

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID



قسم الري كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme
de Master en Hydraulique :

Option : Technologie de traitement des eaux,

**Etude comparative de la qualité de l'eau de mer dessalée par distillation et
osmose inverse « cas de la station de Honaine »**

Soutenu Juin 2015

Par :

M^{elle} ABDELLAOUI HORIYA

Devant les membres du Jury :

Mr M. Z. DEBBAL

President

Mr A. BOUANANI

Examinateur

Mr T. A. TERKI HASSAINE

Examinateur

Mr A. CHIBOUB FELLAH

Encadreur

Mr M. HABI

Encadreur

PROMOTION: 2014 – 2015

DEDICACES

Tout d'abord je remercie ALLAH qui m'a donnée la force, le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

J'adresse mes remerciements par un grand respect et gratitude

À mes très chers parents, qui sont la lumière de ma vie, qui ont tant souffert et sacrifiés pour que je sois heureuse, pour leurs conseils, leur affection et leurs encouragements.

Et je le dédie :

À mes très chers frères ;

À ma sœur ;

À tous mes autres proches ;

À mes chers amis chacune par son nom ; ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent ; qui m'ont aidé et qui sont toujours présents à mes côtés, avec qui j'ai partagé le bon et le mauvais,

À toute ma promotion de TTE 2014/2015;

Tous simplement, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.



Horiya

Remerciements

Toute mon gratitude et remerciement vont à Allah, le clément et le miséricordieux qui nous a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour élaborer ce travail que je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes ayant contribuées de près ou de loin à l'élaborer.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mes encadreurs Mr A.CHIBOUB FELLAH et M. HABI Professeurs au Département d'Hydraulique pour la sollicitude avec laquelle ils ont suivi et guidé ce travail.

Mes vives gratitude et remerciements vont aussi à Mr Z. DEBBAL «Professeur au Département d'Hydraulique », pour avoir accepté de me faire l'honneur de présider le jury de ce mémoire et de bien vouloir l'examiner.

J'adresse mes profonds remerciements à Messieurs A. BOUANANI et T.A.TERKI HASSAINE Professeurs au Département d'Hydraulique de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce mémoire.

Je remercie également les responsables et agents de laboratoire de « Honaine » et le laboratoire de recherche n=°25 et des polymères à Imama qui m'a beaucoup aidé aux cours des expériences. Mes vifs remerciements vont surtout à Mr TABET le responsable du laboratoire de Imama et toute l'équipe de la station de dessalement qui m'ont fournis leurs savoir-faire ;

J'exprime ma gratitude à tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

Un grand merci à toute personne ayant aidée et guidée pour la réalisation de Cette étude.

RESUME

Dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux produites par osmose inverse à l'unité de dessalement de l'eau de mer Honaine, qui joue un rôle très important comme source principale d'eau de consommation de la Wilaya de Tlemcen, avec une capacité de 200.000 m³/ jour. Ce travail a pour objectif de faire un suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau obtenue par le dessalement de l'eau de mer par la technique d'osmose inverse et faire une comparaison avec celle de la distillation. Il concerne l'eau brute, l'eau filtrée, l'eau osmosée, l'eau traitée et l'eau de mer distillée.

Dans ce contexte, nous avons effectué des prélèvements au niveau de la station pendant les mois de décembre, avril, mai et trois autres pris séparément.

Cette étude montre que tous les paramètres physico-chimiques étudiés respectent les normes de l'eau potable recommandées par l'OMS.

Mots clés : Eau, dessalement, station de Honaine, osmose inverse, distillation, qualité physico-chimique.

ABSTRACT

In order to assess the physico-chemical quality of the water produced by reverse osmosis at unit desalination sea water of Honaine, which plays a very important role because it is the main source of water consumption of the Wilaya of Tlemcen, by a capacity of 200,000 m³ / day. The aims of This work is to track the evolution of the physico-chemical quality of the water produced by the desalination of seawater by reverse osmosis technique and make a comparison with that of distillation. It concern raw water, filtered water, reverse osmosis water, treated water and distilled water sea.

In this context, we conducted sampling at the station during the month of December, April, May and three others taken separately

This study shows that all studied physicochemical parameters meet the standards of drinking water recommended by WHO.

Keywords: Water, Desalination, Honaine, reverse osmosis, distillation, physico-chemical quality.

المخلص

من أجل تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه التي تنتجها وحدة هنين لتحليه مياه البحر بواسطة تقنية الضغط الاسموزي العكسي، والتي تلعب دورا هاما جدا كمصدر رئيس للتزويد بالمياه بتلمسان، بسعة 200,000 م³ / يوم. يهدف هذا العمل إلى تتبع تطور النوعية الفيزيائية والكيميائية للمياه التي تنتجها محطة تحلية مياه البحر بواسطة تقنية الضغط الاسموزي العكسي وإجراء مقارنة مع تقنية التقطير. و ذلك يتعلق بالمياه الخام، المياه المصفاة، المياه المحلاة، المياه المعالجة ومياه البحر المقطرة.

في هذا السياق، أجرينا أخذ العينات في المحطة خلال شهر ديسمبر وأبريل ومايو وكذا ثلاث عينات آخر تم اقتطاعها بصفة منفصلة.

وتظهر هذه الدراسة أن جميع المعلومات التي تتعلق بالنوعية الفيزيائية والكيميائية مطابقة لمعايير مياه الشرب التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية.

الكلمات المفتاحية: المياه، تحلية المياه، وحدة هنين، تقنية الضغط الاسموزي، التقطير، الجودة الفيزيوكيميائية.

Liste des photos

Photo IV. 1: Photo de la station de dessalement de Honaine	41
Photo IV. 2: Schéma générale de la station de Honaine	42
Photo IV. 3: Le captage de l'eau de mer	44
Photo IV. 4: les filtres à sable	45
Photo IV. 5: Les filtres à cartouche	47
Photo IV. 6: L'osmose inverse.....	48
Photo IV. 7: Les réservoirs de CO₂.....	49
Photo IV. 8: Les tours de calcite.....	50
Photo V. 1: Turbidimètre	53
Photo V. 2: pH-mètre	54
Photo V. 3: Balance électronique	57
Photo V. 4: Étuve.....	57
Photo V. 5: Détermination de l'alcalinité.....	59
Photo V. 6: Détermination de TH	61
Photo V. 7: Détermination de chlorure	64
Photo V. 8: Détermination de CO₂ dissous	65
Photo V. 9: Distillateur simple	69

Liste des tableaux

PARTIE A (Théorique)

Tableau II. 1: Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse	23
Tableau III. 1: La variation de la chaleur latente en fonction de la température.....	34
Tableau III. 2: Variation de la chaleur spécifique en fonction de la concentration des sels	34

PARTIE B (Expérimentale)

Tableau IV. 1: Principales caractéristiques de fonctionnement de la station de dessalement de Honaine.....	43
Tableau V. 1: La teneur des sels dissous suivant la valeur de TA et TAC.....	60
Tableau V. 2: Valeurs du facteur permettant d'évaluer la minéralisation.....	66
Tableau V. 3: Les proportions des ions majeurs dans l'eau de mer	68
Tableau VI. 1: Evolution de la turbidité de l'eau de mer, filtrée, osmosée et traitée.	72
Tableau VI. 2: Evolution de MES de l'eau avant et après filtration	73
Tableau VI. 3: Evolution de pH de l'eau de mer, osmosée, filtrée et traitée	74
Tableau VI. 4: Evolution de température de l'eau de mer, filtrée et osmosée	76
Tableau VI. 5: Evolution de la conductivité de l'eau filtrée, osmosée et traitée.....	77
Tableau VI. 6: Caractéristiques de l'eau utilisée	81
Tableau VI. 7: La teneur des sels dissous suivant la valeur de TA et TAC	87
Tableau VI. 8: La teneur de CO₂ dissous.	87

La liste des figures

PARTIE A (Théorique)

Figure I.1: le cycle naturel de l'eau	3
Figure I.2: La répartition des ressources en eau douce sur Terre.....	5
Figure I.3: Barrage Merdjet Sidi Abed 2006.....	9
Figure I.4: Le programme de dessalement d'eau de mer	10
Figure I.5: Schéma général d'une installation de dessalement.	11
Figure I.6: Etapes du prétraitement avant osmose inverse.	12
Figure I.7: les techniques de dessalement par distillation	15
Figure I.8: les techniques de dessalement par distillation	16
Figure I.9: Electrodialyseur.....	17
Figure II. 1: l'osmose	19
Figure II. 2: L'équilibre osmotique	19
Figure II. 3: osmose inverse.....	20
Figure II. 4: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse	20
Figure II. 5: Comparaison entre filtration frontale et filtration tangentielle	21
Figure II. 6: Modules à fibres creuses	25
Figure II. 7: Structure interne d'une membrane à spirale.....	26
Figure II. 8: Membranes de microfiltration	27
Figure II. 9: Installation avec turbo-compresseur	29
Figure II. 10: Installation avec échangeur de pression PX.....	30
Figure II. 11: Echangeur de pression PX.....	30
Figure III. 1: Principe de la distillation simple.....	32
Figure III. 2: Distillateur simple effet.....	33
Figure III. 3: Distillateurs à effets multiples.....	35
Figure III. 4: Distillation (MED), Bahreïn.....	35
Figure III. 5: Distillateur par détente successives.....	36
Figure III. 6: Distillation (MSF), Jebel Ali, Emirats Arabes Unis.....	36
Figure III. 7: Compression mécanique de vapeur.....	37
Figure III. 8: Distillateur solaire direct.....	38

PARTIE B (Expérimentale)

Figure V. 1: la courbe d'étalonnage	67
Figure V. 2: Les pourcentages des ions majeur dans l'eau de mer	68
Figure VI. 1: Courbe expérimentale de la variation du la turbidité dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer	72
Figure VI. 2: Courbe expérimentale de la variation de MES de l'eau avant et après filtration.....	73
Figure VI. 3: Courbe expérimentale de la variation du pH dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer.....	75
Figure VI. 4: Courbe expérimentale de la variation du la température dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer.....	76
Figure VI. 5 : Evolution de Chlore résiduel libre.....	77
Figure VI. 6: Courbe expérimentale de la minéralisation de l'eau.....	78
Figure VI. 7: Courbe expérimentale de la variation de TAC dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer.....	79
Figure VI. 8: Courbe expérimentale de la variation de TH dans les différentes étapes de traitement de l'eau de me	80
Figure VI. 9: Courbe expérimentale de la variation de pH, Température, conductivité, TH et TAC de l'eau de mer après passage à l'OI et après la distillation.....	82
Figure VI. 10: Courbe expérimentale d'Ions majeurs dans l'eau de mer, l'eau osmosée et distillée.....	83
Figure VI. 11: Courbe expérimentale de la variation de pH, Température, conductivité, TH et TAC de l'eau filtrée après passage à l'OI et après la distillation.....	84
Figure VI. 12: Courbe expérimentale d'Ions majeurs dans l'eau filtrée, l'eau osmosée et distillée.....	85
Figure VI. 13: Courbe expérimentale de la variation de pH, Température, conductivité, TH et TAC de concentrât de distillation de l'eau de mer et l'eau filtrée	85
Figure VI. 14: Courbe expérimentale de la variation d'ions majeurs dans de concentrât de distillation de l'eau de mer et de l'eau filtrée.....	86

Sommaire

A. Partie théorique

Introduction générale.....1

Chapitre I : L'eau et le dessalement

I.1 Introduction..... 3

I.2 Le cycle naturel de l'eau..... 3

 I.2.1 L'évaporation 4

 I.2.2 La condensation..... 4

 I.2.3 La précipitation 4

 I.2.4 Le ruissellement..... 4

 I.2.5 L'infiltration 4

I.3 La répartition des ressources en eau sur Terre 4

 I.3.1 Les eaux souterraines (aquifère, nappe phréatique, infiltration)..... 5

 I.3.2 Les eaux de surfaces captives ou en écoulement (lacs, étangs, rivières, fleuves).... 5

 I.3.3 Les eaux marines..... 5

 I.3.4 Les eaux saumâtres 6

I.4 Les usages de l'eau..... 6

 I.4.1 L'usage agricole..... 6

 I.4.2 Les usages domestiques 6

 I.4.3 Les usages industriels..... 6

 I.4.4 Les usages énergétiques 7

 I.4.5 L'hydroélectricité..... 7

 I.4.6 Le transport fluvial 7

 I.4.7 Les activités et loisirs liés à l'eau 7

I.5 Les critères de potabilité 7

I.5.1 La qualité microbiologique	8
I.5.2 La qualité chimique	8
I.5.3 La qualité physique et gustative	8
I.5.4 Les substances "indésirables"	8
I.5.5 Les substances aux effets toxiques	8
I.5.6 Les eaux adoucies ou déminéralisées.....	8
I.6 L'eau dans la Loi Algérienne.....	8
I.6.1 Algérie	8
I.6.2 Les axes de la politique nationale dans le domaine des ressources en eau	9
I.7 Généralités sur le dessalement.....	10
I.7.1 Marche du dessalement	10
I.7.2 Schéma général d'une installation de dessalement	11
I.7.3 Différents procédés de dessalement.....	14
I.7.4 Problèmes soulevés par les usines de dessalement	17
I.8 Conclusion	18

Chapitre II : l'osmose inverse

II.1 Introduction	19
II.2 Principe de l'osmose inverse.....	19
II.3 Pression osmotique.....	20
II.4 Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse	20
II.5 Mécanisme diffusionnel	21
II.6 Phénomènes de polarisation	22
II.7 Phénomènes de compactage	22
II.8 Les membranes d'osmose inverse	23
II.8.1 Les membranes	23
II.8.2 Types de membranes d'osmose inverse	24
II.8.2.1 Les membranes en acétate de cellulose	24

