paramètres d'évaluation et de caractérisation de la qualité de l'eau prétraitée (en amont des membranes) sont considérés dans notre étude à savoir : la turbidité, le potentiel redox, le pH et la température.

#### 5.2.3.a. Evolution de la turbidité

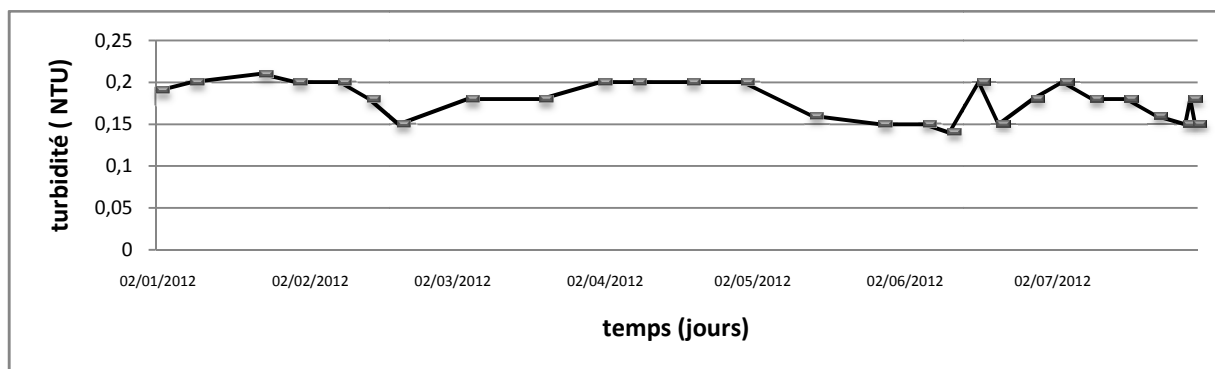


Figure V-2 Variation de la turbidité en fonction du temps

*Interprétation* : les valeurs de la turbidité fluctuent considérablement autour de deux valeurs extrêmes estimées à 0,14 et 0,21 NTU, à aucun moment un dépassement de la norme (qui est de 1NTU) n'a été signalé.

### 5.2.3.b. Evolution du potentiel redox

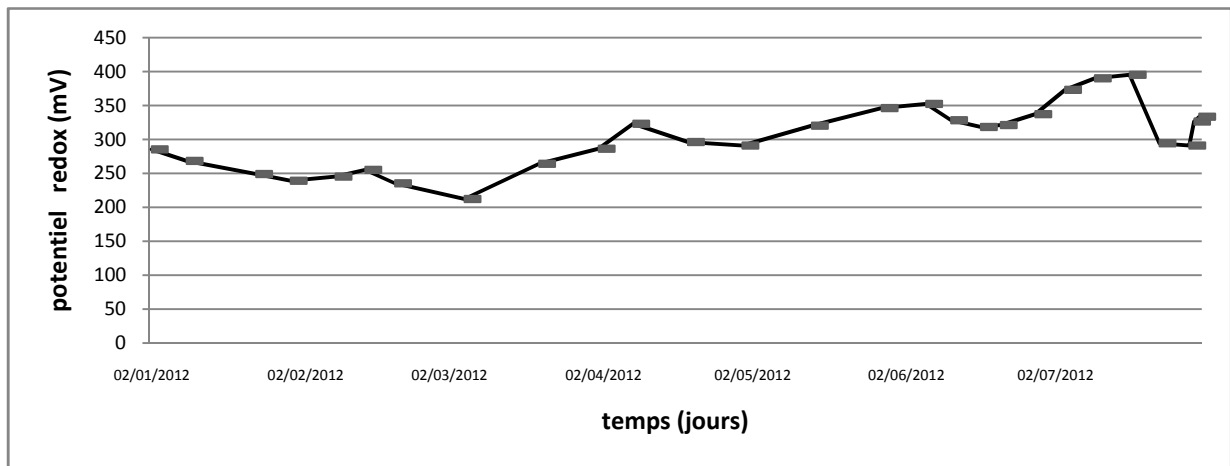


Figure V- 3 Variation du potentiel redox en fonction du temps

*Interprétation* : le potentiel redox varie entre 200 et 400 mV, il se trouve au dessous de la norme (500 mV) sur toute la durée d'étude. Cette variation dépend de la qualité de l'eau en termes de présence d'oxydants et du débit d'injection du réducteur (bisulfite de sodium).

### 5.2.3.c. Evolution de la température

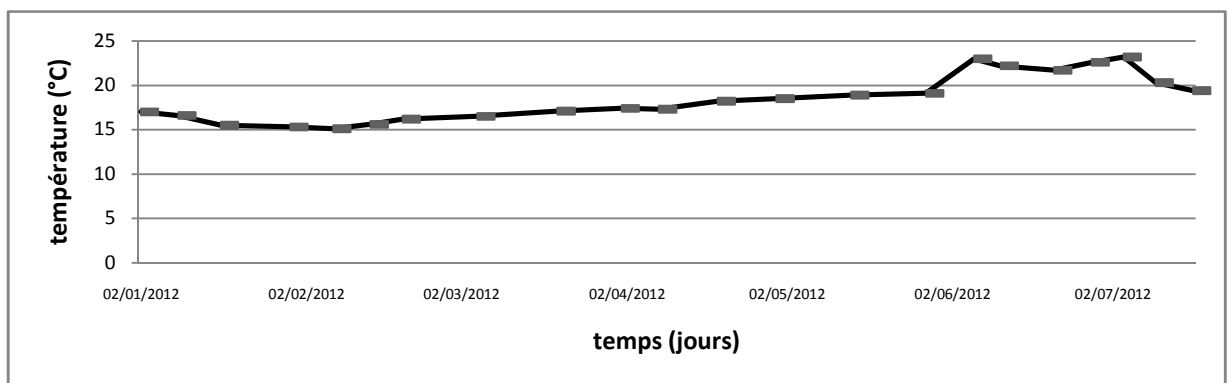


Figure V- 4 Evolution de la température en fonction du temps

*Interprétation*: la température augmente en fonction du temps sans dépasser la température nominale qui est de 25°C.

### 5.2.3.d. Evolution du pH

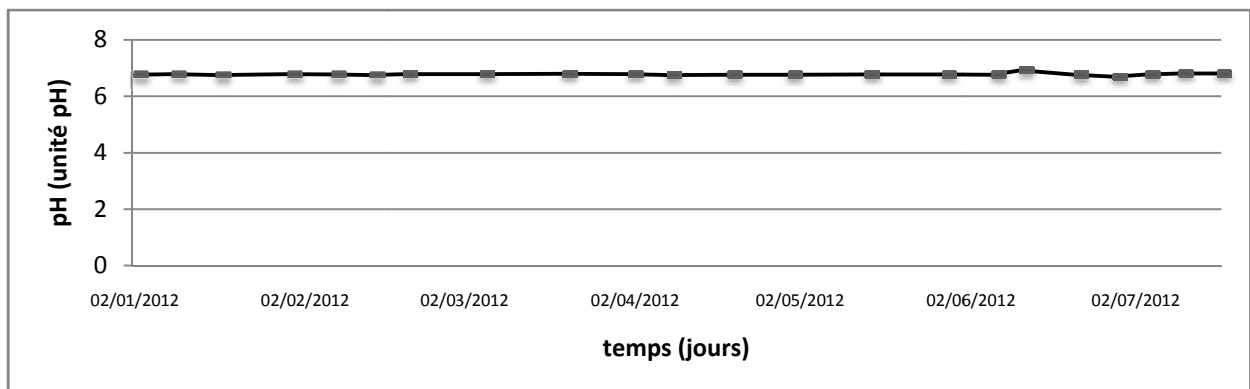


Figure V-5 Evolution du pH en fonction du temps

*Interprétation :* le pH de l'eau est maintenu par l'injection de l'acide chlorhydrique à une valeur de 6,78.

*Conclusion :* les résultats obtenus pour l'ensemble des paramètres étudiés se situent au dessous des valeurs tolérées par les membranes.

### 5.2.4. Etude de pertes de charges au niveau des médias de filtration

Les manomètres placés en amont et en aval des filtres pour mesurer les pertes de charges, nous permettent d'estimer leur degré d'encrassement.

#### 5.2.4.a. Pertes de charges au niveau du filtre à sable

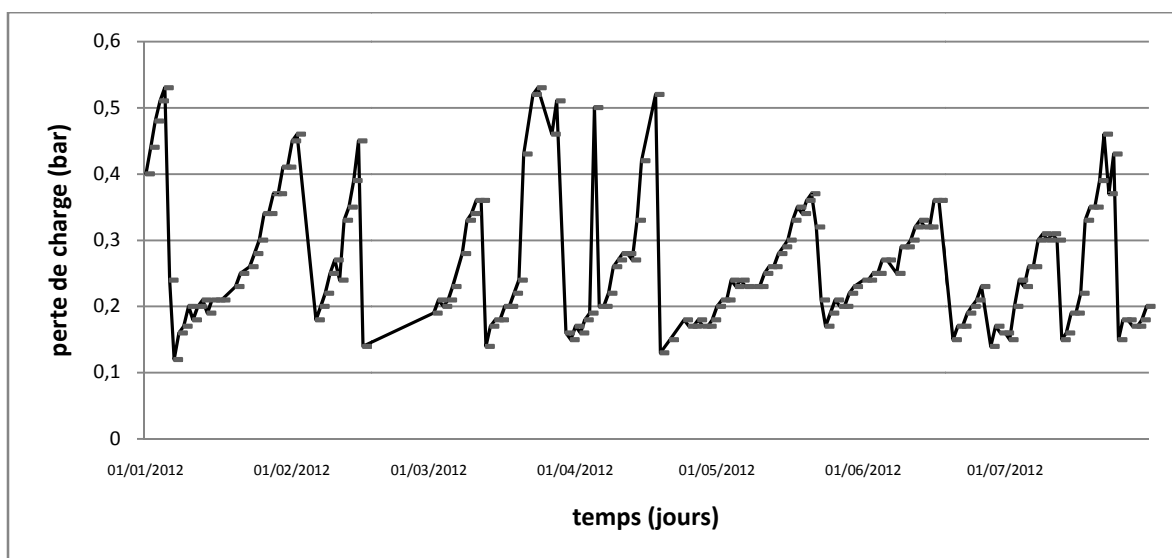


Figure V-6 Pertes de charges au niveau du filtre à sable

*Interprétation* : l'allure du graphe représente une croissance et une décroissance des pertes de charges en fonction du temps qui correspondent respectivement au colmatage et au lavage des filtres.