II.8.2 .2 Les membranes en polyamide.....	24
II-8-2-3Les membranes composites.....	24
II.8.3 Le choix de type de membrane.....	24
II.9 Les modules.....	25
II.9.1 Les modules tubulaires.....	25
II.9.2 Les modules fibres creuses.....	25
II.9.3 Les modules plans.....	26
II.9.4 Les modules spiraux.....	26
II.10 Procédés membranaire : ultrafiltration, microfiltration et Nano filtration	26
II.10 .1 La microfiltration	26
II.10.2 La Nano filtration	27
II.10.3 L’ultrafiltration	27
II.11 Nettoyage des membranes OI	27
II.11.1 Retro lavage	27
II.11.2 Le nettoyage chimique	27
II.12 La consommation d’énergie	28
II.12.1 Energie consommée en osmose inverse en l’absence de système de récupération	28
II.12.2 Récupération d’énergie	29
II.12.3 Différents systèmes de récupération d’énergie	29
II.13 Les avantages et les inconvénients de l’osmose inverse	30
II.13.1 Les avantages	30
II.13.2 Les inconvénients.....	31
II.8 Conclusion.....	31

Chapitre III : la distillation

III.1 Introduction	32
III.2 Principe.....	32

III.3 Les procédés de distillation.....	33
III.3.1 Distillation à simple effet.....	33
III.3.2 Distillation à multiples effets.....	34
III.3.3 Procédé par détentés successives ou procédé Flash.....	36
III.3.4 Distillation par compression de vapeur.....	37
III.3.5 Distillation solaire.....	38
III.4 perspective de la distillation.....	38
III.5 Les avantages et les inconvénients de la distillation.....	39
III.5.1 Les avantages.....	39
III.5.2 Les inconvénients.....	39
III.6 Conclusion.....	40

B. Partie pratique

Chapitre IV : Description de la station de dessalement de Honaine

IV.1 Description de la station de dessalement de Honaine.....	41
IV.2 Captation d'eau de mer.....	42
IV.3 Le prétraitement.....	44
IV.3.1 Dosage d'hypochlorite de sodium.....	44
IV.3.2 Dosage d'Acide Sulfurique.....	44
IV.4 Système de filtration.....	44
IV.4.1 Filtres presse.....	44
IV.5.2 Nettoyage des filtres.....	46
IV.4.3 Filtres cartouche.....	47
IV.5 L'osmose inverse.....	47
IV.6 Poste traitement.....	49
IV.7 Pompage du produit.....	50

Chapitre V : Matériels et méthodes

V.1 Introduction	51
V.2 Méthodes d'analyse physico-chimique	51
V.2.1 Prélèvement	51
V.2.2 Paramètres Organoleptiques	52
V.2.2.1 Test de Couleur	52
V.2.2.2 Test de l'odeur et la saveur	52
V.2.2.3 Turbidité	52
V.2.3 Paramètres Physico-chimiques.....	53
V.2.3.1 Potentiel d'hydrogène (pH)	53
V.2.3.2 Température (T°)	54
V.2.3.3 Chlore résiduel libre (Cl₂) (hypochlorite de sodium):	55
V.2.3.4 Conductivité.....	55
V.2.3.5 Les particules en suspension	56
V.2.3.6 Alcalinité (TA-TAC)	57
V.2.3.7 Dureté ou titre hydrotimétrique (TH).....	60
V.2.3.9 Mesure de Magnésium.....	62
V.2.3.10 Mesure de Chlorure	63
V.2.3.11 Dosage du CO₂ dissous	64
V.2.3.12 Estimation de la minéralisation globale de l'eau à analyser	66
V.2.3.13 Mesure des solides dissous totaux ou salinité	66
V.2.3.14 Mesure de l'indice de Langelier ou pH de saturation.....	67
V.2.3.15 Dosage de sulfate	67
V.3 La distillation	69
V.3.1 La distillation simple sous pression atmosphérique	69
V.3.1.1 Montage.....	69

Chapitre VI : Résultats et interprétations

VI. Introduction.....	71
<i>Partie A : Les résultats d'analyse physico-chimique de l'eau de la station de dessalement de Honaine</i>	
VI.2 Paramètres organoleptiques	71
VI.2.1 Couleur.....	71
VI.2.2 Odeur.....	71
VI.2.3 Goût	71
VI.2.4 Turbidité	71
VI.3 Paramètres physico-chimiques	73
VI.3.1 MES	73
VI.3.2 pH	74
VI.3.3 La température.....	76
VI.3.4 Chlore résiduel libre (Cl₂) (hypochlorite de sodium):	77
VI.3.5 Conductivité.....	77
VI.3.6 Alcalinité	79
VI.3.7 la dureté totale (TH).....	80
VI.3.8 Total des solides dissous (TDS)	81
<i>Partie B : Les résultats des analyses et de distillation au niveau de laboratoire de recherche Imama</i>	
VI.4 La distillation de L'eau de mer.....	81
VI.4.1 Paramètres physico-chimiques	82
VI.5 La distillation de l'eau filtrée.....	84
VI.5.1 Paramètres physico-chimiques	84
VI.5.2 Le concentrat de l'eau de mer distillée et de l'eau filtrée distillée.....	85
VI.5.3 Les teneurs des sels dissous.....	87
VI.3.11 Le CO₂ dissous.....	87

Introduction générale

Le cycle de l'eau joue un rôle essentiel dans l'histoire de notre planète. Ce processus dû aux interactions entre l'eau, le relief, l'atmosphère, les radiations solaires, fait passer l'eau de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur) et à l'état solide (neige et glace), de manière permanente.

La masse d'eau océanique est telle que son évaporation, déclenchée par la chaleur solaire, entraîne une accumulation de vapeur dans l'atmosphère. Cette vapeur se condense sous la forme de nuages et de précipitations (pluie, neige), qui alimentent les masses d'eau et les cours d'eau terrestres [1].

L'eau douce est très inégalement distribuée. Certaines régions bénéficient d'excédents considérables, c'est le cas par exemple du Canada, du Chili, de la Nouvelle-Zélande ou de la Norvège où les disponibilités en eau dépassent les 50 000 m³ par personne et par an. D'autres, au contraire, souffrent de pénuries chaque année plus graves, c'est le cas des pays du Maghreb, du Golfe ou de l'Asie Centrale où les disponibilités en eau sont inférieures à 1 000 m³ par personne et par an. Ces régions vulnérables, souvent situées dans les pays en voie de développement, sont d'autant plus exposées que la croissance rapide de la population crée, sur les ressources en eau, une pression supplémentaire [2].

La pénurie de l'eau dans le monde, la mobilisation et la gestion des ressources en eau constituent l'un des problèmes les plus cruciaux du 21^{ème} siècle. L'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ces ressources.

Actuellement, comme pour de nombreux pays. L'Algérie considère la résolution des problèmes de l'eau comme une de ses priorités. La mobilisation des ressources en eau représente un des défis majeurs pour notre pays [3].

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable sont déjà mises en place et devront être améliorées, pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Les techniques de dessalement de l'eau de mer sont opérationnelles depuis de nombreuses années. Mais leur coût (de 1 à 2 euros / m³) limite souvent leur utilisation aux pays riches. Cependant dans les dernières années, la capacité des usines de dessalement s'est fortement accrue et les coûts de production par m³ ont connu une forte diminution [4].

Introduction générale

Dans cette partie, nous nous intéresserons plus particulièrement à deux méthodes d'obtention d'eau potable par le dessalement de l'eau de mer: l'osmose inverse et la distillation.

L'objectif de ce travail consiste :

- 1/ comprendre le processus d'osmose inverse et de distillation
- 2/ comparaison des deux méthodes : l'osmose inverse et la distillation

Comme l'osmose inverse et la distillation sont les deux techniques les plus utilisées, nous verrons plusieurs critères de comparaison entre ces deux techniques :

- 1) Sur le plan de qualité d'eau potable obtenue
- 2) Aspect économique
- 3) Impact environnemental

La première partie de travail expérimental (l'osmose inverse) se fait au niveau de station de Honaine et La deuxième partie (la distillation) au niveau de laboratoire de recherche scientifique n°25 et des polymères à Imama.

Pour ce faire, ce présent travail est subdivisé principalement en deux parties :

- Une partie théorique (A) qui est relatif à l'étude bibliographique, contient trois chapitres:

Chapitre I : donne un aperçu général sur l'eau et les différentes procédures de dessalement.

Chapitre II : Une étude bibliographique sur la filière de dessalement de l'eau de mer par le procédé d'osmose inverse.

Chapitre III : qui explique les différents procédés de distillation.

- La deuxième partie (partie B) :

Chapitre IV : la description de la station de Honaine.

Chapitre V : Matériels et méthodes.

Chapitre VI : Résultats et interprétations.



Chapitre I

L'eau et le dessalement



I.1 Introduction :

L'eau se stocke naturellement sous deux formes : les eaux de surface et les eaux souterraines.

Quelle que soit leur provenance, il est rare que les eaux prélevées dans le milieu naturel puissent être distribuées sans traitement. Les eaux souterraines doivent être généralement soumises à une aération. Par ailleurs, l'ajout de chlore en quantité infinitésimale garantit une bonne qualité bactériologique de l'eau jusqu'au robinet. Les eaux de surface sont les plus exposées à la pollution et nécessitent donc un traitement plus élaboré [5].

Elle doit alors être acheminée par des canalisations jusqu'à une usine spécialisée dans le traitement de l'eau, qui la rend "potable", c'est à dire consommable sans risque.

Avant d'arriver à nos robinets, l'eau captée doit subir une série d'opérations afin de répondre à toutes les exigences de qualité [6].

C'est dans cette logique que les stations de dessalement des eaux s'inscrivent puisqu'elles permettent de produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer ou d'eaux saumâtres grâce à des techniques particulières [7].

I.2 Le cycle naturel de l'eau



Figure I.1 : le cycle naturel de l'eau [5].

I.2.1 L'évaporation : Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des océans et l'eau de surface (lacs, rivières, flaques...) se transforment en vapeur qui s'élève vers le ciel.

I.2.2 La condensation : Lorsque la vapeur d'eau provenant de l'évaporation s'élève dans les airs, elle se refroidit puis se transforme en nuage.

I.2.3 La précipitation : Le nuage d'eau se déplace et grossit jusqu'au moment où les gouttes qu'il contient deviennent trop lourdes. Alors, celles-ci retombent : on appelle cela des précipitations. Elles se présentent soit à l'état liquide – pluie – soit à l'état solide – neige, grêle.

I.2.4 Le ruissellement : Quand l'eau tombe du ciel, elle peut nourrir les arbres et les fleurs ou ruisseler vers les ruisseaux qui deviennent rivières, fleuves, lacs, avant de retourner dans la mer.

I.2.5 L'infiltration : L'eau de pluie peut aussi s'infiltrer dans le sol. Elle passe à travers la terre pour arriver dans les nappes souterraines, appelées aussi nappes phréatiques. Cette eau peut trouver un chemin pour revenir à l'air libre par des fissures dans le sol : ce sont les sources.

L'eau de source rejoint les ruisseaux qui se jettent dans les rivières, fleuves, lacs, avant de retourner dans la mer [5].

I.3 La répartition des ressources en eau sur Terre

L'eau est abondante sur terre, elle représente 1380 millions de km³. L'essentiel toutefois est constitué **d'eau de mer** (97,2 %) et **de glace** (2,15 %) inutilisables directement. **L'eau douce**, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km³. Mais la répartition de cette eau est très inégale.

En effet, dix pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et vingt-neuf autres principalement en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. Dans ces pays, selon le Water Resources Institute, 250 millions d'individus, ne disposent pas aujourd'hui du minimum vital d'eau défini à 1000 m³ par habitant et par an. 400 millions de personnes vivent en situation de stress hydrique, estimé entre 100 et 200 m³ par habitant et par an. Et on estime que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau [4].

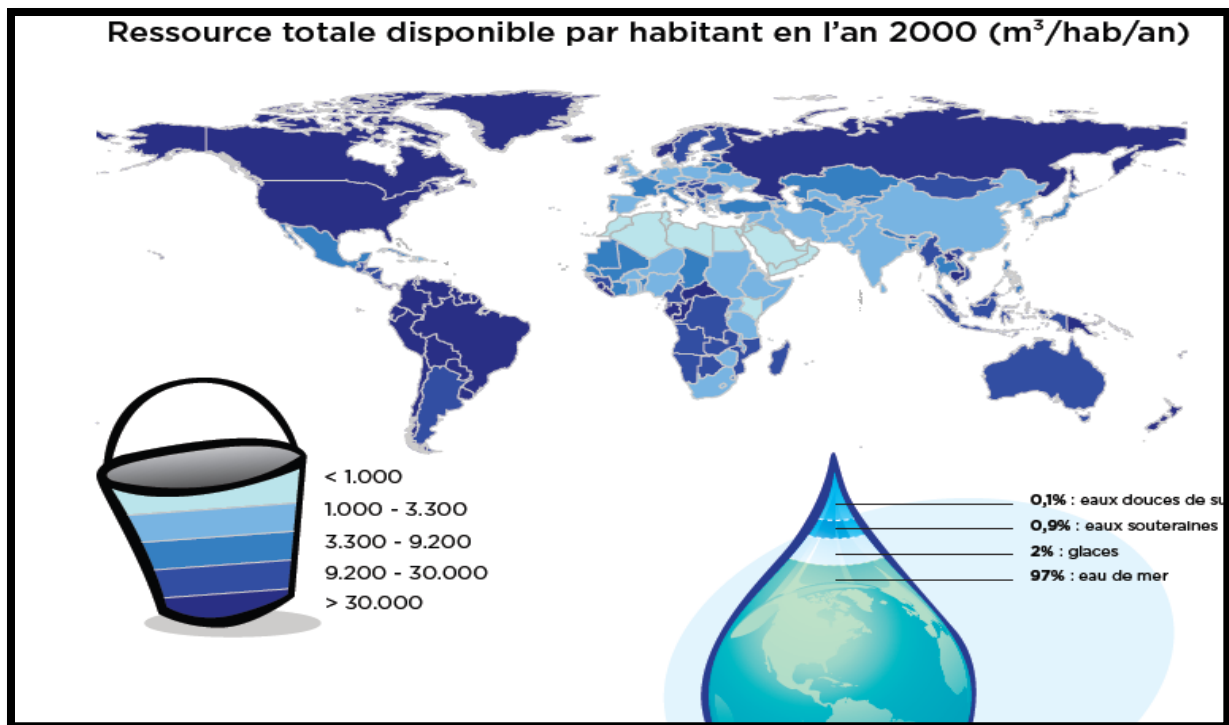


Figure I.2 : La répartition des ressources en eau douce sur Terre [5].