L'augmentation des pertes de charges à travers les médias confirme l'existence du phénomène de colmatage, lorsqu'elles atteignent des valeurs de 0,3 à 0,6 bar, des lavages sont déclenchés afin de restituer la perte de charge initiale estimée à 0,15 bar.

La fréquence de nettoyage pendant la période allant du 01/01/2012 au 24/04/2012 est presque deux fois plus importante que celle enregistrée du 25/07/2012 au 31/07/2012, (07 lavages contre 04) de plus on remarque que les valeurs maximales sont atteintes durant la première période, ce qui peut être expliqué par la présence des courants forts dans la zone entourant la crépine, causés par la mer agitée .

#### 5.2.4.b. Pertes de charges au niveau des filtres d'affinement et de sécurités

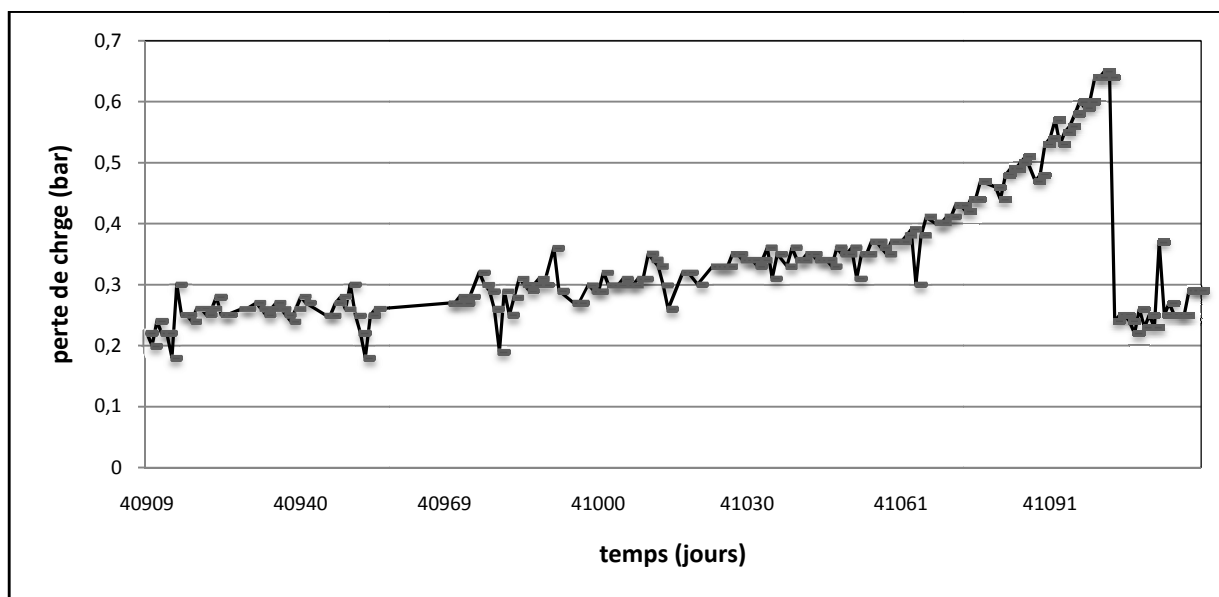


Figure V-7 Pertes de charges au niveau des filtres à cartouches

*Interprétation* : le graphe représente la variation des pertes de charges en fonction du temps, les cartouches récemment changées (le 24/12/2011) ont en temps initiale des pertes de charge de 0,2 bar, puis elles croient pour atteindre la valeur maximale de 0,65 bar, cette croissance est due au phénomène d'encrassement de ces cartouches.

*Conclusion* : Le personnel de la station effectue toutes les analyses et les relevés permettant de suivre l'exploitation et la maintenance de l'usine de dessalement, afin de s'assurer la pérennité de ses performances et de diagnostiquer très tôt les problèmes et d'apporter les mesures correctives nécessaires.

### **5.3. Evaluation des performances du traitement par osmose inverse**

#### **5.3.1. Analyse de l'eau en amont et en aval des membranes d'osmose inverse**

Afin d'évaluer les performances du traitement par osmose inverse, des analyses de la qualité de l'eau en amont et en aval des membranes ont été effectués.

##### **5.3.1.a. Echantillonnage**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques de l'eau. [42]

Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques sont recueillis dans des grands flacons en verre de 1000 mL chacun, désinfectés à l'aide de l'éthanol, rincés plusieurs fois avec de l'eau distillée et trois fois avec l'eau à analysée au moment du prélèvement, puis ils sont remplis jusqu'aux bords pour éviter toute pénétration de l'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.

Pour les analyses bactériologiques, les flacons en verre sont stérilisés par la chaleur, dans une cuve à 120°C pendant 1 heure.

Les échantillons sont transportés à la température de 4°C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante et cela pendant deux heures depuis la ville de Tizirt jusqu'au laboratoire de l'ADE de Tizi Ouzou, où les analyses sont effectuées.

---

[42] Jean RODIER et coll., 2005.

### 5.3.1.b. Mesures directes

- Mesure de la turbidité : elle permet la détection des matières non dissoutes présentes dans l'eau par transmission de rayons lumineux.
- Mesure de la conductivité et TDS : détermination des présents dans l'eau au passage d'un courant électrique .La mesure se fait avec un conductimètre.
- Mesure du pH : le pH-mètre mesure la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongées dans l'eau.
- Mesure de la salinité : à l'aide d'un Salinomètre.

### 5.3.1.c. Analyse bactériologique

à pour but de mettre en évidence la présence de bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée, elle consiste en la recherche et le dénombrement de la flore totale de l'eau. Cette dernière est l'origine fécale dont le dénombrement est par l'utilisation de germes indicateurs de pollution.

Pour l'étude de qualité d'une eau, il y a lieu de choisir le type d'analyse adéquat, dans notre cas nous avons effectué une analyse complète, comportant les phases suivantes :

- Recherche et dénombrement des germes totaux à 37°C et 22°C (ISO 1988).
- Recherche et dénombrement des coliformes totaux avec identification de E. Coli (Rodier 1984).
- Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (Rodier 1984).

Les résultats sont dans le tableau suivant :

**Tableau V-3 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau prétraitée et de l'eau osmosée.**

Paramètres	Paramètres physico-chimiques					Paramètres biologiques (nombre /100 ml)			
	Température (°C)	Turbidité (NTU)	pH	Conductivité ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	TDS (mg/L)	Germes totaux 37°C	Coliforme totaux 37°C	Coliforme fécaux 44°C	Streptocoques 37°C
Eau prétraitée	21,7	0,20	6,91	51 600	43 860	0	1	1	0
Eau osmosée	21,7	0,14	5,03	1 106	839,45	0	0	0	0

*Interprétation :*

- Sels totaux dissous : les résultats des analyses de l'eau prétraitée et de l'eau osmosée montrent que les membranes d'osmose inverse de la station de Tigzirt ne retiennent pas la totalité des éléments minéraux. En effet, le pourcentage des sels totaux dissous (TDS) estimé à 98,08%. On remarque que la rétention de la membrane a diminué par rapport au pourcentage prévu initialement par le fournisseur, qui estime la rétention des membranes utilisées à 99,6%.
- Analyse bactériologique : l'analyse bactériologique permet d'évaluer la pollution fécale de l'eau et de prévoir le colmatage de type biofouling qui peut entraîner un colmatage irréversible des membranes. Les résultats montrent que la membrane retient une proportion des micro-organismes ce qui peut entraîner un colmatage de type biofouling des membranes.
- La diminution du pH est due à la rétention des ions bicarbonates qui donnent le caractère basique à l'eau de mer, le taux de rétention de ces ions est de 77,2%.
- L'abattement de la turbidité est de 30% ; La membrane retient une fraction de la matière colloïdale qui se trouve dans l'eau.

### **5.3.2. Evaluation de l'état des membranes**

#### **5.3.2.a. Evolution de la conductivité de l'eau osmosée (perméat)**

La conductivité exprime la minéralisation globale d'une eau en mesurant l'aptitude d'un conducteur (l'eau) au passage d'un courant électrique .Elle dépend de la température du liquide.

Pour ramener la valeur mesurée à 20°C, il faut effectuer la correction suivante :

$$C_{20^{\circ}\text{C}} = C_T * f$$

$C_T$  : la conductivité à la température (T)

f : facteur de correction, les valeurs de f sont données dans le tableau de l'ANNEXE IV.

Le suivi de l'évolution de la conductivité du perméat peut nous informer d'une manière générale sur sa qualité et l'état des membranes d'osmose inverse.

La mesure de la conductivité est effectuée à la sortie du système d'osmose inverse sur une période de sept mois.

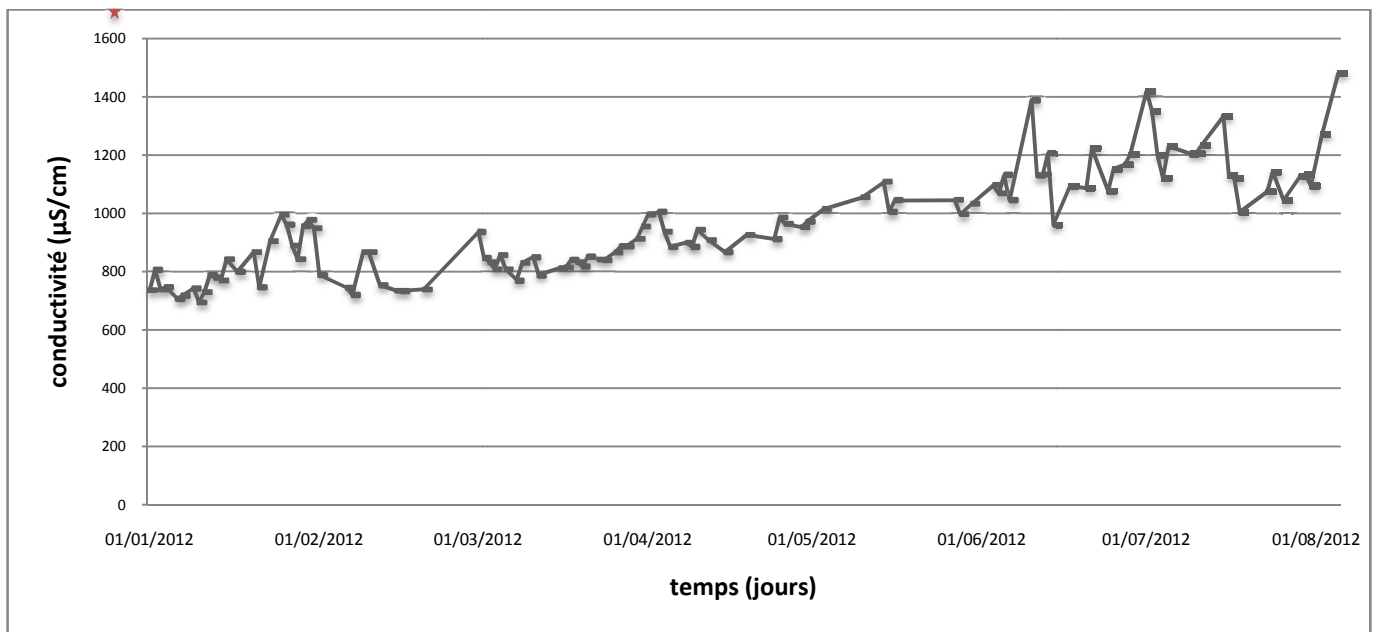


Figure V-8 Evolution de la conductivité du perméat

*Interprétation* : l'augmentation de la conductivité du perméat démontre la diminution du taux de rétention de ces membranes. Cette augmentation peut résulter du vieillissement des membranes (altération des surfaces membranaires) ou bien suite à la formation d'un dépôt sur la surface membranaire, qui fait apparaître un gradient de concentration de part et d'autre de la membrane, générant un flux diffusif, facilitant le passage des sels dans le perméat. Suite à cette augmentation, un changement des membranes colmatées sélectionnées par la mesure de la conductivité du perméat dans chaque tube de pression a été effectué.

### 5.3.2.b. Analyse du dépôt colmatant par la spectrométrie de fluorescence X

*Définition* : la spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire qui permet d'identifier qualitativement et quantitativement les éléments déposés sur la surface membranaire.

*Mode opératoire* : la membrane choisie pour l'analyse, se trouve dans la deuxième position au niveau du tube N°20, cette dernière a une durée de vie de 5ans (allant du 09/06/2007 au 05/08/2012).

Une première analyse visuelle de la membrane montre l'existence d'un dépôt de couleur rouge sur la totalité de la surface membranaire.

Un curetage de la surface membranaire a été effectué et le dépôt recueilli est calciné dans un four porté à une température de 1050C° pendant 02 heures, cette procédure permet d'estimer la perte au feu (PAF) qui est de 46,73 %.

Le résidu obtenu est analysé par la fluorescence X et les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau V- 4 Analyse du dépôt colmatant par la fluorescence X**

<b>Eléments</b>	<b>% massique</b>	<b>Eléments</b>	<b>% massique</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	24,27	<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,446
<b>Al<sub>2</sub>O</b>	8,35	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,291
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	8,82	<b>SO<sub>3</sub></b>	0,27
<b>CaO</b>	0,85	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0,0186
<b>MgO</b>	1,68	<b>SrO</b>	0,0164
<b>MnO</b>	0,057	<b>Rb<sub>2</sub>O</b>	0,0096
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	5,15	<b>PbO</b>	0,0044
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,31	<b>ZnO</b>	0,0104
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,790	<b>CuO</b>	0,0058
<b>BaO</b>	0,0202	<b>NiO</b>	0,1012
<b>Total : 52,47 %</b>			

NB : cet échantillon contient une concentration importante du chlore (Cl<sub>2</sub>), cette concentration est incluse dans la (PAF) qui représente en pourcentage massique la partie organique, la partie volatile et l'humidité de l'échantillon.

*Interprétation :*

Les résultats portés sur le tableau V-4 montrent la présence avec des quantités considérables de la silice (24,27%), l'oxyde d'aluminium (8,35%) et de fer (8,82%) qui rentrent dans la composition de sable, ces fortes teneurs sont dues probablement à la présence du sable très fin échappé des différentes étapes de prétraitement, ainsi que l'altération des matériaux des pompes, causée par le caractère agressif et corrosif de l'eau de mer, peuvent être une sources importante de fer et de l'aluminium.

Les pourcentages massiques des éléments minéraux sont en fonction de leur concentration dans l'eau de mer. Le tableau I-1 qui indique la composition chimique de l'eau de mer, explique la forte teneur en ions sulfate, sodium, chlore, magnésium, potassium et calcium.

Le reste des éléments sont à l'état de traces (Cu, Zn, Pb,...).

Ces membranes retiennent la matière organique, essentiellement, les microorganismes ce qui justifie les résultats obtenus dans le tableau V-3 (paramètres biologiques).

#### 5.4. Méthode suivie en cas d'une élévation brusque de la conductivité du perméat

La technique industrielle utilisée au niveau de la station permet de mesurer la conductivité à l'intérieur d'un tube de pression pour identifier la membrane défectueuse.

Le 26/06/2012, on a enregistré une augmentation brusque de la conductivité du perméat jusqu'à  $4288,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

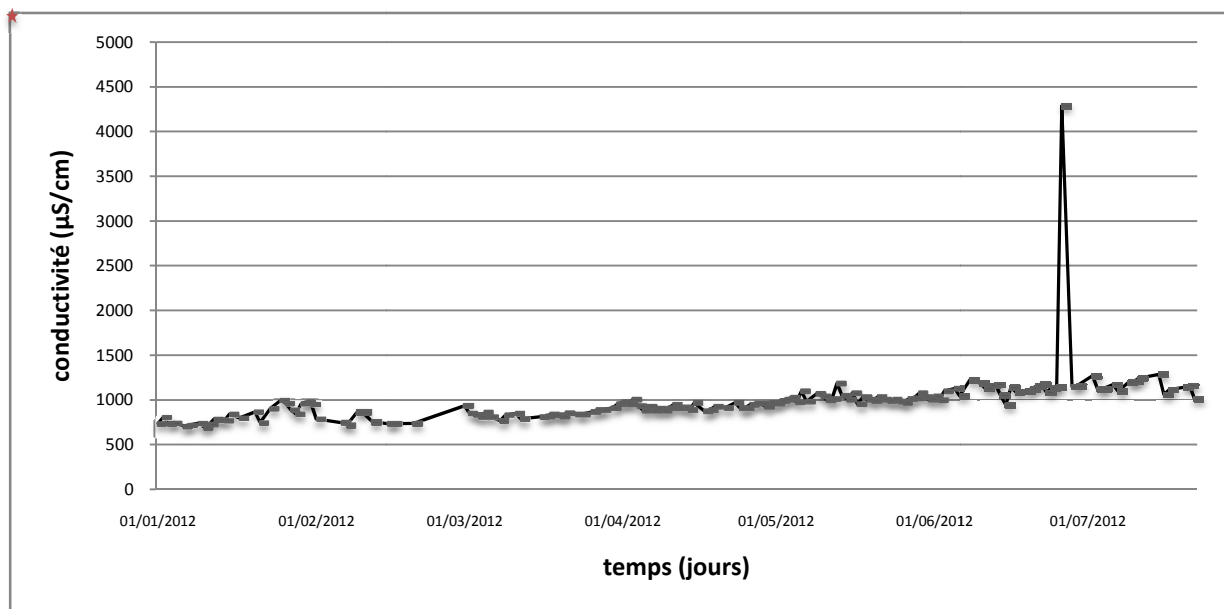


Figure V-9 Variation de la conductivité en fonction de temps

##### 5.4.1. Mesure de la conductivité du perméat dans tous les tubes de pression

L'écran de contrôle de la conductivité du perméat est équipé de 33 vannes, chaque vanne est reliée à un tube de pression.

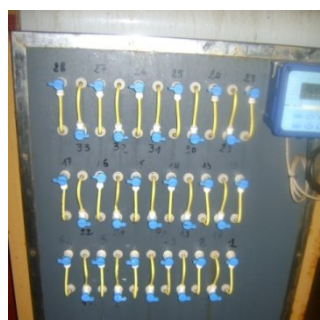


Photo 9 Ecran de contrôle de la conductivité

La mesure de la conductivité du perméat issu de chaque tube de pression a donné les résultats suivants :

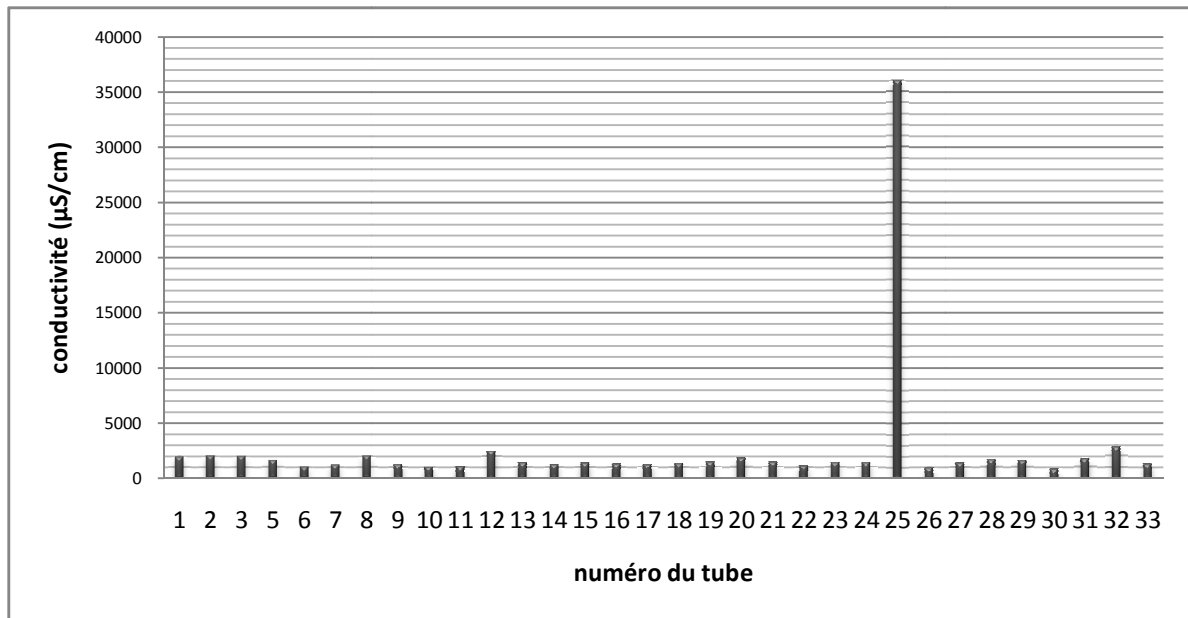


Figure V-10 La conductivité de chaque tube de pression

*Interprétation* : le graphe montre que la conductivité maximale qui dépasse la norme est au niveau de tube N°25.