- Il existe trois réserves disponibles d'eaux naturelles :

I.3.1 Les eaux souterraines (aquifère, nappe phréatique, infiltration) :

Les eaux souterraines sont contenues dans des aquifères de natures très variées, définies par la porosité et la structure du terrain. Ces paramètres déterminent le type de nappe et le mode de circulation de l'eau.

I.3.2 Les eaux de surfaces captives ou en écoulement (lacs, étangs, rivières, fleuves) :

Les eaux de surface ont pour origines soit les eaux souterraines (par une résurgence, source), soit les eaux de ruissellements. Ces eaux se regroupent en cours d'eau et sont caractérisées par une surface libre, surface de contact entre l'eau et l'atmosphère, toujours en mouvement, avec une vitesse variable. Les eaux de surface peuvent se retrouver stockées dans des réservoirs naturels (lacs) ou artificiels (barrages), de profondeur variable. La surface d'échange se retrouve alors quasiment immobile [8].

I.3.3 Les eaux marines

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.l^{-1} ($27,2 \text{ g.l}^{-1}$ de NaCl , $3,8 \text{ g.l}^{-1}$ de MgCl_2 , $1,7 \text{ g.l}^{-1}$ MgSO_4 , $1,26 \text{ g.l}^{-1}$ CaSO_4 , $0,86 \text{ g.l}^{-1}$ K_2SO_4).

Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées :

- mer Méditerranée : 36 à 39 g.l^{-1} ,

- mer Rouge : environ 40 g.l⁻¹,
- mer Caspienne : 13 g.l⁻¹,
- mer Morte : 270 g.l⁻¹,
- Golfe Arabo-persique : 36 à 39 g.l⁻¹.

Le pH moyen des eaux de mer varie entre **7,5 et 8,4** : l'eau de mer est un milieu légèrement basique.

I.3.4 Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le NaCl [4].

I.4 Les usages de l'eau : l'eau est ensuite distribuée en plusieurs usages :

I.4.1 L'usage agricole

L'irrigation des cultures représente 70% de l'ensemble des usages agricoles de l'eau (cf. Agence de l'Eau Seine Normandie).

Ainsi, il faut environ :

- 1500 l d'eau pour produire 1 kg de blé ;
- 4500 l d'eau pour produire 1 kg de riz.

L'irrigation n'est pas le seul usage agricole : on peut citer également l'abreuvement du bétail, le nettoyage des cuves [6].

I.4.2 Les usages domestiques

Les usages domestiques concernent l'alimentation (environ 3 litres par jour pour une personne), les diverses activités de lavage, d'évacuation des déchets, l'hygiène personnelle, l'arrosage des jardins. A travers le monde, la consommation journalière pour les besoins domestiques est très variable suivant les pays [9].

I.4.3 Les usages industriels

Les usages industriels (agro-alimentaire, fabrication de produits...) sont de gros consommateurs d'eau.

Ainsi, pour fabriquer :

- 1 automobile = environ 10 000 l d'eau
- 1 kg de papier = environ 20 l d'eau

L'usage industriel peut modifier la composition. Pour certaines industries, on ne raccorde pas les rejets au réseau collectif mais à une station d'épuration adaptée à la nature des rejets. Des normes strictes de rejet limitent les risques d'atteintes au milieu et de modifications du cadre de vie des espèces animales et végétales [6].

I.4.4 Les usages énergétiques

Les centrales électriques transforment l'énergie calorifique (combustion de combustibles fossiles : gaz, fioul, charbon ou fission atomique) en énergie mécanique (machine à vapeur) puis en énergie électrique.

Le cycle de l'eau dans une centrale comprend un pompage en eau superficielle (rivière), l'injection dans un circuit de refroidissement, puis le rejet dans le milieu (rivière) ou l'évaporation.

Selon la puissance de la centrale, l'eau évaporée peut se compter en m³/s.

I.4.5 L'hydroélectricité

Elle consiste à utiliser l'énergie hydraulique (dénivelée, débit) d'un cours d'eau pour la transformer en énergie mécanique (mécanisme des moulins) ou électrique (hydroélectricité).

Cet usage peut modifier le débit immédiat et le débit moyen (plus de 10% d'évaporation sur les plans d'eau de certains barrages) de certains cours d'eau [6].

I.4.6 Le transport fluvial

La fonction transport de marchandise, tourisme fluvial utilise l'eau sans la consommer.

L'hydroélectricité et le transport fluvial nécessitent des aménagements qui, en transformant un cours d'eau rapide en une succession de plan d'eau, modifient sensiblement l'écosystème de la rivière[6].

I.4.7 Les activités et loisirs liés à l'eau

Baignade, sport nautique, pêche constituent autant de fonctions récréatives légitimes du réseau hydrographique. On constate d'ailleurs une évolution de la législation de l'eau en fonction des usages [6].

I.5 Les critères de potabilité

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de qualité très stricts. Fixés par l'OMS puis par le ministère de la santé. Les critères d'une eau "propre à la consommation" sont au nombre de 63, ils portent sur :

I.5.1 La qualité microbiologique :

L'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, ni bactérie pathogène.

I.5.2 La qualité chimique :

Les substances chimiques autres que les sels minéraux font l'objet de normes très sévères. Ces substances sont dites "indésirables " ou " toxiques".

I.5.3 La qualité physique et gustative :

L'eau doit être limpide, claire, aérée et ne doit présenter ni saveur ni odeur désagréable.

I.5.4 Les substances "indésirables" :

Leur présence est tolérée tant qu'elle reste inférieure à un certain seuil (le fluor et les nitrates par exemple).

I.5.5 Les substances aux effets toxiques :

Le plomb et le chrome en font partie. Les teneurs tolérées sont extrêmement faibles.

I.5.6 Les eaux adoucies ou déminéralisées :

Les eaux traitées par un adoucisseur d'eau, doivent contenir une teneur minimale en calcium ou en magnésium, de même qu'en carbonate ou en bicarbonate [6].

I.6 L'eau dans la Loi Algérienne

Le code des eaux, promulgué en 2005, définit l'eau comme bien de la collectivité nationale.

Selon ce texte, le premier principe sur lequel se fonde l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau, est le *droit* à l'accès à l'eau et à l'assainissement pour satisfaire les besoins fondamentaux de la population, dans le respect de l'équité en matière de services publics.

I.6.1 Algérie

- Superficie: 2.381.741 Km²
- Population: 35.857.029 habitants en 2012.
- Disponibilités hydriques: 17 milliards m³/an.
- Ratio par habitant: 480 m³/an. (le seuil de rareté est fixé, selon les critères de la banque mondiale à 1.000 m³/an/habitant)
- ✚ La baisse de la pluviométrie et les cycles de sécheresse sont, désormais, une constante prise en compte lors de la définition de la politique nationale de l'eau de Barrage

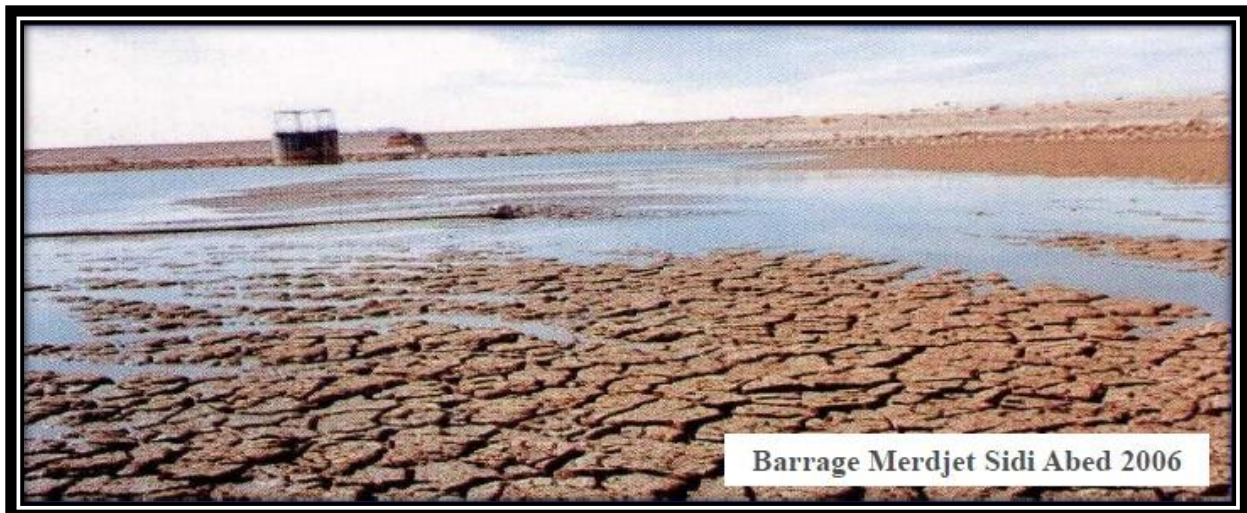


Figure I.3 : Barrage Merdjet Sidi Abed 2006 [10].

I.6.2 Les axes de la politique nationale dans le domaine des ressources en eau

En février 2007, a été adopté le Plan National de l'Eau. Etalé jusqu'à l'horizon 2025, cet outil de planification souple et évolutif a pour principaux objectifs:

- Assurer une durabilité de la ressource ;
 - Créer la dynamique de rééquilibrage territorial ;
 - Créer et renforcer l'attractivité et la compétitivité ;
 - Garantir une bonne gouvernance de l'eau.
- ✚ A titre indicatif, voici la présentation de cinq projets hydrauliques majeurs réalisés en Algérie.
- Le complexe hydraulique Bénin Haroun ;
 - Le transfert In-Salah Tamanrasset ;
 - Le système Mostaganem Arzew Oran ;
 - Le transfert Sud/Nord ;
 - Le dessalement de l'eau de mer.

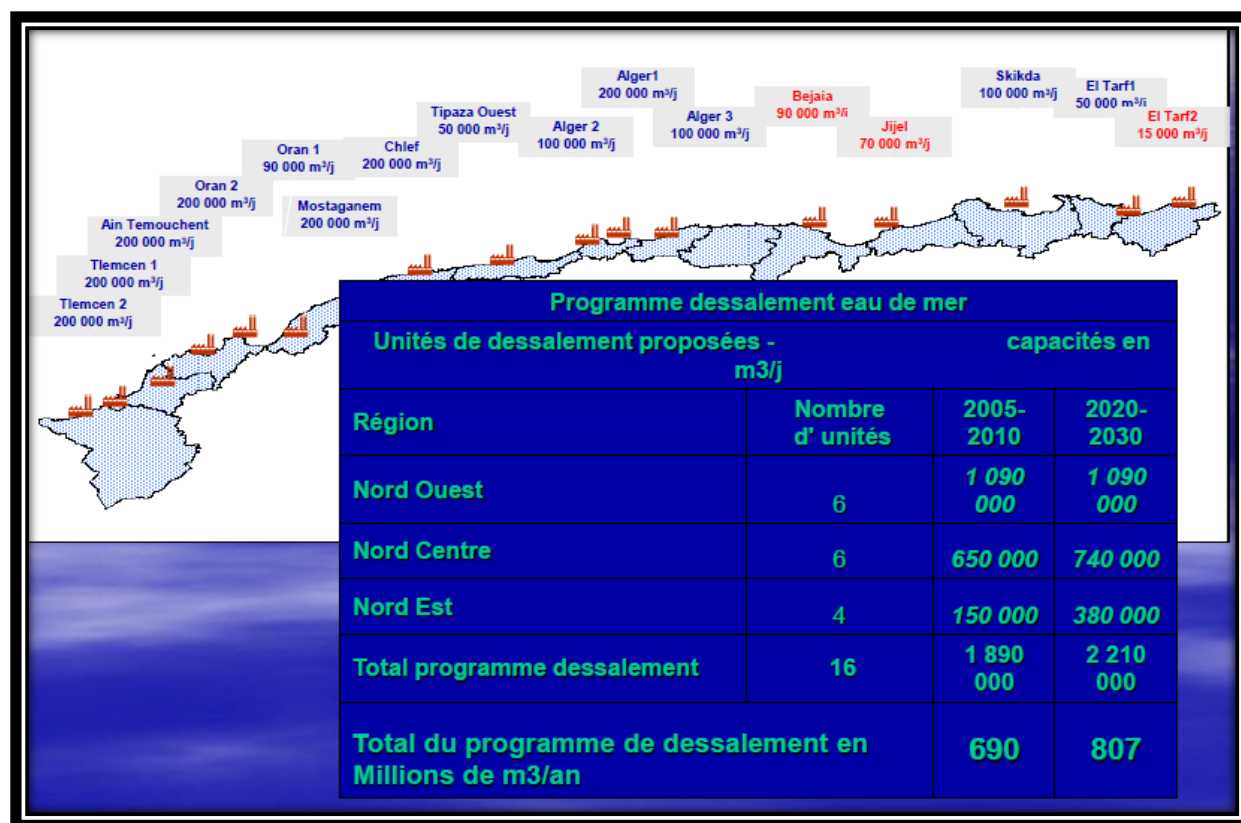


Figure I.4 : Le programme de dessalement d'eau de mer [10].

I.7 Généralités sur le dessalement

Compte tenu de la situation actuelle de pression démographique et de réchauffement climatique, le dessalement est une technique intéressante au vu de l'abondance de la matière première : l'eau de mer et les eaux saumâtres.

On assiste d'ailleurs à une très forte augmentation (+10% par an) du volume d'eau produit par le dessalement, il est actuellement autour de 45 millions m³/jour. Les usines de dessalement se multiplient dans de nombreux pays (Libye, l'Australie, la Grande Bretagne); surtout dans les pays en prise à des pénuries d'eau (Algérie, Libye, pays du golfe) mais aussi dans les pays d'Europe du sud (Espagne, Italie, Grèce) et aux États-Unis [7].

I.7.1 Marche du dessalement

➤ **Les acteurs**

- ❖ **Constructeurs d'usines de distillation « clé en main »**: SIDEM-Entropie (Filiale de Veolia), Fisialtalmimpianti (Société Italienne), Doosan (Corée du sud), GE Water (USA), SuezEnergy International (France), IDE (Israël).
- ❖ **Constructeurs d'usines d'osmose inverse « clé en main »**: OTV (Filiale de Veolia), Hyflux (Singapour), GE Ionics (USA), Degrémont (France), Sadyt (Espagne),

Cadagua (Espagne), Acciona Agua (Espagne), Aqualia (Espagne), Befesa Agua (Espagne).

- ❖ **Fournisseurs de membranes** : Dow Filmtec (USA), Hydranautics (Japon), Toray Industries (Japon), Woongjin Chemical (Corée du sud). (Desaldata.com)

I.7.2 Schéma général d'une installation de dessalement

On peut diviser une installation de dessalement en 4 postes principaux:

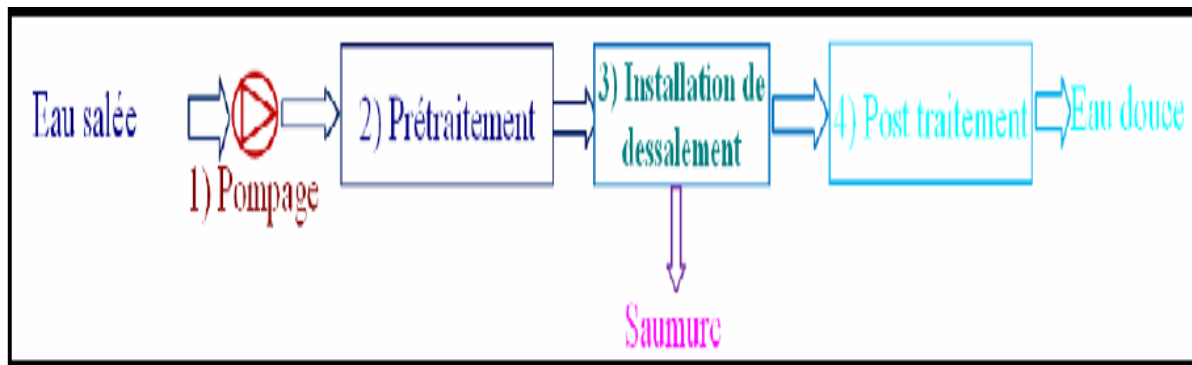


Figure I.5: Schéma général d'une installation de dessalement [7].

a) **L'alimentation en eau de mer** peut s'effectuer soit par prise directe, soit par puits côtiers. Ce dernier système permet d'obtenir une eau non turbide, ce qui soulage les prétraitements [7].

b) Le prétraitement:

1. **Objectifs** : les objectifs du prétraitement sont les suivants:

- éviter le colmatage des modules par les matières en suspension (MES), soit par les micro-organismes, soit par les dépôts de sels;
- donner à l'eau des caractéristiques qui soient compatibles avec la nature des membranes: teneur en chlore, pH, température.

2. Paramètres

- Il n'existe pas de prétraitement standard. Les principaux facteurs qui interviennent dans la définition d'un prétraitement sont:
 - les caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter :
 - MES, turbidité, COT (Carbone organique total), hydrocarbures, algues, composition chimique, pH;
 - les conditions de fonctionnement des membranes: taux de conversion, pression;
 - les types de membranes et de modules utilisés.

3. Etapes du prétraitement : les principales étapes d'un prétraitement sont les suivants:

1. Chloration
2. Clarification
3. Prévention de l'entartrage
4. Déchloration
5. Filtration sur cartouches

L'eau passe d'abord par une étape de filtration grossière permettant d'éliminer les gros matériaux susceptibles d'endommager les installations et de diminuer l'efficacité globale du procédé de traitement.

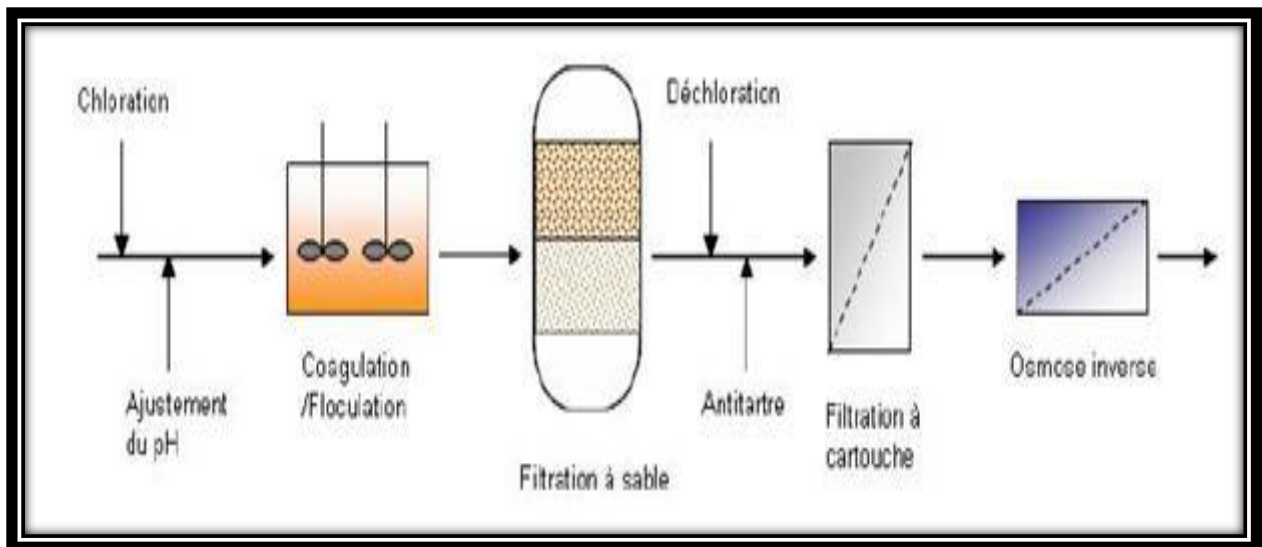


Figure I.6: Etapes du prétraitement avant osmose inverse [11].

a. Chloration

La chloration a pour objectif l'inactivation des micro-organismes (bactéries principalement) mais aussi micro-algues, champignons, qui, outre le fait que certains peuvent être pathogènes, sont à l'origine d'un colmatage important des membranes.

Le procédé le plus répandu consiste à injecter du chlore, réactif dont le stockage et la manipulation exigent des précautions strictes.

b. Clarification de l'eau brute

Une étape de CFS (Coagulation Flocculation Sédimentation) est nécessaire afin d'éliminer les matières en suspension et une partie du COT (Carbone Organique Total):

- **Coagulation**

La coagulation a pour objectif de neutraliser les colloïdes, en général chargés négativement, par des composés de deux métaux lourds Al^{3+} et Fe^{3+} :

- chlorure ferrique $FeCl_3$;
- sulfate ferrique $Fe(SO_4)_3$
- sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3, 14 H_2O$
- **Floculation** : elle consiste à agglomérer sous forme de floes les particules colloïdales neutralisées auparavant par coagulation.
- **Sédimentation** : la sédimentation ou décantation est peu utilisée en prétraitement avant osmose inverse.
- **Filtration sur sable** : la filtration sur sable peut être effectuée sous pression ou de façon gravitaire. La filtration sous pression est utilisée en général pour les débits faibles et moyens alors que la filtration gravitaire est utilisée pour les débits plus élevés La masse filtrante peut être monocouche ou bicouche.

c. Prévention de l'entartrage

L'entartrage des équipements doit être évité. La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres ($CaCO_3$, $CaCO_4$, $2 H_2O...$) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres.

d. Déchloration

Compte tenu de la sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide (membranes les plus utilisés actuellement), il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer en amont de l'osmose proprement dite. Du bisulfite de sodium est ajouté afin de réduire le chlore.

e. Filtration sur cartouches

Dans tous les cas, une installation d'osmose inverse doit être protégée par une filtration de sécurité sur cartouches aux environs de 5 µm [11].

c) Installation de dessalement

1) Procédés de distillation : L'eau de mer chauffée produit de la vapeur d'eau qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau pure.

2) Procédés membranaires : L'eau et les sels dissous sont séparés au moyen de membranes sélectives.

d) Le post-traitement

Permet de potabiliser l'eau en 2 étapes (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée).

1) Correction de la corrosivité : le traitement consiste à ajouter du Ca(OH)_2 ou du CaCO_3 .

2) Désinfection finale : bien que certains procédés (osmose inverse) retiennent tous les microorganismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine [7].

e) Les contrôles de la qualité de l'eau :

Le contrôle de la qualité de l'eau distribuée est assuré par le ministère chargé de la santé. Le contrôle est effectué sur l'ensemble du système de distribution : point de captage, stations de traitement, réservoirs et réseaux, et il s'accompagne de prélèvements d'échantillons d'eau.

Ceux-ci sont analysés par des laboratoires agréés.

De plus, les distributeurs d'eau effectuent leur propre auto-surveillance [6].

I.7.3 Différents procédés de dessalement

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué :

✚ **Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.**

✚ **Les procédés utilisant des membranes: l'osmose inverse et l'électrodialyse**

Parmi les procédés précités, **la distillation et l'osmose inverse** sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés, dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent [4].

❖ La distillation

Les procédés « thermiques » par évaporation ou distillation avec changement de phase, MED (Multi Effet Distillation) et MSF (Multi Stage Flash), nécessitent de l'énergie sous forme de chaleur. Ils fonctionnent sur le principe de l'évaporation de l'eau de mer, la condensation de la vapeur permettant ensuite de récupérer de l'eau quasiment pure [12].

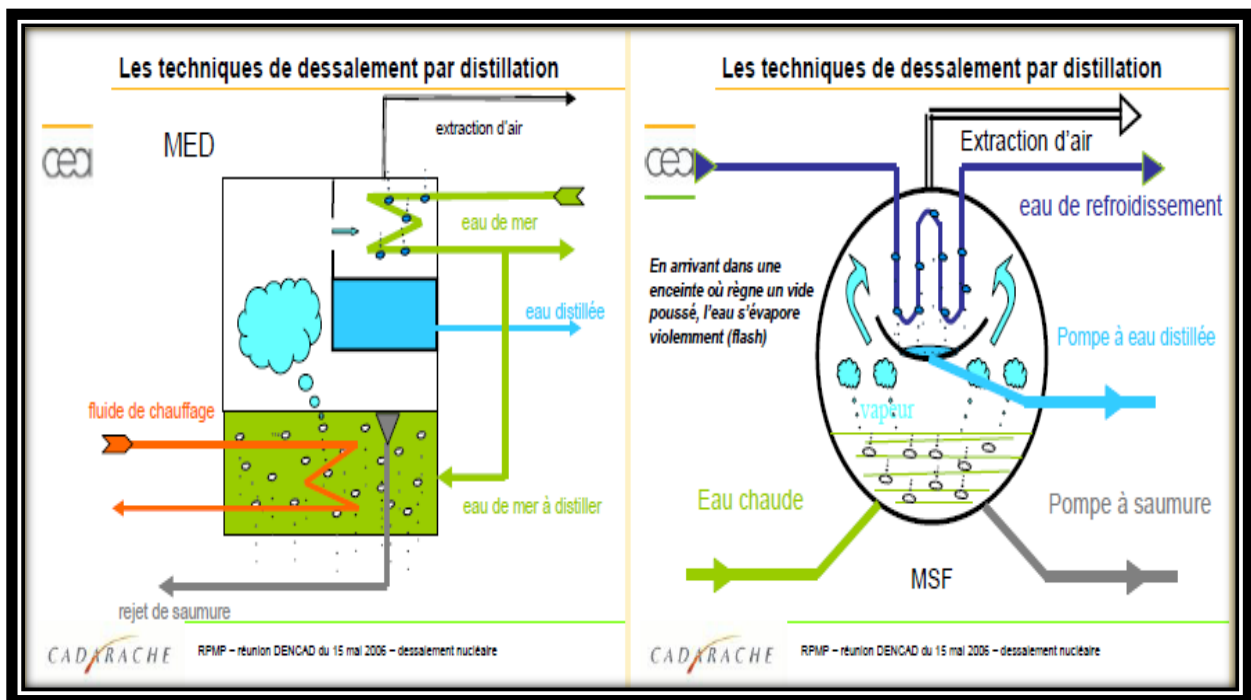


Figure I.7 : Les techniques de dessalement par distillation [12].

❖ L'osmose inverse

Le procédé d'osmose inverse (OI) nécessite de l'énergie sous forme d'électricité pour alimenter des pompes hautes pressions qui compriment l'eau de mer pour la faire passer à travers une membrane filtrante.

Les **membranes**, filtres très fins, retiennent toutes les impuretés et le sel. L'eau salée pénètre à une extrémité sous une pression de 80 bars et, après passage au travers de la membrane, ressort de l'autre côté débarrassée de plus de 99% de son sel [8].

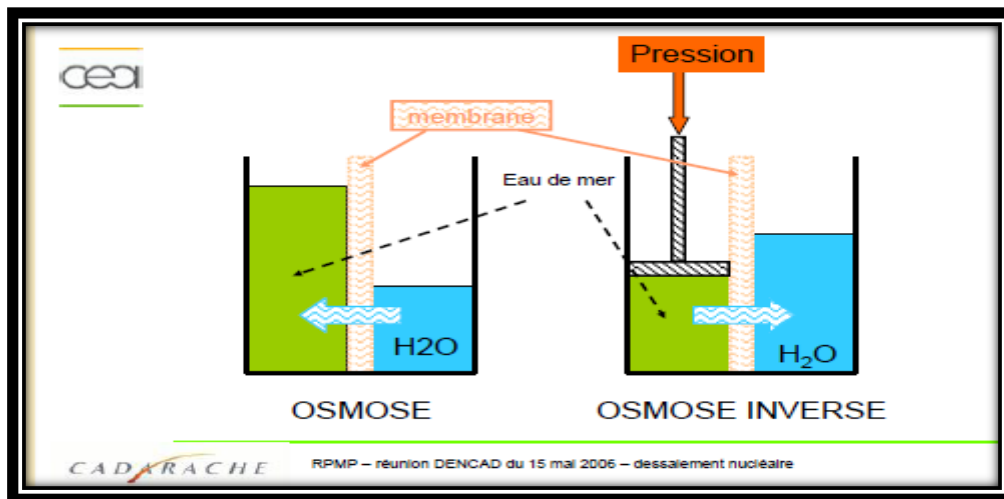


Figure I.8 : Les techniques de dessalement par distillation [12].