### 5.4.2. Test à l'intérieur du tube de pression N°25

Cette méthode consiste en l'introduction dans le tube de pression, d'un tuyau flexible gradué, d'un diamètre de 4 mm. Les graduations sont disposées à partir de chaque distance équivalente à la moitié de la longueur de la membrane y compris le connecteur.

Avant de mesurer la conductivité pour chaque distance, il faut laisser un temps suffisant pour que l'eau s'écoule du tuyau.

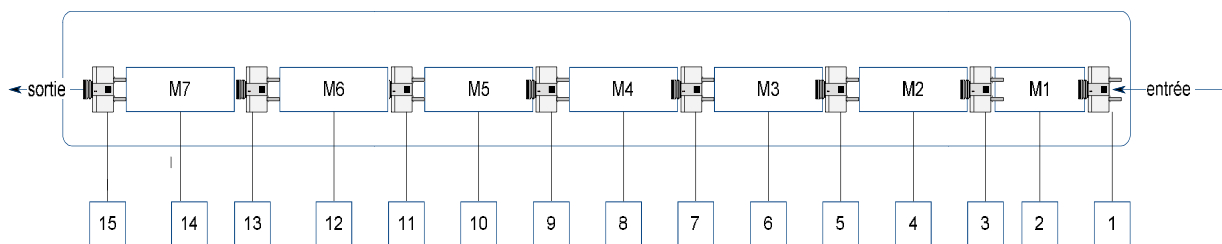


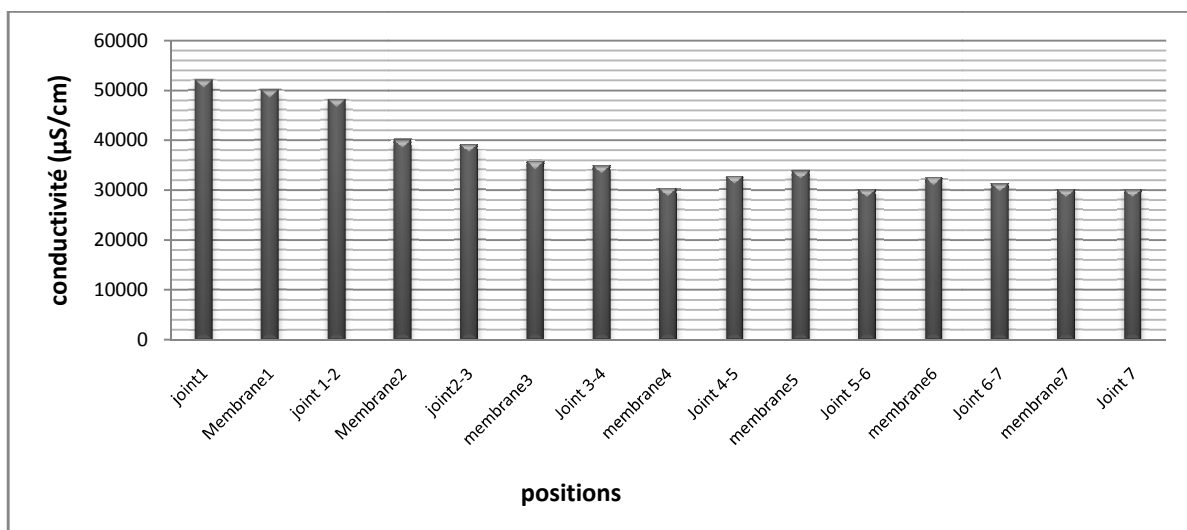
Figure V-11 Schéma descriptif du test à l'intérieur d'un tube de pression.

Le tableau V-4 représente les résultats de mesure de la conductivité du perméat pour les différentes positions du tuyau tout le long du tube de pression.

**Tableau V-5 Résultats de mesure de la conductivité du perméat**

<b>Points</b>	<b>Significations</b>	<b>Conductivité (<math>\mu\text{S.cm}^{-1}</math>)</b>
<b>1</b>	<b>Joint 1</b>	52000
<b>2</b>	<b>Membrane 1</b>	50000
<b>3</b>	<b>joint 1-2</b>	48100
<b>4</b>	<b>Membrane 2</b>	40000
<b>5</b>	<b>Joint 2-3</b>	39100
<b>6</b>	<b>Membrane 3</b>	35700
<b>7</b>	<b>Joint 3-4</b>	34900
<b>8</b>	<b>Membrane 4</b>	30300
<b>9</b>	<b>Joint 4-5</b>	32700
<b>10</b>	<b>Membrane 5</b>	33800
<b>11</b>	<b>Joint 5-6</b>	30100
<b>12</b>	<b>Membrane 6</b>	32500
<b>13</b>	<b>Joint 6-7</b>	31300
<b>14</b>	<b>Membrane 7</b>	30100
<b>15</b>	<b>Joint 7</b>	30100

*Représentation graphique :*



**Figure V-12 Evolution de la conductivité en fonction de la position du tuyau à l'intérieur du tube de pression**

*Interprétation* : nous remarquons que la conductivité du perméat au niveau du joint 1 est importante, puis elle devient faible à partir de la première membrane.

En effet ces résultats nous permettent de localiser le point de la fuite, il s'agit d'une cassure au niveau du joint 1.

*Intervention* : le personnel de la station a remplacé le joint cassé par un joint neuf, ce qui a permis de restaurer la conductivité initiale (de  $4288,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  à  $1133,905 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

## 5.5. Qualité de l'eau refoulée par la station

Une analyse de la qualité de l'eau traitée en termes de présence quantitative et qualitative des espèces ioniques a été effectuée au niveau du laboratoire de l'ADE de Tizi Ouzou.

### Présentation du laboratoire de l'ADE

Le laboratoire central de l'ADE, est localisé au niveau de l'unité de Tizi –Ouzou, sa mission est l'autocontrôle, c'est-à-dire contrôler les eaux distribuées, sur le plan physico-chimique et bactériologique.

#### 5.5.1. Méthodes d'analyses volumétriques

- **Dosage de bicarbonates [RODIER 2009]**

Pour une eau dont le pH est inférieur à 8,5 (c'est le cas de nos échantillons), la teneur en bicarbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et ions hydroxydes est négligeable. Donc  $\text{TA}=0$  et  $\text{TAC}=\text{HCO}_3^-$ .

Donc le dosage des bicarbonates passe par la détermination du titre alcalimétrique complet.

- **Détermination du titre alcalimétrique complet [RODIER 2009]**

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

- **Dosage de calcium  $\text{Ca}^{+2}$  (ISO 1984)**

Titration des ions calcium avec une solution d'EDTA à pH de 12 à 13. L'ACC qui forme un complexe rouge avec le  $\text{Ca}^{+2}$  est utilisé comme indicateur. Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions  $\text{Ca}^{+2}$  libre, puis avec les ions combinés avec l'indicateur qui vire alors du rouge à la couleur bleus claire.

▪ **Dosage de la dureté totale (TH) (ISO 1984)**

Titration par complexométrie du  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  avec une solution d'EDTA à pH 10. Le mordant noir 11, qui donne une couleur violette en présence des ions  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  est utilisé comme indicateur.

▪ **Dosage des chlorures (ISO 1984)**

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour donner du chlorure d'argent insoluble qu'est précipité quantitativement à la présence des ions chromate comme un indicateur coloré.

**5.5.2. Méthodes d'analyses spectrophotométriques :**

L'appareil utilisé : Spectrophotometer UV Visible (HACH DR : 400V)

▪ **Dosage de l'ammonium  $\text{NH}_4^+$  (ISO 1984)**

Mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylates et hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate (III) de sodium.

▪ **Dosage des ions nitrates  $\text{NO}_3^-$  (ISO 1986)**

Réaction des nitrates avec le diméthyle-2,6-phénol en présence des acides sulfurique et phosphorique, avec production du nitro-4diméthyl-2,6-phénol.

▪ **Dosage des ions nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) (ISO 1986)**

Les ions nitrites réagissent en milieu acide avec la sulfamide en formant sel de diozotation qui forme avec le N-(1-naphtyle)-éthylène diamine-dichlorohydrate un colorant azoïque rouge.

▪ **Dosage des phosphates  $\text{PO}_4^{3-}$  (ISO 1988)**

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu.

▪ **Dosage de fer total (ISO 1988)**

Les ions de fer (III) sont réduits en fer (II) par le chlorhydrate d'hydroxylamine et forment un complexe rouge en présence de phénanthroline-1,10 qui est stable à un intervalle de pH de 2,5 à 9 par addition de tampon.

- **Dosage des sulfates**

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfates de baryum.

### 5.5.3. Méthodes d'analyses photométriques

*L'appareil utilisé* : Flam photometer (SHERWOOD) – 410 – Butane + Air

- **Dosage du potassium et de sodium**

Lorsque les atomes sont excités par une flamme, ils émettent initial de longueur d'onde déterminée mesurée par spectrophotomètre. La concentration initiale du cation à doser est déduite de la valeur absolue de l'intensité de l'émission spectrale mesurée.

- **Dosage du chlore résiduel libre**

Le DPD (diéthyl-N, N paraphénylène –diamine) donne en présence de chlore un complexe de coloration rose d'intensité croissante.

Pour le mode opératoire voir ANNEXE I.