❖ L'électrodialyse (ED)

Le principe de l'électrolyse est bien connu. Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les ions positifs ou cations (par Na^+) sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive.

Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration.

L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer.

Les membranes utilisées en électrodialyse laissent passer les ions mais sont imperméables à l'eau. C'est exactement l'inverse pour les membranes utilisées en osmose inverse [13].

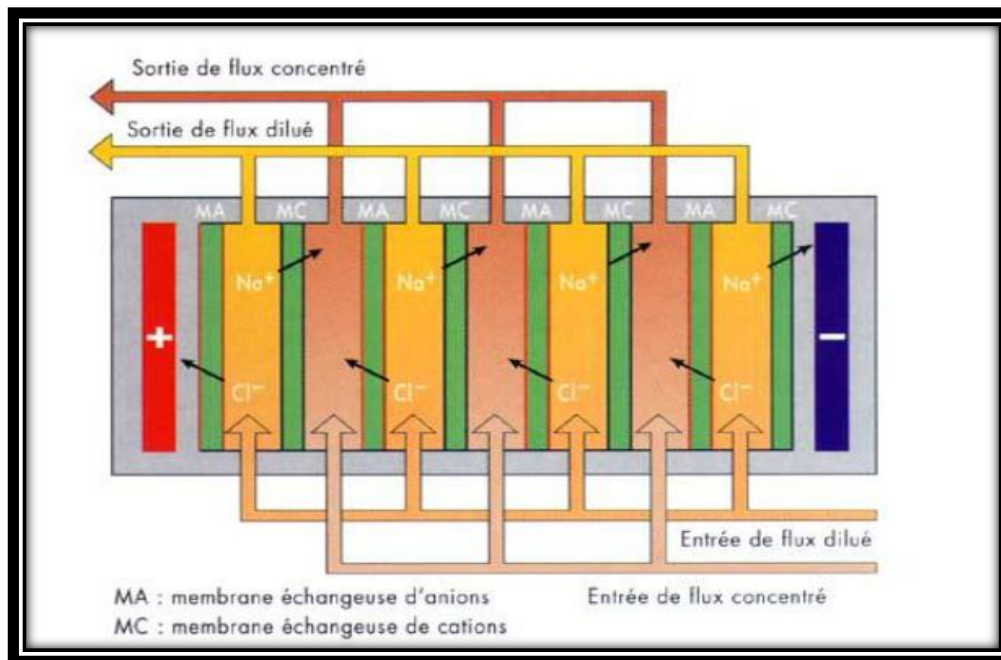


Figure I.9: Electrodesalisateur [13].

- ✚ **Températures** des principaux procédés : Distillation MSF : 110-130°C; MED : 60 à 100 °C, Osmose Inverse : 15– 44°C

❖ L'échange d'ions :

Les atomes et molécules électriquement chargés sont des ions. Le traitement connu sous le nom d'échange d'ions emploie des résines spéciales pour éliminer les contaminants minéraux tels que l'arsenic, le chrome, le calcium, le radium, l'uranium et des anions tels que les nitrates et les fluorures excédentaires de l'eau.

Ce traitement fonctionne au mieux dans une eau débarrassée des particules en suspension qui peuvent s'agglutiner sur la résine et limiter son efficacité.

Les échangeurs ioniques commerciaux courants sont, aujourd'hui, des résines synthétiques au sein desquelles des groupes chimiques fonctionnels jouent le rôle d'échangeurs. La capacité d'échange d'un échangeur ionique est exprimée en milliéquivalent par gramme ou par litre d'échangeur on trouve aussi les unités de CaCO₃ par gramme ou par litre d'échangeur. La capacité totale d'échange n'est en pratique jamais atteinte.

I.7.4 Problèmes soulevés par les usines de dessalement

Quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- **A la prise d'eau:** Les prises d'eau peuvent perturber le fond marin et interférer avec des routes maritimes
- **Au rejet de la saumure:** Les saumures sont rejetées dans la mer le plus loin possible des côtes.

***Salinité et température:** L'exposition continue à une plus forte salinité (1,5 à 2 fois celle du milieu) et à une température plus élevée (jusqu'à + 5°C) nuit à certaines espèces en favorise d'autres.

***Métaux lourds :** Des alliages Cuivre-Nickel sont généralement utilisés comme matériaux pour les échangeurs thermiques. La contamination de la saumure avec du cuivre due à la corrosion peut être une source de pollution, le cuivre étant toxique à fortes doses.

***Antitartre :** Problèmes d'eutrophisation à cause des poly phosphates.

***Coagulants (OI) :** Le chlorure ferrique utilisé dans les stations d'osmose inverse augmente la turbidité de la saumure en sortie pouvant causer une gêne pour la faune et la flore.

***Agents anti-mousse (thermique) :** Le poly glycol contenu dans l'anti-mousse est faiblement biodégradable.

Le principal inconvénient est donc l'impact des saumures sur l'environnement, surtout dans le cas de l'osmose inverse où les rejets sont plus concentrés. Si la station est située en bord de mer, on utilisera des diffuseurs pour diluer le concentrât le plus loin possibles des côtes. Si l'usine est à l'intérieur des terres (parfois le cas pour les eaux saumâtres), on utilise des marais salants pour évaporer le reste d'eau de la saumure [9].

I.8 Conclusion

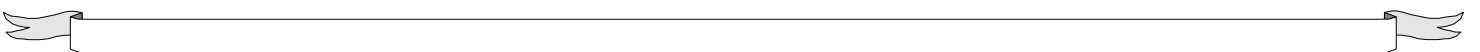
Bien partagé, l'eau est un élément qui met en jeu une multitude d'intérêts contradictoires.

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse et la distillation sont à l'heure actuelle les deux procédés majeurs pour la production d'eau potable dans les pays souffrant d'une pénurie d'eau douce. L'objectif principal de ces techniques est l'élimination des sels, des matières organiques et des microorganismes présents dans l'eau de mer.



Chapitre II

L'osmose inverse



II.1 Introduction

La technique de l'osmose inverse a énormément progressé depuis son apparition vers 1960 : conception modernisée, nouveaux matériaux, membranes composites et dynamiques.

Ainsi, l'osmose inverse (OI) gagne des parts de marché et deviendra dominante à l'avenir. En 1990, "OI représentait 40% des installations dans le monde. Aujourd'hui, ce procédé représente environ 55% des installations. En 2020, les projections donnent la répartition suivante : OI 70 %, Distillation 20 %, Autres techniques 10 % [14].

II.2 Principe de l'osmose inverse

L'osmose est un processus naturel utilisé par les plantes pour déclencher la photosynthèse ou par nos poumons qui laissent passer l'oxygène dans le sang par le même phénomène. L'osmose est donc ce phénomène de diffusion encore mal connu entre deux solutions de concentrations différentes.

Si on interpose une membrane gélatineuse, semi perméable, entre une solution aqueuse peu salée et une autre au contraire très salée, l'eau de faible concentration saline traverse la membrane en direction de la solution la plus concentrée en eau saline, cherchant, en diluant la solution la plus concentrée, à rendre égales les concentrations en sels des deux côtés de la membrane [15].

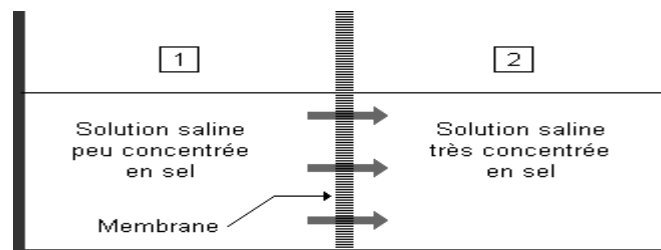


Figure II.1 : l'osmose [15].

Dans la partie 2 de la figure II-1, le niveau de l'eau a tendance à monter et devenir une solution de plus en plus diluée se rapprochant du taux moyen de concentration de sel des deux solutions. (fig.2) jusqu'à atteindre un état d'équilibre appelé "équilibre osmotique". (fig.3)

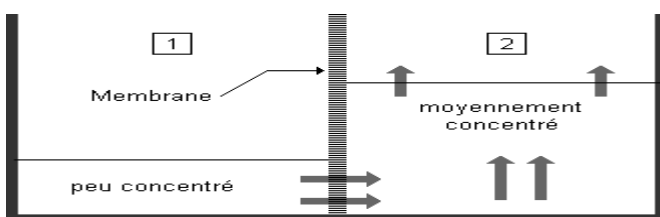


Fig. 2

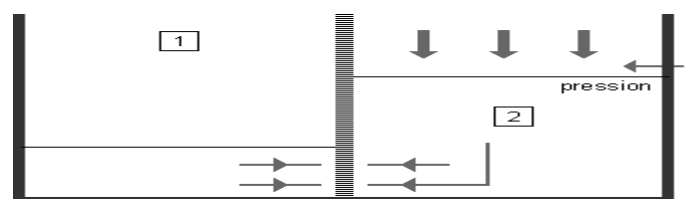


Fig. 3

Figure II.2 : L'équilibre osmotique [15].

L'osmose inverse, comme son nom l'indique est en fait le même processus inversé. Le bassin 1 de la fig. II-3 est vide au départ. En appliquant sur la partie la plus concentrée (partie 2 de la fig. II-3) une pression mécanique, comme celle du réseau urbain, supérieure à cette pression d'équilibre osmotique, on inverse le sens du courant et on provoque une production d'eau pure à partir de l'eau très saline. (fig. II-3). Le sel restera au fond du bassin 2 [15].

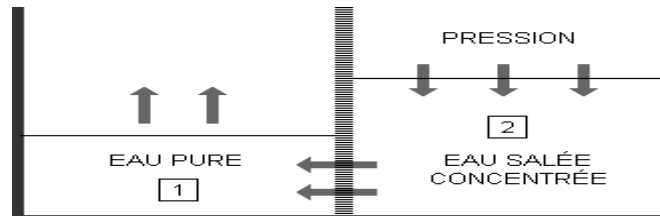


Figure II.3: Osmose inverse [15].

II.3 Pression osmotique

La pression osmotique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en

$$\text{soluté} : \Pi = i * C * R * T$$

Où i est le nombre d'espèces d'ions constituant le soluté, C la concentration molaire du soluté (mol/l), T la température (K) et R la constante des gaz parfaits ($0,082 \text{ bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). Π est exprimée en bar. Cette relation est valable pour des solutions diluées [9].

II.4 Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure II.4.

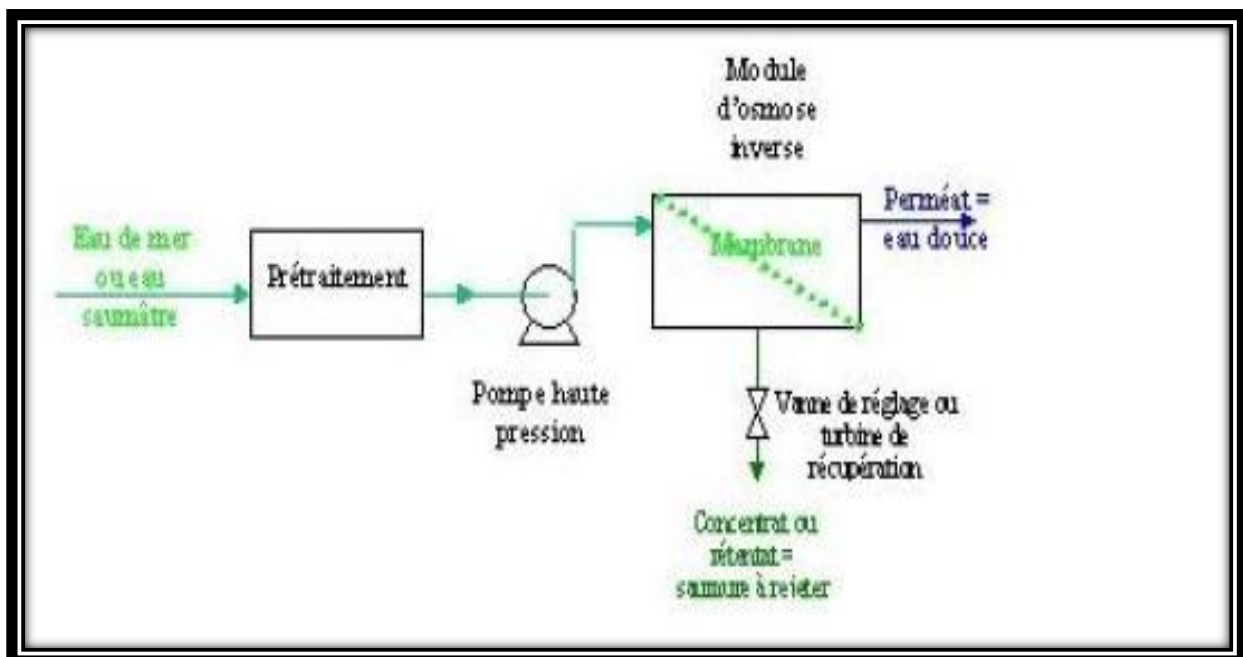


Figure II .4 : Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse [4].

- La membrane proprement dite ;
- Le module ;
- La pompe haute pression ;
- Eventuellement un système de récupération d'énergie ;
- Le poste prétraitement.