Les résultats des analyses sont représentés dans le tableau ci-après :

**CHAPITRE 5 EVALUATION DES PERFORMANCES DU PROCEDE DE SEPARATION  
MEMBRANAIRE PAR OSMOSE INVERSE**

Echantillon : eau traitée

Date et heure de prélèvement : 11/06/2012 à 08h30

Lieu de prélèvement : station dessalement Tizgirt

Date et heure d'analyse : 11/06/2012 à 13h30min

		Résultat	Unité	Norme NA	
<b>Paramètres physicochimiques</b>	<b>pH</b>	6,7	Unité pH	6,5 à 8,5	
	<b>Conductivité à 20°C</b>	1381	µS/cm	2800	
	<b>Turbidité</b>	0,42	NTU	5	
	<b>Température</b>	22	°C	30	
	<b>Salinité</b>	0,7	‰	/	
	<b>TDS</b>	1048	mg/L	/	
<b>Minéralisation globale</b>	<b>Calcium</b>	04	mg/L	200	
	<b>Magnésium</b>	5,34	mg/L	150	
	<b>Sodium</b>	240	mg/L	200	
	<b>Potassium</b>	10	mg/L	20	
	<b>Chlorures</b>	322,7	mg/L	500	
	<b>Sulfates</b>	16,2	mg/L	400	
	<b>Bicarbonates</b>	34,89	mg/L	/	
	<b>Dureté totale</b>	32	mg/L CaCO <sub>3</sub>	500	
	<b>Dureté permanente</b>	3,4	mg/L CaCO <sub>3</sub>	/	
	<b>Titre alcalin complet</b>	28,6	mg/L CaCO <sub>3</sub>	/	
	<b>Titre alcalin</b>	00	mg/L CaCO <sub>3</sub>	/	
<b>Paramètres de pollution</b>	<b>Ammonium</b>	00	mg/L	0,5	
	<b>Nitrate</b>	<0,5	mg/L	50	
	<b>Nitrite</b>	00	mg/L	0,1	
<b>Paramètres biologiques</b>	<b>Germes totaux</b>	<b>37°C</b>	00	/100 ml	00
		<b>22°C</b>	00	/100 ml	00
	<b>Coliformes</b>	<b>37°C</b>	00	/100 ml	00
		<b>44°C</b>	00	/100 ml	00
	<b>Streptocoques fécaux</b>	<b>37°C</b>	00	/100 ml	00

*Constats* : il a été constaté que :

- La minéralisation totale est constituée de 58,2% de sodium et de chlorures ce qui confère à l'eau un goût fade, car la forte teneur en  $\text{Cl}^-$  accompagnée d'ion  $\text{Na}^+$  affecte le goût de l'eau [43].  
Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 mg/L, surtout lorsque il s'agit des chlorures de sodium [42].
- La teneur élevée en  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  dans le perméat, serait due essentiellement à leur présence avec des quantités excessive dans l'eau de mer puis, au passage considérable de ces ions à travers la membrane d'osmose inverse.
- La teneur élevée en chlorures et en sodium enregistrées pourrait s'expliquer par l'adjonction de l'hypochlorite de sodium pour la désinfection de l'eau et l'ajout de soude pour la correction du pH.
- Un TH total de 3,2 °f : l'eau traitée présente des teneurs très faibles en calcium et en magnésium, ceci s'explique par l'importance de la rétention de ces ions par la membrane d'osmose inverse, donc les eaux produites sont très douces d'où la nécessité de la reminéralisation (voir ANNEXE III).
- Un pH presque neutre
- Qualité bactériologique excellente.

*Corrections à effectuer* : de ce qui précède, on déduit que la minéralisation doit être corrigée pour obtenir une eau apte à la distribution, c'est à dire agréable à boire, non agressive et non corrosive.

---

[43] Jean RODIER, 2009.

## 5.6. Problèmes et anomalies au niveau de la station

### 5.6.1. Dépôts de sable

L'installation souffre d'un apport sableux vers le décanteur.

Analyse de la situation :

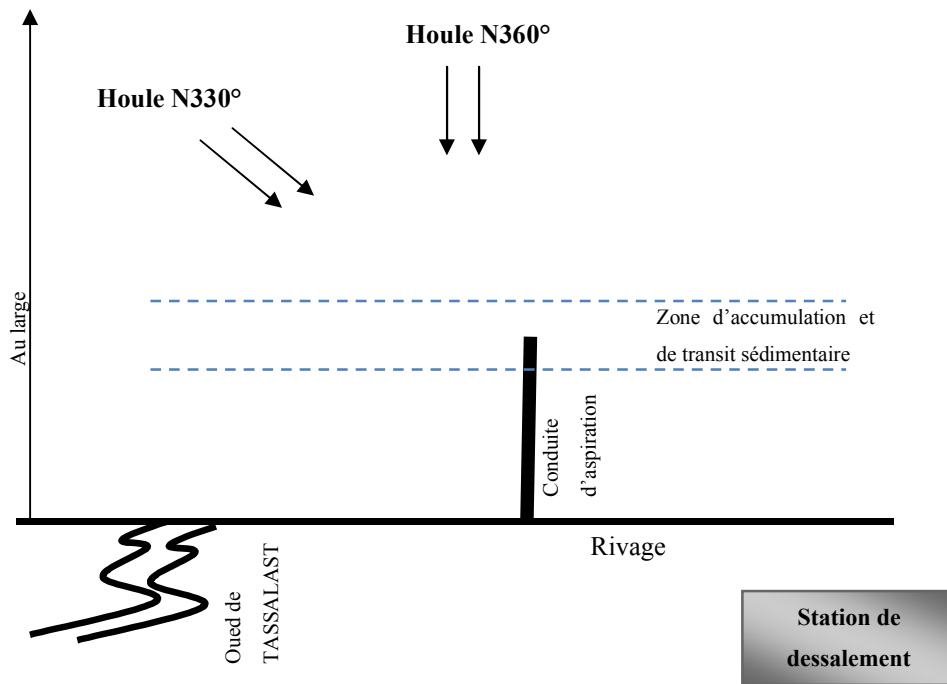


Figure V-13 Facteurs influençant sur la conduite d'aspiration de l'eau de mer (vue de dessus)

D'après les cartes des courants marins (voir ANNEX V) qui ont été réalisées par le laboratoire d'études maritimes en 2009, on constate que la conduite est influencée par :

- Champs des courants de la houle N330° [44];
- Champs des courants de la houle N360° [44];

Ces deux courants se rencontrent dans la zone d'accumulation et de mouvement du transit sédimentaire, créant une turbulence autour de la crépine.

[44] Direction des travaux publics de T.O / Laboratoire d'Etudes Maritimes (L.E.M.), Alger.

**Suggestions :**

- Prolonger la conduite de prise d'eau de mer pour la mettre en dehors de la zone de turbulence ;
- Réaliser un ou plusieurs forages côtiers si la nature du sol le permet : pour une alimentation par puits côtiers, aucune préfiltration mécanique n'est nécessaire, l'eau étant filtrée naturellement lors de son cheminement dans le sol.

**5.6.2. Croissance d'algues au niveau du décanteur**

Comme la prise d'eau est en pleine mer, le risque d'apport d'algues ne peut être négligé.

**Suggestions :**

- Injecter un désinfectant à l'entrée de la crépine afin d'inhiber la croissance des organismes marins végétaux et animaux ;
- Procéder à des nettoyages fréquents du décanteur.

**5.6.3. Arrêts fréquents de la pompe d'eau de mer**

L'eau de mer est aspirée par une pompe d'eaux douces de marque RITZ, cette pompe ne résiste pas au caractère agressif de l'eau.

En effet, le débit de refoulement vers le décanteur passe de 232 à 180 m<sup>3</sup>/h, par conséquent, le niveau bas de décanteur est fréquemment atteint, d'où une diminution du débit de production jusqu'à 1464 m<sup>3</sup>/j, au lieu de 2500 m<sup>3</sup>/j.

**Suggestion :**

Remplacement de cette pompe par une autre, plus résistante au caractère agressif et corrosif de l'eau de mer.

A l'issu de notre travail, nous pouvons conclure que le procédé de dessalement de l'eau de mer par la séparation membranaire utilisant des membranes d'osmose inverse permet de produire une eau de faible salinité, elle est d'une nature chlorobicarbonaté sodique très douce et de bonne qualité bactériologique. Avant d'être destinée à la potabilisation, elle doit subir une correction de sa minéralisation afin d'être conforme à la réglementation locale des eaux potables.

Le prétraitement appliqué au niveau de la station de Tigzirt permet d'obtenir une eau d'alimentation des membranes qui répond à la qualité de référence, conservant ainsi l'efficacité des membranes en augmentant leur duré de vie, mais il peut être amélioré en injectant un désinfectant afin de limiter le développement d'un colmatage de type biofouling.

La rétention des membranes d'osmose inverse dépend de leur sélectivité, en effet le taux de rétention calculé est inferieur de celui estimé par les fournisseurs des membranes.

La diminution de la rétention est due au vieillissement et colmatage des surfaces membranaires.

L'analyse du dépôt colmatant par la fluorescence X démontre le rôle de la membrane dans la rétention des différents éléments quelque soit leur nature. Ce dépôt est constitué d'un « gâteau » formé à partir de l'accumulation des matières en suspension (encrassement) et de sels insolubilisés suite à la concentration à la surface membranaire de tous les sels rejetés (entartrage).

La chute du débit de production de la station de Tigzirt est due essentiellement à l'altération de la pompe d'aspiration des eaux de mer, étant donné que la pompe utilisée est conçue pour le pompage des eaux douces, elle ne résiste pas au caractère agressif et corrosif des eaux pompées. On suggère de remplacer cette pompe par une autre qui résiste à l'agressivité de l'eau de mer.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Les cours dispensés à l'université** : chimie des eaux, mécanique des fluides, hydrogéologie, pollution de l'environnement, thermodynamique, chimie minérale, anglais scientifique...

[1] **Le magazine de la chronique scientifique N°4**, *Recherche et développement*, Juillet-Août 2005.

[2] **Bulletin international de l'eau et de l'environnement N°22**, Mars 1999, *conception d'une unité de dessalement de l'eau de mer*, ISSN 1111-4916.

[3] **PELLETIER Frédéric – CAUATZ Aurélien** IUT chimie 2005-2006.

[4] **Viviane RENAUDIN**, *Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres*, 18 Novembre 2003 P 04.