L'écoulement du fluide sur la membrane est continu et tangentiel comme cela est expliqué sur la figure II.5. 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 ou perméat (Q_p) ;

Une partie qui ne passe pas à travers la membrane appelée concentrât ou retentât (Q_c) et qui contient les ions, molécules, retenues par cette dernière.

L'objectif de l'écoulement tangentiel est d'éviter, autant que faire se peut, l'accumulation continue sur la membrane des espèces (particules, molécules, ions) retenues par cette dernière [9].

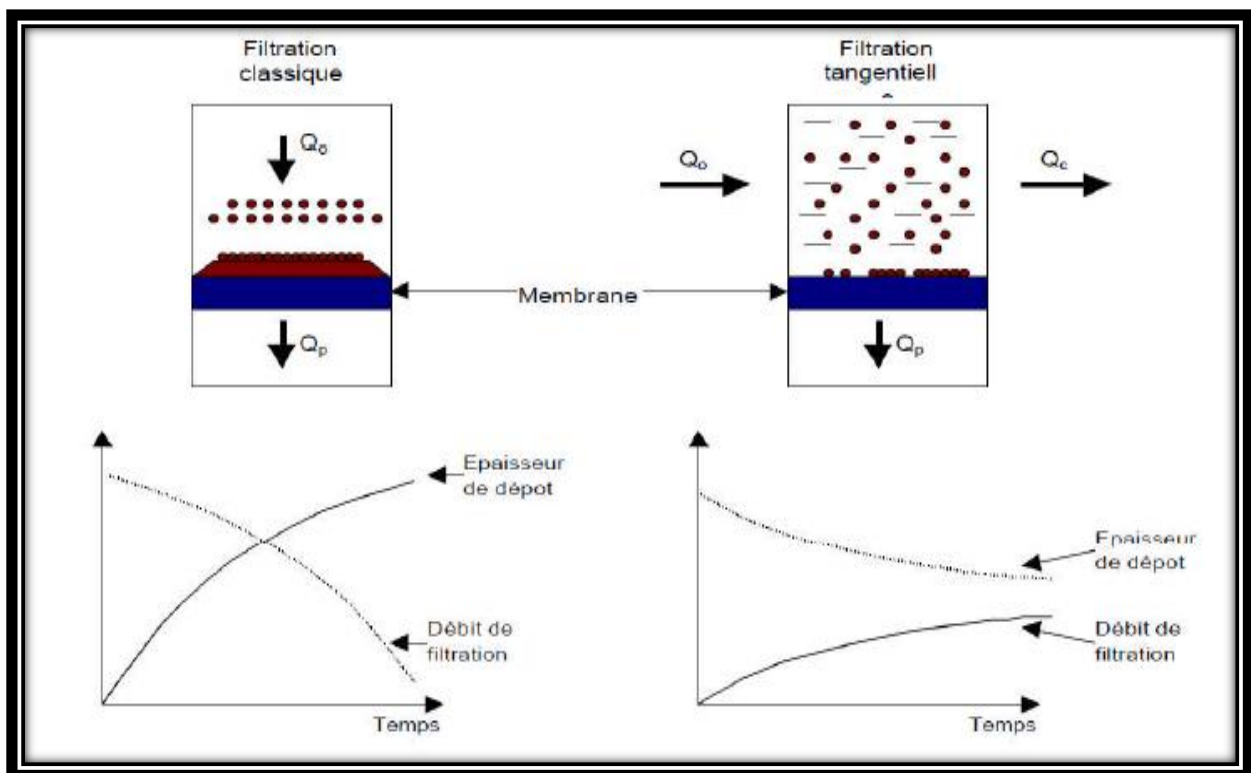


Figure II.5: Comparaison entre filtration frontale et filtration tangentielle [16].

II.5 Mécanisme diffusionnel

En osmose inverse les transferts de solvant et de soluté se font par **solubilisation - diffusion**: toutes les espèces moléculaires (soluté et solvant) se dissolvent à travers la

membrane et diffusent à l'intérieur de celle-ci comme dans un liquide sous l'action d'un gradient de concentration et de pression.

Le flux massique Solvant ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de solvant et le débit volumique de solvant ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) traversant la membrane est donné par les relations:

$$J_{\text{solvant}} = A * (\Delta P - \Delta \Pi) \text{ et } QP = A \rho * S * (\Delta P - \Delta \Pi)$$

- Où A est la perméabilité de la membrane au solvant ($\text{m}^{-1}.\text{s}$) ;
- S : la surface de la membrane (m^2) ;
- ρ la masse volumique du solvant (kg.m^{-3}) ;
- ΔP la différence de pression de part et d'autre de la membrane (Pa) ;
- $\Delta \Pi$: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

$\Delta \Pi$ est la pression osmotique du flux d'alimentation si le perméat est une solution très diluée.

Les pressions sont exprimées en pascals. Le flux massique $J_{\text{soluté}}$ ($\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de soluté traversant la membrane est donné par la relation:

$$J_{\text{soluté}} = B * (C_0 - C_P)$$

Où

- B : est la perméabilité moyenne de la membrane au soluté (m.s^{-1}).
- C_0 et C_P : sont respectivement la concentration en soluté de l'alimentation et du perméat de part et d'autre de la membrane (kg.m^{-3}).

On montre donc que le flux de solvant est proportionnel à la pression efficace $\Delta P - \Delta \Pi$ tandis que le flux de soluté en est indépendant. On montre également quel taux de rejet d'une membrane augmente lorsque la pression efficace augmente [14].

II.6 Phénomènes de polarisation

Les membranes utilisées ayant la propriété d'effectuer des séparations à l'échelle moléculaire, entraînent une accumulation progressive des espèces arrêtées à la surface de la membrane. C'est le phénomène de polarisation de concentration. Les conséquences de ce phénomène sont les suivants :

- Diminution du flux de perméat ;
- Diminution de la sélectivité ;
- Colmatage dû à des précipitations [9].

II.7 Phénomènes de compactage

Même en absence de dépôt, le débit d'une unité d'osmose inverse diminue progressivement au court du temps. Cette diminution de la perméabilité des membranes au

court du temps est due à l'action de la pression sur le polymère membranaire. Ce phénomène qui s'apparente à un fluage est appelé compactage [9].

Tableau II.1 : Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse [17].

<i>Paramètre</i>	<i>Signification</i>	<i>Relation</i>
<i>pression transmembranaire (PTM)</i>	force agissante de l'opération définie par la moyenne des pressions alimentation, P_A , et rétentat, P_R , à laquelle on soustrait la pression du compartiment perméat, P_p .	$PTM = \frac{P_A + P_R}{2} - P_p$
<i>Flux de perméation</i>	productivité du procédé défini par le débit de perméation, Q_p , divisé par la surface membranaire. Il représente aussi la vitesse du fluide perpendiculaire à la surface de la membrane.	$J = \frac{Q_p}{S}$
<i>taux de rejet (ou taux de rétention)</i>	sélectivité du procédé : un taux de rejet de 1 signifie que le soluté est parfaitement retenu par la membrane (la concentration dans le perméat $c_p=0$) alors qu'un taux de rejet de 0 correspond à un soluté non retenu, concentration identique dans le perméat c_p et le rétentat c_R ($c_p=c_R$).	$R = 1 - \frac{c_p}{c_R}$
<i>Perméabilité de la membrane au solvant, L_p</i>	paramètre intrinsèque de la membrane décrivant sa résistance hydraulique, R_m , vis à vis du solvant : (en $m \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1}$ ou $l \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot bar^{-1}$)	$J = L_p PTM = \frac{PTM}{R_m}$
<i>Taux de conversion</i>	fraction de liquide qui traverse la membrane	$Y = \frac{Q_p}{Q_A}$

II.8 Les membranes d'osmose inverse

II.8.1 Les membranes

La membrane est une structure poreuse avec des pores de l'ordre de 0,1 à 10 μm pour la microfiltration, 10 nm à 1 μm pour l'ultrafiltration, quelques nm pour la Nano filtration et une structure dense pour l'osmose inverse. Le seuil de coupure est défini par la masse molaire du soluté le plus petit retenu à 90 %.

Les matériaux synthétiques à la base des membranes sont des polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfone ...) ou de matériaux inorganiques (ZrO_2 , TiO_2 , alumine). Leur structure asymétrique est constituée d'un support macroporeux (pour la tenue mécanique) et d'une peau ou couche superficielle (pour la sélectivité). Le but est d'assurer une bonne sélectivité avec une faible résistance au transfert tout en ayant une bonne tenue mécanique [17].

II.8.2 Types de membranes d'osmose inverse

Dans la pratique, on trouve :

II.8.2.1 Les membranes en acétate de cellulose:

Ce type de polymère est le plus ancien .c'est en effet vers 1957 qu'une équipe de chercheurs de l'université de Californie à Los Angeles, qui a étudié la semi-perméabilité de film organique vis-à-vis de solution aqueuses de chlorure de sodium, découvrit qu'un film d'acétate de cellulose non traité, permettait d'obtenir avec une solution aqueuses de chlorure de sodium à 3.72 %, sous une pression de 85.8 bar, un taux de rejet de 94.4 % et un débit d'eau à travers la membrane de 1.22 l/m²/jour.

L'étape suivante, en 1960 fut la réalisation par LOEB et SOURIRAJAN d'une membrane d'acétate de cellulose par la méthode d'inversement de phase, permettant d'obtenir un débit d'eau potable de 5 l/h /m² à 20 l /h /m² sous une pression de fonctionnement de 103 à 137 bars, à partir d'eau de mer concentrée, contenant 5.25 % de sel dissous [9].

II.8.2 .2 Les membranes en polyamide:

Compte tenu des inconvénients de l'acétate de cellulose, des membranes de types polyamide/poly imide ont été développées .il existe plusieurs types de polymères caractérisées par une liaison amide dans la chaîne.

Les membranes en polyamide les plus répandues étaient commercialisées par DUPONT de NEMOURS sous forme de fibre creuse. Les fibres creuses sont fabriquées en continu selon la technique de séparation de phase [9].

II.8.2.3 Les membranes composites:

Les membranes composites sont apparues entre 1970 et 1980 et constituent un net progrès par rapport aux membranes asymétriques classiques. Ce sont en effet des membranes asymétriques dont l'épaisseur de la peau est nettement plus fine que celle des membranes classiques. Elles sont constituées de deux couches de polymères qui sont presque toujours de deux composés chimiques différents.

II.8.3 Le choix de type de membrane

Ce choix se fait tout d'abord par rapport à la séparation à réaliser : de façon générale la taille des pores est généralement 2 fois plus petite que l'espèce la plus petite à retenir (pour assurer une bonne rétention tout en limitant le colmatage en profondeur de la membrane). Le matériau doit être choisi afin de limiter les affinités avec les espèces du fluide à traiter (pour limiter les phénomènes d'adsorption). Il faut enfin satisfaire les contraintes du fluide (pH, température) et du domaine d'utilisation (stérilisation, agrément ...) et que le coût soit compatible avec la valeur ajoutée du produit [17].

II.9 Les modules

II.9.1 Les modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiels. C'est le seul type de module qui peut-être nettoyé mécaniquement avec un système de balles de mousse qui raclent les parois des tubes. L'écoulement à l'intérieur des tubes est turbulent, voire très turbulent. A cause de la taille des canaux tangentiels, cette configuration entraîne a priori une dépense d'énergie plus importante que dans les autres configurations [18].

II.9.2 Les modules fibres creuses

Les fibres creuses sont rassemblées en parallèle suivant deux configurations :

- ❖ Configuration Int-Ext (schéma a) : comme c'est le cas pour les modules tubulaires, l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangentiels canalisé à l'intérieur des fibres ;
- ❖ Configuration Ext-Int (schéma b et c) : l'eau circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres. L'écoulement entre les fibres est libre.

Dans les deux cas, les membranes sont rassemblées en faisceaux et leurs extrémités sont noyées dans des bouchons de colle qui isolent le perméat de l'eau à traiter. Un module industriel peut-être constitué de dizaines de milliers de fibres. Les fibres creuses supportent des rétro lavages. L'écoulement à l'intérieur des fibres creuses est, selon toutes probabilités, laminaire [18].

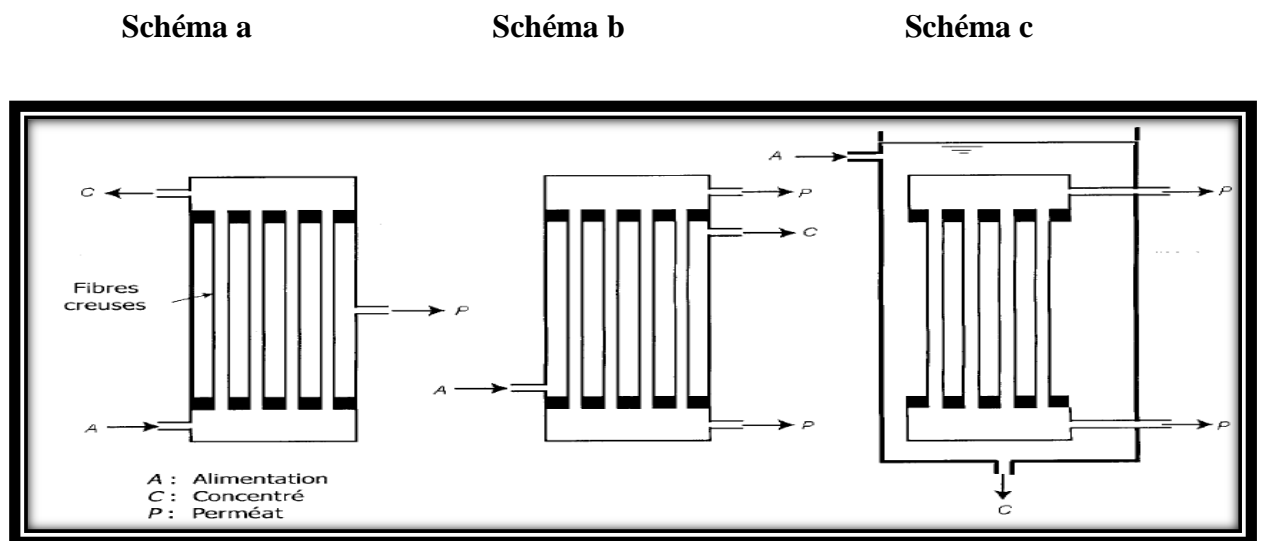


Figure II.6: Modules à fibres creuses [18].