[5] *Les Notes du Plan Bleu* N° 16 - Juillet 2010, Dépôt légal et ISSN : 1954-9164.

[6] <http://communication@algerienne des eaux.com.dz>.

[7] **KERFOUF. A, ALAOUI. F/Z, DJOUDI. O/K, MEBARKI. Z & BENYAHIA. M**, *le dessalement de l'eau de mer dans la perspective d'une gestion intégrée et d'un développement durable*.

[8] **PCM N°1**; 9 Octobre 2009.

[9] **DMRE** : Direction de la Mobilisation des Ressources en Eau.

[10] *MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU*, Tome 1, Dépôt Légal 2005 N° 5554, ISBN 2-7430-0717-6.

[11] **Alain Maurel**, *dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre*, 2<sup>ème</sup> édition 2006. ISBN 10 : 2-7430-0890-3.

[12] **Jean-Marie ROVEL**, *Dessalement de l'eau de mer*, Juin 2003.

[13] **Chatkaew TANSAKUL**, *Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse*, Novembre 2009.

[14] **Jean Paul LERY**, *les stations de pompage*, Juin 1996, n°6474.

[15] **D. Abdessemed, S. Hamouni, G. Nezzal**, *State of the reverse osmosis membrane of sea water Corso plant desalination (Algiers)*, Physics procedia 2 (2009), 1469-1474.

[16] **Bulletin des énergies renouvelables**, N°18, 2010, EISSN/ISSN 1112-3850, Dépôt légal 2062-2002.

[17] **Jean - Charles CICLE**, *distillation Adsorption/ étude pratique*, 2001.

[18] **Raymond Desjardins**, *traitement des eaux*, 2<sup>ème</sup> édition, 2010, ISBN : 978-2-553-00643-2.

[19] **Hélène ROUX – de BALMANN et Ernest CASADE MONT**, *Electrodialyse*, 2006.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [20] **François de DAREL**, *Echange d'ions/ principes de base*, 1998.
- [21] **Alain Maurel**, *technique séparatives à membranes (OI, NF, UF, MF tangentielle) - considération théoriques*, juin 1993, Doc j 2790.
- [22] Thèse ; **NECHAD Amel**, *élaboration d'une membrane de filtration d'eau à base de polyéthylène basse densité*, 2009.
- [23] **Pierre AIMAR, Patrice BACCHINN, Alain Maurel**, *Filtration membranaire / Aspects théoriques : perméabilité et sélectivité*, Doc j 2790 v2.
- [24] **Jean-Christophe REMIGY et Sandrine DESCLAUX**, *Filtration membranaire (OI, NF, UF) -présentation des membranes et modules*, Mars 2007, Doc J 2791.
- [25] **J. P. Brun**, *procédés de séparation par membranes*, dépôt légal Décembre 1988, ISBN : 2-225-81573-9.
- [26] **P. Aimar et P. Aptel**, *Membrane preparation/Fouling-Emerging process*, 1992, Vol. 6 N°22, ISBN 2-85206-860-5.
- [27] **Pierre AIMAR**, *Filtration membranaire : mise en œuvre et performances*.
- [28] **Jean-Claude BOEGLIN**, *traitement physico-chimiques de la pollution insoluble*, 2002.
- [29] **Pierre MOUCHET**, *traitement des eaux avant utilisation/ substances dissoutes*, Janvier 2000.
- [30] **Enrico Riboni, Chézard-Saint-Martin**, *Pratiques et économie de la purification de l'eau dans l'industrie*, Suisse, 1997-2008. Téléchargé depuis [http : //www.ozone.ch](http://www.ozone.ch).
- [31] **Pierre GILLES**, *lutte contre la pollution des eaux / filtration à haute performance*, 1999 DOC G 1330.
- [32] *programme bilatéral de coopération Algéro-Française diagnostique et formation dans le cadre des unités de dessalement d'eau de mer de l'Algérienne des eaux*, 2005.
- [33] Dossier thématique- *La Cité de la mer*, Mars 2005.
- [34] **Julie MENDRET**, *Mise au point des méthodes de caractérisation du colmatage de membrane*, Novembre 2007.
- [35] **Nathalie LEBLEU**, *Désinfection des eaux par procédés membranaires : Etude des mécanismes de transfert des bactéries*, Novembre 2007.
- [36] **Pierre AIMAR ; Patrice BACCHIN ; Alain MAUREL**, *Filtration membranaire : Aspects théoriques : mécanismes de transfert*, 2-2010, DOC J2789.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

[37] **Pierre-Jean REMIZE**, *Etude des rétrolavages assistés par l'air et contrôle du colmatage résiduel. Application à la production d'eau potable en filtration frontale*, Janvier 2006.

[38] Revue ACER, **Alfa ARZATE**, *La séparation membranaire : comment maintenir la performance des membranes*, 2010.

[39] **Axel ETTORI**, *Vieillessement chimique de membranes d'osmose inverse*, Juillet 2011.

[40] Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH- 2009).

[41] **Pierre BLAZY**, **EL-Aid JDID** et **Jean-Luc BERSILLON**, *Décantation/Equipement et procédés*, 1999.

[42] **Jean RODIER** et coll., *l'analyse de l'eau*, 8<sup>ème</sup> édition, 2005, ISBN : 2 10 049636 0.

[43] **Jean RODIER**, *l'analyse de l'eau*, 9<sup>ème</sup> édition, 2009, ISBN : 978-2-10-054179-9.

[44] Direction des travaux publics de T.O / Laboratoire d'Etudes Maritimes (L.E.M.) Alger.

### Sites WEB :

- <http://www.sofrance.com/findex.html>
- <http://www.filmtec.com>
- <http://www.hydranautic.com>
- <http://www.membranes.com>
- <http://www.sulzerpumps.com>
- <http://water.pumps@sulzer.com>
- <http://www.lenntech.fr>

## ANNEXE I

## Mode opératoire des paramètres physico-chimiques

1. DETERMINATION DE L'ACIDITE

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acides minéraux et des sels d'acides forts et de bases faibles

Principe

L'acidité totale et l'acidité minéraux ou TAF (Titre en Acide Fort) se mesurent par titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence d'indicateurs colorés, phénophtaléine pour la première, méthyle –orange pour la seconde.

Réactifs

- Solution saturée d'hydroxyde de sodium exempte de carbonate :
  - Hydroxyde de sodium .....550 g
  - Eau distillée .....500 ml

Laisser au repos dans un flacon hermétiquement clos afin que le carbonate se décante complètement. Siphonner la partie surnageante et titrer avec un acide minéral de normalité connue.

- Solution d'hydroxyde de sodium N/50.

Un volume calculé de la solution précédente est amené à 1 litre à l'aide d'eau distillée fraîchement bouillie et exempte d'anhydride carbonique.

Cette solution se conserve en flacon de polyéthylène à l'abri de l'anhydride carbonique de l'air et doit être renouvelée chaque semaine.

- Solution alcoolique de phénolphtaléine à 0,5 % :
  - Phénolphtaléine .....5 g
  - Alcool éthylique .....500 ml
  - Eau distillée .....500 ml
  - Solution d'hydroxyde de sodium N/50 .....Q.S.P
- Solution de méthylorange à 0,50 % :
  - Méthylorange .....0,5 g
  - Eau distillée ..... Q.S.P 100 ml.

Mode opératoire

- a) Acide totale : prélever dans un erlenmeyer, 100 ml d'eau à analyser. Ajouter 3 gouttes de solution de phénophtaléine. Titrer sur fond blanc avec la solution étalon d'hydroxyde de sodium N/50 jusqu'à apparition d'une faible coloration rose caractéristique du virage pH 8,3.

Soit  $X_1$  le nombre de millilitres de solution d'hydroxyde de sodium versés.

- b) Acidité en acides minéraux (TAF) : prélever dans un erlenmeyer 100 ml d'eau à analyser et ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange. Titrer sur fond blanc avec la solution d'hydroxyde de sodium N/50 jusqu'à virage du jaune orangé (pH 4,6) .

Soit  $X_2$  le nombre de millilitres de solution d'hydroxyde de sodium versés.

Expression des résultats

- a. Acidité totale :

$X_1 / 5$  exprime l'acidité totale en milliéquivalents par litre.

- b. Acidité en acides minéraux (TAF) :

-  $X_2 / 5$  exprime l'acidité en acides minéraux en milliéquivalents par litre.

-  $X_2$  exprime l'acidité en acides minéraux en degrés français.

2. DETERMINATION DE L'ALCALINITE :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonate et hydroxydes.

- Le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et carbonates alcalins caustique.
- Le titre alcalimétrique complet ou TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates.

Principe :

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Réactifs :

- Solution alcoolique de phénophtaléine à 0,5 % :
  - Phénophtaléine .....5 g
  - Alcool éthylique .....500 ml
  - Eau distillée .....500 ml
- Solution de méthylorange à 0,50 % :
  - Méthylorange .....0,5 g
  - Eau distillée ..... Q.S.P 100 ml.

Mode opératoire :

## A. Détermination de TA :

Prélever dans un erlenmeyer, 100 ml d'eau à analyser. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution de phénophtaléine, une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le  $T_A$  est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3. Verser ensuite l'acide dans l'erlenmeyer à l'aide d'une burette en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH 8,3).

Soit V le nombre de millilitres d'acide utilisés pour obtenir le virage.

## B. Détermination (TAC) :

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH 4,3) s'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orangé (pH 4). Soit V' le nombre de millilitres d'acide (N/50) versés depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume 0,5 ml quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate

Expression des résultats :

TA :

-  $V / 5$  exprime le titre alcalimétrique en milliéquivalents par litre.

- V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (en effet, 1° F correspond à 10 mg de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ou 0,2 méq/L.

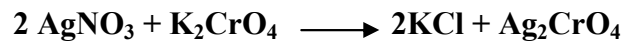
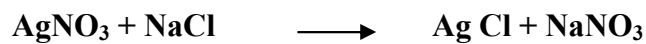
TAC :

- $V' - 0,5 / 5$  exprime le titre alcalimétrique complet en milliéquivalent
- $V' - 0,5$  exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

### 3. DETERMINATION DES CHLORURES :

#### Principe:

On fait agir en milieu neutre, pH= 6,7 ou 7, une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium. La réaction se fait en présence de chromate de potassium.