II.9.3 Les modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides.

II.9.4 Les modules spiraux

Au sein des modules spiraux, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux [18].

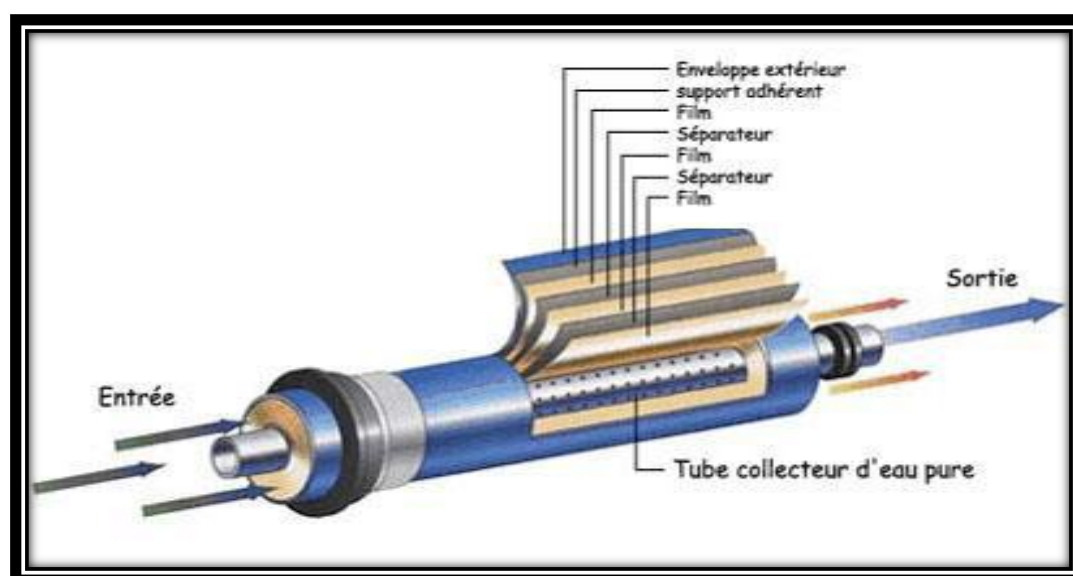


Figure II.7: Structure interne d'une membrane à spirale [19].

II.10 Procédés membranaire : ultrafiltration, microfiltration et Nano filtration

II.10 .1 La microfiltration

La microfiltration sur membranes fibres creuses (diamètre int/ext : 300/600 μm) est la technique la plus utilisée en prétraitement avant l'osmose inverse. Les membranes sont de type polymère (polypropylène avec des diamètres de pores compris entre 0,1 et 0,5 μm).

- Le mode de filtration est en général frontal, de l'extérieur de la fibre vers l'intérieur.
- Les pressions transmembranaires utilisées sont comprises entre 0,2 et 1,5 bar.
- Les débits spécifiques de filtration varient de 50 à 150 l/h/m². [9]



Figure II.8 : Membranes de microfiltration [9].

II.10.2 La Nano filtration

Cette technique se situe entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre (soit 10 Å) d'où son nom. Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 200 - 250 g/mol ne sont pas retenus par ce type de membrane [15].

II.10.3 L'ultrafiltration

L'ultrafiltration utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes).

Pour cette raison, cette technique est utilisée pour l'élimination de macro-solutés présents dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical [9].

II.11 Nettoyage des membranes OI

II.11.1 Retro lavage

Pour toutes ces raisons l'entretien de la membrane est très important pour cela nous devons laver la membrane périodiquement avec de l'eau et même avec de l'air en utilisant une compression bien étudiée.

II.11.2 Le nettoyage chimique :

1°/ - un réactif alcalin et complexant associé à un mouillant et des dispersants pour extraire les biofilms et les matières organiques.

2°/ - une solution d'acides organique et inorganique ainsi que des dispersants nécessaires au nettoyage des dépôts de fer et des dépôts inorganiques [11].

II.12 La consommation d'énergie

Le procédé d'osmose inverse ne faisait pas intervenir de changement de phase, doit présenter une consommation d'énergie plus faible que d'autres procédés de séparation tels que la distillation par exemple. D'autre part, ce procédé peut fonctionner dans des conditions très proches de la réversibilité.

En fait, la consommation d'énergie est toujours supérieure au minimum théorique et cela pour plusieurs raisons :

- Si l'on veut que le flux d'eau à travers la membrane ait une valeur acceptable, il est nécessaire que la pression de fonctionnement soit nettement supérieure aux conditions de réversibilité ;
- De manière à minimaliser les phénomènes de polarisation, les vitesses de passage dans les modules doivent être suffisamment élevées ;
- Dans le cas où aucun système de récupération d'énergie n'est prévu, les circuits de concentration est détendu à travers une vanne, d'où perte d'énergie [9].

II.12.1 Energie consommée en osmose inverse en l'absence de système de récupération

Soit un groupe électropompe portant un débit Q d'un liquide de densité d à la pression P , la puissance de pompage est égale à :

$$P_{KW} = Q.P.d/36,7.\eta_p$$

avec :

- P_{KW} (KW) : puissance de pompage ;
- Q ($m^3.h^{-1}$) : débit de la pompe ;
- P (bar) : pression de refoulement ;
- d : densité du liquide ;
- η_p : rendement du groupe électropompe.

L'énergie dépensée, ramenée au m^3 de perméat est égale à :

$$W = P_{KW}/Q_P = P.d/36,7.\eta_p.Y$$

avec

- Y le taux de conversion
- Q_P : le débit du perméat

Cette relation montre que la consommation d'énergie est :

- ❖ Proportionnelle à la pression de fonctionnement ;
- ❖ Inversement proportionnelle au taux de conversion ;
- ❖ Inversement proportionnelle au rendement du groupe électropompe [9].

II.12.2 Récupération d'énergie

Dans le cas où le coût de l'énergie est peu élevé, le circuit de concentration est détendu à travers une vanne, ce qui représente une perte d'énergie. On peut aussi envisager de récupérer l'énergie contenue dans la fluide haute pression soit au moyen d'une turbine soit au moyen d'un système à piston.

Si nous appelons ΔP la perte de charge dans le(s) module(s) et η_{turb} le rendement de la turbine ou de tout autre système de récupération, l'énergie récupérée est égale à :

$$W_{\text{turb}} = 1/36,7 \cdot (P - \Delta P) \cdot \eta_{\text{turb}} \cdot ((1/Y) - 1)$$

✚ L'énergie réellement consommée est donc égale à la différence entre l'énergie de pompage et l'énergie :

$$W = P \cdot d / 36,7 \cdot \eta_p \cdot Y - 1/36,7 \cdot (P - \Delta P) \cdot \eta_{\text{turb}} \cdot ((1/Y) - 1) \quad [9].$$

II.12.3 Différents systèmes de récupération d'énergie

La récupération d'énergie permet de diminuer le coût du m^3 de l'eau dessalée

❑ Installation avec récupération sur un turbo compresseur

Les grosses installations (Unités au-delà de 150 à 200 tonnes/jour) utilisent des systèmes à turbines qui remplace la vanne de régulation et permettent de récupérer 30% à 35% de l'énergie perdue au rejet [20].

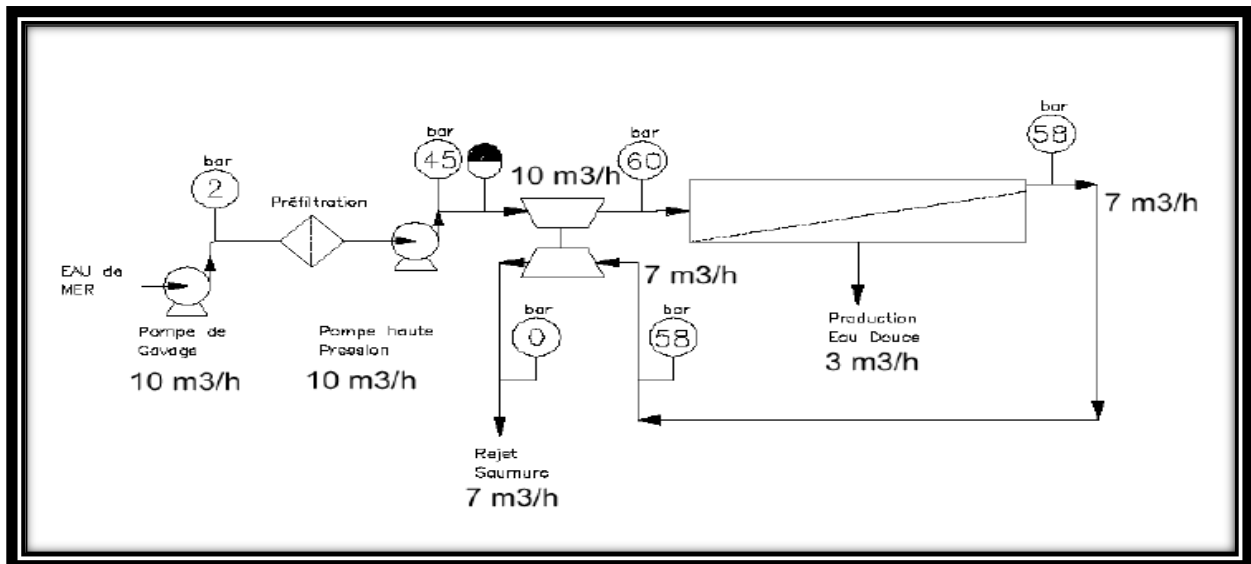


Figure II.9 : Installation avec turbocompresseur [20].

❑ Installation avec échangeur de pression (PX)

Permet de récupérer 95% de l'énergie du rejet de saumure, c'est le système d'échangeur de pression PX (Pressure Exchanger) de la compagnie américaine ERI.

L'échangeur de pression PX utilise le principe du déplacement positif pour permettre à l'eau brute d'être pressurisée directement par contact avec la saumure sortant sous pression du module membrane [20].

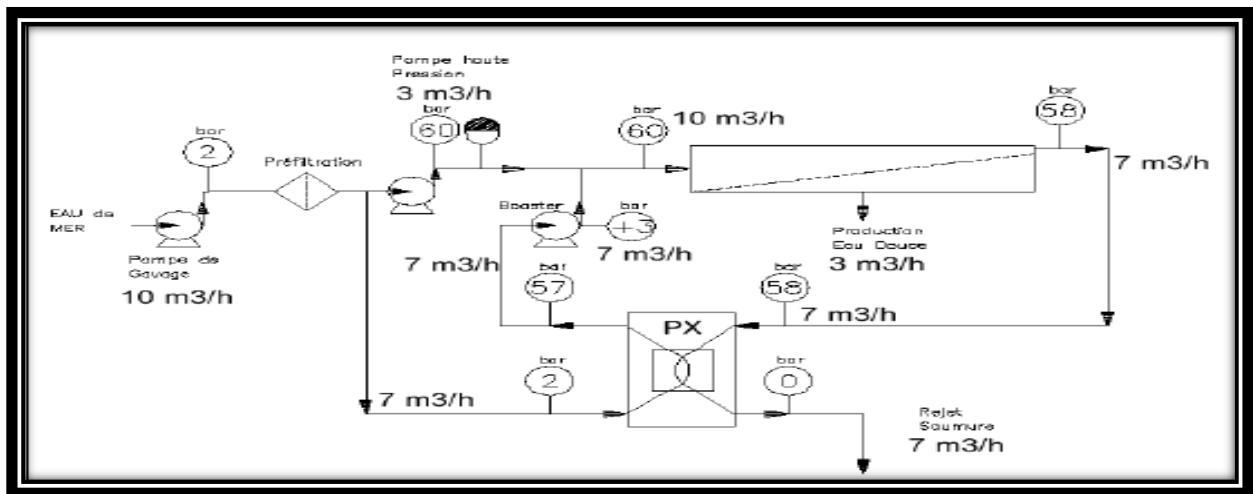


Figure II.10 : Installation avec échangeur de pression PX [20].

Il utilise un rotor cylindrique avec des canaux longitudinaux et parallèles à son axe de rotation pour transférer la pression du rejet à l'eau brute. Il tourne entre deux embouts fixes comportant les orifices d'entrée et de sortie pour la basse et la haute pression.

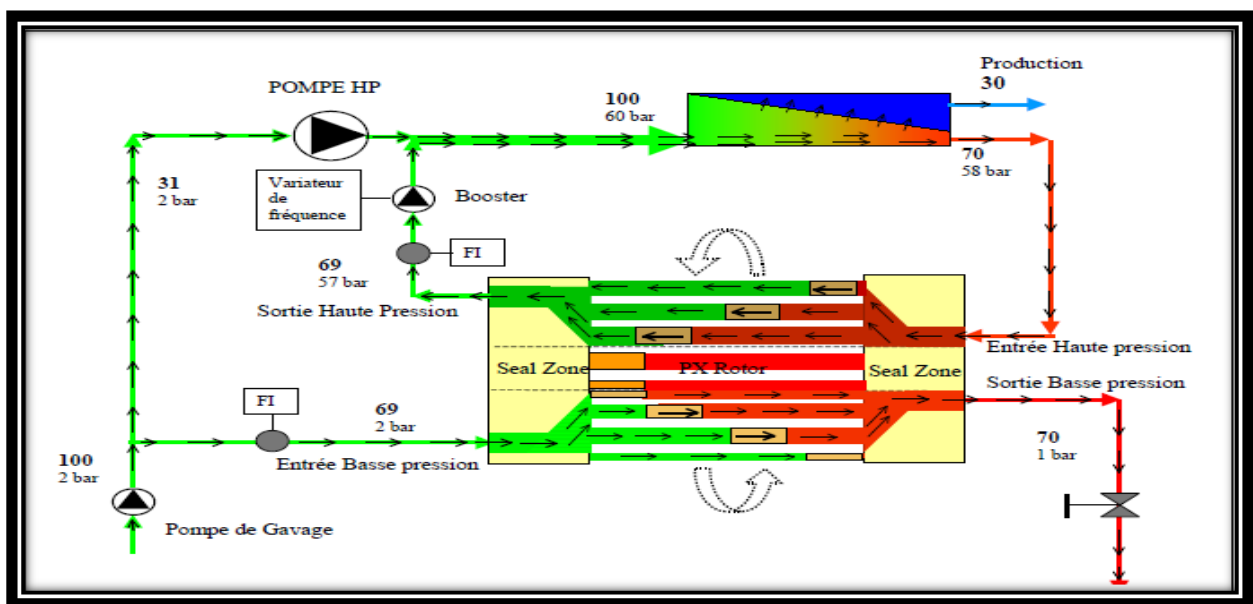


Figure II.11 : Echangeur de pression PX [20].