#### Réactifs:

- -Solution de nitrate d'argent à 0,01N ;

1,6987 d'AgNO<sub>3</sub> → Q.S.P 1000 ml

- Solution de chlorures à 71mg/l ;
- Indicateur coloré K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> à 10%. (10g de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> → Q.S.P 100ml).

#### Mode opératoire:

-Prendre 5ml d'eau à analyser, ajouter 2 gouttes de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (coloration jaunâtre) puis titrer avec AgNO<sub>3</sub> à 0,01N jusqu'à coloration brunâtre.

#### Expression des résultats :

$$F.G : (V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times M_{\text{Cl}^-}) / PE = (V_{\text{AgNO}_3} \times 0,01 \times 35,5 \times F \times 1000) / 5$$

$$F.S : \text{mg/l Cl}^- = V_{\text{AgNO}_3} \times 71 \times F$$

V<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> : Volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour le dosage de l'échantillon ;

N<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> : Normalité de AgNO<sub>3</sub> ; M<sub>Cl<sup>-</sup></sub> : Masse des chlorures ;

F : Facteur de correction du titre de AgNO<sub>3</sub> ; PE : Prise d'essai.

Pour le F : - Prendre 5ml de la solution mère à 71mg/L ; ajouter deux gouttes de l'indicateur coloré puis doser par  $\text{AgNO}_3$  à 0,01N jusqu'au virage (couleur brunâtre).

$$F = 1 / V_{\text{AgNO}_3}$$

#### 4. DOSAGE DU SODIUM ( $\text{Na}^+$ )

Par spectrophotométrie d'émission de flamme (ISO : 9964-3 : 1993)

##### Réactifs :

Peser 2.54 g de chlorure de sodium, ayant séché pendant une heure, dans une étuve à 105°C.

Dissoudre cette même quantité dans de l'eau distillée et compléter à 1L.

Cette solution a une concentration de 1 000 mg/L de sodium.

Conserver cette solution dans une bouteille en plastique.

Par dilution, préparer quotidiennement une solution de 10 mg/L en prélevant 1 ml de la solution Précédente dans 100 ml d'eau distillée

##### Mesure :

Faire passer au photomètre à flamme la solution d'étalonnage de 10 mg/L, trois fois. Faire passer les échantillons. Si la concentration en  $\text{Na}^+$  est supérieure à 10 mg/L ; procéder à La dilution de l'échantillon. Les concentrations correspondent aux extinctions x Facteur de dilution.

#### 5. DOSAGE DU POTASSIUM ( $\text{K}^+$ )

Par spectrophotométrie d'émission de flamme (Iso : 9964-3)

##### Réactifs :

Dissoudre 1.907 g de KCl (ayant été séché à 105°C pendant une heure de temps) dans un litre d'eau distillée. Cette solution a, ainsi, une concentration égale à 1000 mg/L de potassium.

Soit  $C_1 = 1000$  mg/L. La solution doit être stockée dans une bouteille en plastique. A partir de  $C_1$  préparer quotidiennement une solution de 10 mg/L, en prélevant 1 ml Q.S.P. 100ml

Mesure :

- Faire passer la solution de 10 mg/L trois fois, et ça doit afficher « 10 »
- Faire passer ensuite les échantillons. Si la concentration en potassium dépasse 10 mg/L, Procéder à la dilution de l'échantillon.

Les concentrations correspondent aux extinctions x Facteur de dilution

6. DETERMINATION DES SULFATES (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Principe :

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum.

Réactifs :

- Solution-mère de sulfates à 120 mg/L.
  - Acide chlorhydrique à 10%.
  - Chlorure de baryum stabilisé : 10 g de chlorure de baryum + 20 ml de Tween 20  
→ compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

Mode opératoire :

- Dans les fioles, introduire 39 ml de l'échantillon à analyser
- Ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique à 10%
- Ajouter 5 ml de la solution de chlorure de baryum stabilisé
- Agiter et laisser reposer pendant 15 mn
- Agiter à nouveau et passer au spectrophotomètre à la longueur d'onde :  $\lambda = 680 \text{ nm}$

7. DOSAGE DU CALCIUM METHODE TETRIMETRIQUE A L'E.D.T.A (ISO 6058 :1984)

Principe :

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à pH compris entre 12 et 13. Le HSN qui forme un complexe rouge avec le calcium est utilisé comme indicateur. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage. Lors du

titrage, l'E.D.T.A réagit tout d'abord avec les ions calcium libre, puis avec les ions combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair.

#### Réactifs :

- Hydroxyde de Sodium, solution de 2 mol/L ; dissoudre 8g de NaOH dans 100 ml d'eau fraîchement distillée.
- E .D.T.A, solution titrée,  $C(\text{Na}_2 \text{E.D.T.A}) = 10 \text{ m mol /L}$  ; sécher une portion d'E.D.T.A à 80°C pendant 2 h, dissoudre 3,725 g du sel sec dans de l'eau et diluer à 1000 ml dans une fiole jaugée.
- Indicateur HSN : Mélanger soigneusement 0,2 g d'acide calcione carboxylique (acide hydroxy-2-(hydroxy-2-sulfito-4-naphtylazo-1)-1-naphtalène carboxylique)  $\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_7\text{S}, 3\text{H}_2\text{O}$  et 100 g de chlorure de sodium (NaCl).

#### Mode opératoire :

A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml de l'échantillon préparé dans une fiole conique de 250 ml. Ajouter 2 ml de la solution de NaOH et environ 0,2 g de l'indicateur HSN.

Mélanger et doser immédiatement .Ajouter la solution d'E.D.T.A tout en continuant d'agiter. Verser lentement. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'E.D.T.A.

#### Expression des résultats :

La teneur en calcium, exprimée en milli mole par litre est donnée par l'équation :

$$C_{\text{ca}^{2+}} = C_1 * V_3 / V_0$$

$C_1$  est la concentration en EDTA exprimée en m mole/l

$V_0$  est le volume en ml de la prise d'essai

$V_3$  est le volume en ml de la solution de l'E.D.T.A utilisé pour le dosage.

Si l'on désire exprimer la teneur en calcium en mg/l, celle ci est donnée, par l'équation :

$$C_{\text{ca}^{2+}} = C_1 * V_3 * A / V_0$$

Où  $A$  est la masse atomique relative du calcium (40,08g /mol).

Si une dilution de l'échantillon a été utilisée, en tenir compte dans le calcul en utilisant le facteur de dilution  $F$ .

## ANNEXE II

**Relations empiriques pour déterminer la minéralisation d'une eau à partir de la mesure de sa conductivité**

<b>Conductivité (<math>\mu\text{S.cm}^{-1}</math>)</b>	<b>SDT (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>
cond <50	1,365 x cond. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) à 20 °C
50 < cond <166	0,948x cond. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) à 20 °C
166 < cond <333	0,770 x cond. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) à 20 °C
333 < cond <833	0,716 x cond. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) à 20 °C
833 < cond <10 000	0,759 x cond. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) à 20 °C
cond > 10 000	0,850 x cond. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) à 20 °C

## ANNEXE III

**Titre hydrotimétrique**

1°f = 4 mg/L Ca

1°f = 2,4 mg/L Mg

1°f = 10 mg/L CaCO<sub>3</sub>

<b>Valeur (°f)</b>	<b>Caractère</b>
De 0 à 5	Une eau est très douce
De 5 à 15	Une eau est douce
De 15 à 25	Une eau est moyennement dure
De 25 à 35	Une eau est dure
à plus de 35	Une eau est t très dure

## ANNEXE IV

Table de correction température - conductivité

Degrés (°C)	Dixième de degré									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	1,49	1,488	1,483	1,479	1,477	1,468	1,464	1,459	1,455	1,449
6	1,445	1,44	1,436	1,432	1,428	1,424	1,418	1,414	1,41	1,404
7	1,4	1,396	1,392	1,388	1,385	1,379	1,375	1,371	1,368	1,362
8	1,358	1,353	1,349	1,347	1,342	1,34	1,335	1,331	1,328	1,324
9	1,319	1,316	1,312	1,308	1,305	1,3	1,297	1,293	1,291	1,285
10	1,282	1,279	1,277	1,273	1,269	1,265	1,261	1,257	1,288	1,25
11	1,246	1,244	1,242	1,239	1,234	1,231	1,227	1,224	1,219	1,216
12	1,213	1,21	1,207	1,204	1,202	1,199	1,194	1,191	1,189	1,184
13	1,182	1,18	1,176	1,173	1,169	1,166	1,164	1,16	1,157	1,154
14	1,152	1,149	1,146	1,144	1,141	1,138	1,135	1,132	1,129	1,127
15	1,123	1,121	1,118	1,116	1,112	1,109	1,107	1,103	1,101	1,099
16	1,096	1,094	1,091	1,088	1,086	1,084	1,081	1,078	1,075	1,073
17	1,07	1,069	1,067	1,064	1,061	1,059	1,056	1,053	1,05	1,048
18	1,046	1,044	1,043	1,039	1,037	1,035	1,033	1,029	1,027	1,025
19	1,023	1,022	1,019	1,016	1,014	1,012	1,01	1,008	1,004	1,002
20	1	0,999	0,996	0,994	0,992	0,99	0,988	0,985	0,983	0,981
21	0,979	0,977	0,975	0,973	0,97	0,969	0,967	0,965	0,962	0,96
22	0,958	0,956	0,954	0,953	0,95	0,947	0,946	0,943	0,941	0,94
23	0,938	0,937	0,934	0,931	0,929	0,926	0,924	0,923	0,921	0,92
24	0,919	0,918	0,916	0,915	0,912	0,91	0,91	0,908	0,907	0,902
25	0,902	0,899	0,897	0,896	0,893	0,891	0,889	0,888	0,885	0,885

## ANNEXE V

## Cartes des courants marins

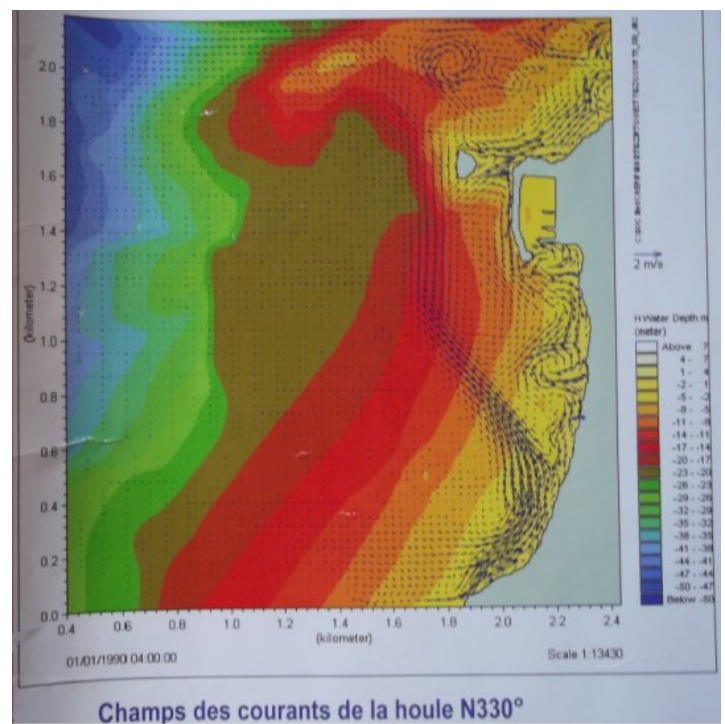
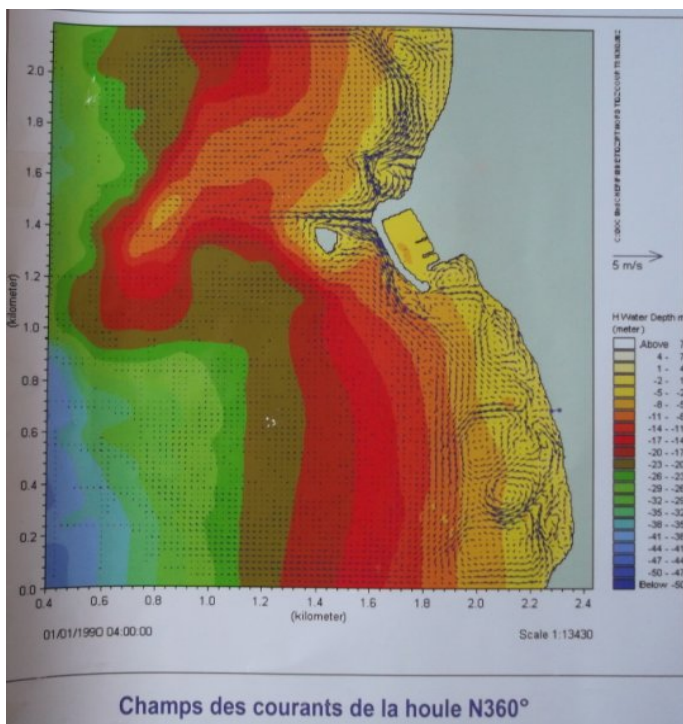


Figure I-1	Différents types de procédés de dessalement.....	5
Figure II-1	Schéma de principe du fonctionnement d'une membrane permselective.....	7
Figure II-2	Les procédés membranaires et les performances de séparation.....	7
Figure II-3	Différents types de membranes.....	9
Figure II-4	Description des différentes structures de membranes.....	10
Figure II-5	Structure d'une membrane composite.....	11
Figure III-1	Principe de l'osmose inverse.....	18
Figure III-2	Les étapes du procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse.....	20
Figure III-3	Prétraitement conventionnel typique.....	20
Figure III-4	Perte de charge par rapport à la durée de vie.....	23
Figure III-5	Comparaison entre la filtration frontale et la filtration tangentielle.....	24
Figure III-6	Choix du taux de conversion d'une unité de dessalement.....	25
Figure III-7	Structure interne d'une membrane spiralée.....	26
Figure III-8	Formation de la couche de polarisation de concentration.....	27
Figure VI-1	Montage du procédé continu à un seul étage.....	35
Figure VI-2	Schéma illustrant la prise d'eau de mer.....	36
Figure VI-3	Schéma du décanteur lamellaire.....	37
Figure VI-4	Filtre à sable.....	39
Figure VI-5	Schéma général de la station.....	45
Figure V-1	Schéma illustrant les étapes du prétraitement et les points de prélèvement.....	47
Figure V-2	Variation de la turbidité en fonction du temps.....	49
Figure V-3	Variation du potentiel redox en fonction du temps.....	50
Figure V-4	Evolution de la température en fonction du temps.....	50
Figure V-5	Evolution du pH en fonction du temps.....	51
Figure V-6	Pertes de charges au niveau du filtre à sable.....	51
Figure V-7	Pertes de charges au niveau des filtres à cartouches.....	52
Figure V-8	Evolution de la conductivité du perméat.....	56
Figure V-9	Variation de la conductivité en fonction de temps.....	58
Figure V-10	La conductivité de chaque tube de pression.....	59
Figure V-11	Schéma descriptif du test à l'intérieur d'un tube de pression.....	59
Figure V-12	Evolution de la conductivité en fonction de la position du tuyau à l'intérieur du tube de pression.....	60
Figure V-13	Facteurs influençant sur la conduite d'aspiration de l'eau de mer (vue de dessus).....	66

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau I-1	Composition chimique de l'eau de mer (Méditerranée).....	3
Tableau I-2	Caractéristiques des eaux de mer méditerranée.....	4
Tableau II-1	Principales caractéristiques des séparations concernées.....	9
Tableau II-2	Avantages et inconvénients des membranes organiques suivant leurs compositions.....	12
Tableau II-3	Avantages et inconvénients des grandes classes de matériaux.....	13
Tableau II-4	Energie d'hydratation de différents ions .....	15
Tableau VI-1	Paramètres de fonctionnement de l'installation.....	35
Tableau VI-2	Les charges de chaque filtre à sable.....	40
Tableau VI-3	Caractéristiques des cartouches de filtration.....	41
Tableau VI-4	Caractéristiques du filtre de sécurité et de lavage .....	43
Tableau V-1	Les différents analyseurs au niveau de la station.....	46
Tableau V-2	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau à différentes étapes du prétraitement.....	48
Tableau V-3	Caractéristiques physico-chimiques de l'eau prétraitée et de l'eau osmosée.....	54
Tableau V-4	Analyse du dépôt colmatant par la fluorescence X.....	57
Tableau V-5	Résultats de la mesure de la conductivité du perméat.....	60

## LISTE DES PHOTOS

---

Photo 01	Prise directe d'eau de mer.....	36
Photo 02	Point d'injection de l'acide chlorhydrique.....	39
Photo 03	Les trois filtres à sable.....	40
Photo 04	Point d'injection du bisulfite de sodium.....	40
Photo 05	Les trois filtres de sécurité.....	41
Photo 06	Membranes d'osmose inverse.....	42
Photo 07	Système d'équilibre osmotique.....	43
Photo 08	Réservoir tampon de stockage de l'eau traitée.....	44
Photo 09	Ecran de contrôle de la conductivité.....	58

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

**ADE** : Algérienne des Eaux.

**ACC** : Acide Calcane Carboxylique.

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

**Da** : Daltant (g/mol).

**DHWTO** : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Tizi Ouzou.

**DPD** : Diétyl-N, N Paraphénylène-Diamine.

**DTP** : Direction des Travaux Publiques.

**E.D.T.A** : Acide Ethylène Diamine Tetracétique.

**FC** : Facteur de Conversion.

**HMT** : Hauteur Manométrique Totale.

**ISO** : International Standards Organization.

**L.E.M.** : Laboratoire d'Etudes Maritimes.

**MF** : Microfiltration.

**N** : Normalité.

**NA** : Norme Algérienne.

**NB** : Noter Bien

**NF** : Nanofiltration.

**NTU** : Néphélométrie Turbidité Unité.

**OI** : Osmose Inverse.

**PAF** : Perte Au Feu

**PEHD** : Polyéthylène à Haute Densité.

**pH** : potentiel Hydrogène.

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

**PHP** : Pompe à Haut Pression.

**PRFV** : Polymère Renforcé de Fibres de Verre.

**PS** : Passage de Sels.

**PT** : Transmetteur de Pression

**PVC** : Poly Chlorure de Vinyle.

**PVDF** : Poly Fluorure De Vinylidène.

**Q.S.P** : Quantité Suffisante Pour.

**RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.

**SDI** : Salt Density Index.

**TA** : Titre Alcalimétrique.

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet.

**TAF** : Titre en Acide Fort.

**TDS** : Sels Dissous Totaux.

**TFC** : Thin Film Composite.

**TH** : Titre Hydrométrique.

**TP** : Taux de Passage.

**TR** : Taux de Rejet.

**UF** : Ultrafiltration.

**° F** : Degrés Français.

$\lambda$  : Longueur d'onde.

**z** : numéro atomique

.

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

## ***Résumé***

La station de dessalement de l'eau de mer de la ville de Tizirt, réalisée dans le cadre du programme d'urgence (2002-2003), mise en service en Aout 2004, est conçue pour assurer une production de 2 500 m<sup>3</sup>/jour avec le procédé d'osmose inverse.

Après un bref aperçu historique sur cette station et le rappel de quelques notions fondamentales sur la séparation membranaire, la description du prétraitement conventionnel utilisé actuellement dans la majorité des installations de dessalement par osmose inverse est abordé.

Puis, on a entamé la description détaillée du procédé de dessalement appliqué au niveau de la station de Tizirt, suivit d'une présentation de l'essentiel des résultats obtenus concernant l'évaluation des performances du prétraitement et du système d'osmose inverse.

### **MOTS CLES**

Dessalement, eau de mer, osmose inverse, séparation membranaire, prétraitement, performance.

## ***Abstract***

Tizirt (Algiers) plant desalination, realized within the framework of emergency program (2002-2003), brought into service in August 2004, is conceived to ensure a 2 500 m<sup>3</sup> by day production with reverse osmosis.

After a brief historical reminder and an overview of some basic concepts on membrane separation, the description of the conventional pretreatment used currently in the majority of the desalination plants by reverse osmosis is approached.

Then one started the detailed description of the process of desalination applied to the level of the station of Tizirt, followed of a presentation of the main part of the results of the performance evaluation of the pretreatment and reverse osmosis system.

### **KEYWORDS**

Desalination, seawater, reverse osmosis, membrane separation, pretreatment, performance.