II.13 Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse

II.13.1 Les avantages :

- Technologie éprouvée qui a fait ses preuves avec succès. Peut être utilisée pour le dessalement de l'eau de mer, des eaux saumâtres même à forte salinité.
- Consomme moins d'énergie que les procédés thermiques.

- Cout d'investissement plus faible que les procédés thermiques.
- Nécessité moins d'eau d'alimentation que les procédés thermiques.
- Les membranes produites par différents fabricants sont interchangeables, ce qui permet de ne pas dépendre d'un seul fabricant.
- Démarrage et arrêt rapides.
- Le développement de nouvelles membranes à haute productivité, qui s'encrassent moins et consomment moins d'énergie, conduisent à des améliorations futures du procédé qui le rendent plus attractif.

II.13.2 Les inconvénients :

- Un système élaboré de prétraitement est nécessaire contrairement aux procédés thermiques.
- Utilisation un peu plus complexe par rapport aux procédés MSF et DME, exigeant un haut niveau de connaissances de la part des exploitants.
- Encrassement rapide des membranes.
- Le changement fréquent des conditions de fonctionnement et/ou les cycles fréquents de mise en route et d'arrêt peuvent réduire l'espérance de vie de la membrane [21].

II.8 conclusion

Comme pour les autres technologies de dessalement, (le rejet d'eau) et (la consommation d'énergie) constituent les principaux impacts environnementaux. La nature de l'eau rejetée varie selon l'étape de traitement correspondant à sa provenance.

Ainsi, l'eau rejetée suite au prétraitement lors du nettoyage des unités de filtration a une haute teneur de matières en suspension biologique, organique et minérale tandis que l'eau de rinçage du procédé a une salinité et une acidité plus grande et que l'eau provenant du nettoyage des membranes est alcaline ou acide avec une grande charge de matières en suspension. C'est sans compter les rejets d'eaux saumâtres suite au dessalement qui ont elles aussi une très grande salinité comparée au milieu récepteur.

De plus, les usines d'osmose inverse utilisent (des pompes à haute pression et des turbines) qui sont bruyantes et qui contribuent à la pollution sonore.

D'un autre point de vue, (les membranes de filtration ont une durée de vie limitée) et il faut prendre en considération que celles-ci deviennent des déchets à la fin de leur vie utile.



Chapitre III

La distillation



III.1 Introduction

Durant la seconde moitié du XX^{ème} siècle, les techniques de distillation se perfectionnent avec une amélioration et un rendement énergétique, en construisant des stations de grande capacité qui emploient le plus souvent les méthodes dites : distillation flash, distillation à effets multiples, distillation par compression de la vapeur et distillation solaire [7].

L'eau de mer est chauffée émet une vapeur d'eau pur qu'il suffit de condenser pour obtenir de l'eau douce. Ce principe de dessalement très simple est utilisé depuis de temps forts anciens [9].

III.2 Principe

La distillation consiste à séparer des liquides dont la température d'ébullition est différente. L'appareillage vraiment spécifique de la distillation est une colonne verticale appelée colonne à distiller. Celle-ci est garnie (plateaux ou garnitures diverses), qui permettent un contact entre vapeur et liquide qui y circule dans cette colonne, il y a équilibre thermodynamique entre les deux phases, en fonction de la température et des compositions respectives. Quand on chauffe le mélange en bas de la colonne (bouilleur), le produit à température d'ébullition la plus faible est évacuée en haut de la colonne, alors l'autre produit reste dans la partie basse du système [22].

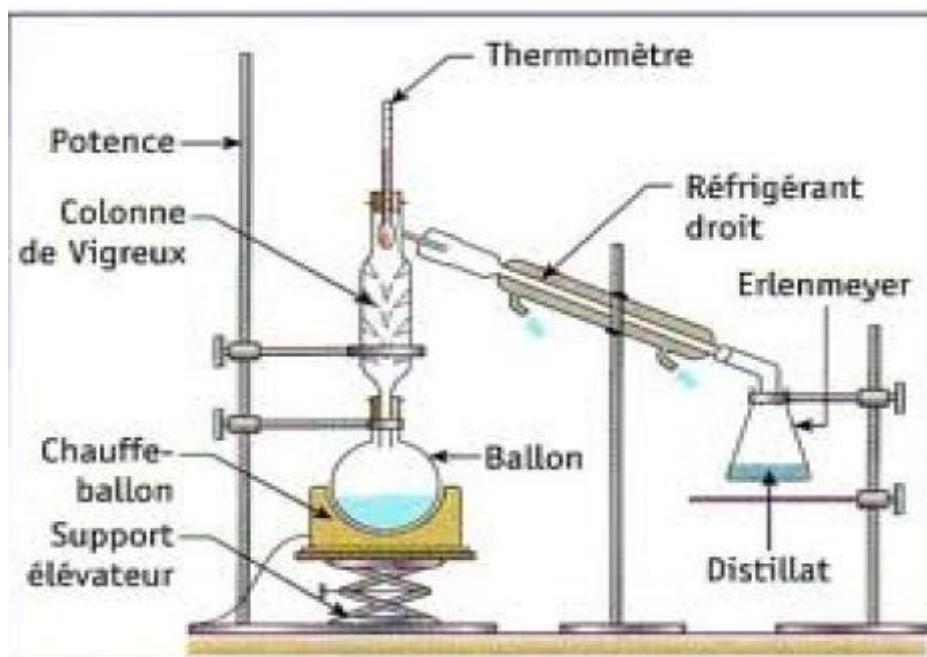


Figure III.1 : Principe de la distillation simple [22].

III.3 Les procédés de distillation

Les procédés les plus utilisés et qui sont susceptibles d'être couplés à une source d'énergie solaire sont:

Les procédés à distillation classique tel :

- le procédé à Multi-stage flash,
- à compression de vapeur.
- La distillation solaire directe [23].

III.3.1 Distillation à simple effet

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- 1) Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.
- 2) La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.
- 3) Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure.

Cette première solution est simple à mettre en œuvre et n'offre qu'un rendement réduit, aussi elle n'est utilisée que dans les navires disposant d'une source d'énergie thermique [7].

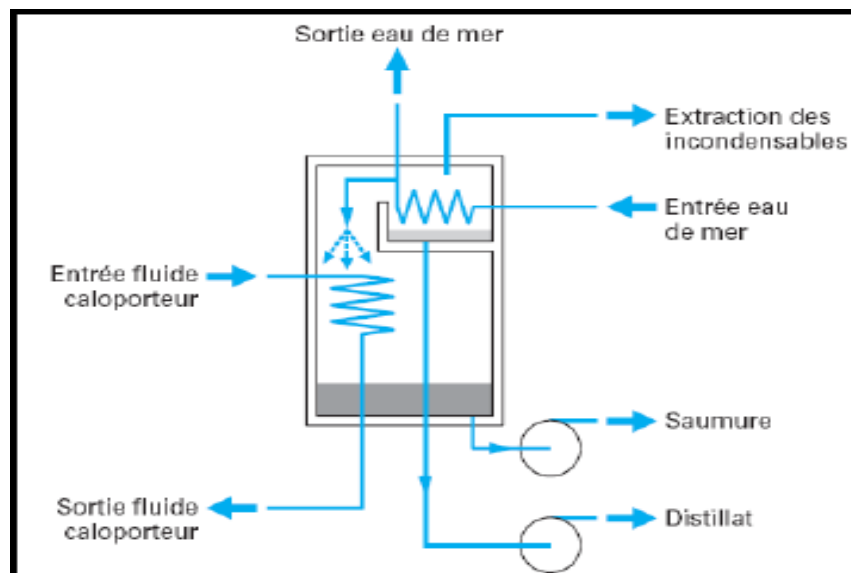


Figure III.2: Distillateur simple effet [7].

✚ La consommation d'énergie

Compte tenu de fait qu'une partie de la chaleur de condensation de la vapeur est utilisée pour préchauffer l'eau de mer, la consommation spécifique d'énergie est égale à :

$$Q=L + k. C_p. \Delta t$$

- Q : consommation spécifique d'énergie calorifique (KJ/Kg) ;
- L : chaleur latente de vaporisation de l'eau (KJ/Kg) ;
- K : rapport entre débit d'appoint d'eau de mer et le débit d'eau douce produite ;
- Δt : différence de température entre l'eau de mer en ébullition et l'eau de mer à la sortie du condenseur ($^{\circ}\text{C}$) ;
- C_p : chaleur spécifique à pression constante de l'eau de mer ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$). [9]

La chaleur latente de vaporisation de l'eau de mer est presque identique à celle de l'eau déminéralisée. Elle varie avec la température, comme l'indique le tableau ci-dessous :

Tableau III.1 : La variation de la chaleur latente en fonction de la température [9].

Température en $^{\circ}\text{C}$	60	75	100	125
Chaleur latente de vaporisation en kJ/kg (kcal/kg)	2357(563)	2319(554)	2257(539)	2185(522)

La chaleur spécifique de l'eau de mer est inférieure de quelques pour cent de celle de l'eau pure, et ceci d'autant plus que la concentration est élevé.

Tableau III.2: Variation de la chaleur spécifique en fonction de la concentration des sels [9].

	Eau pure	Eau de mer à 35 g/l	Eau de mer concentrée 2 fois
Chaleur spécifique à 25 $^{\circ}\text{C}$ (en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	4.178	4.035	3.851

III.3.2 Distillation à multiples effets (MED)

Il est donc apparu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur simple effet. Ceci a été obtenu grâce à la distillation à multiples effets. On sait en effet, que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faibles, et ainsi de suite [9].

Une amélioration significative de l'efficacité du système est apportée par la 'compression de vapeur' (MED-TVC) (Danis P., 2003) [7] :

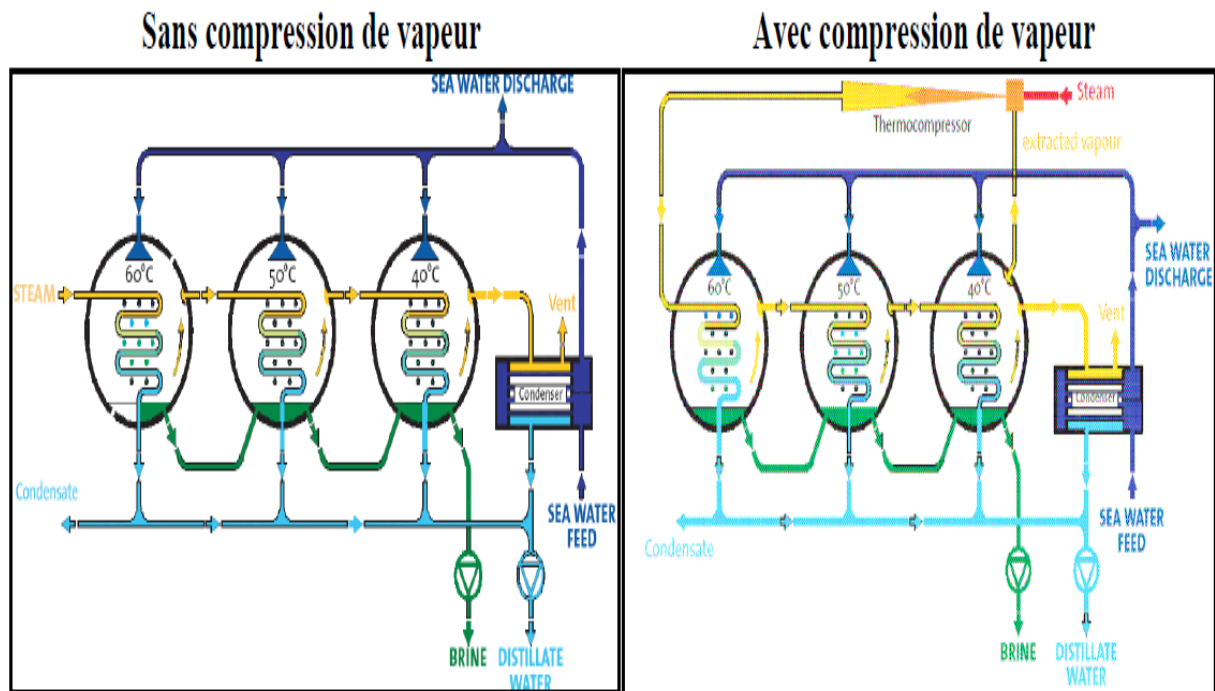


Figure III.3 : Distillateurs à effets multiples [7].



Figure III.4: Distillation (MED), Bahreïn [24].

✚ Consommation d'énergie d'une unité de distillation à multiple effets :

La chaleur à fournir à une unité de distillation à multiples effets est uniquement celle qui est nécessaire pour chauffer l'appoint d'eau de mer dans le premier effet et pour vaporiser la production de ce seul effet.

Si les productions des effets sont identiques, la consommation spécifique de chaleur est, en négligeant les pertes et certains effets secondaires :

$$Q=L/n + k. C_p. \Delta t$$

- Q : consommation spécifique d'énergie calorifique (KJ/Kg) ;
- n : nombre d'effets de l'installation ;
- L : chaleur latente de vaporisation de l'eau (KJ/Kg) ;
- K : rapport entre débit d'appoint d'eau de mer et le débit d'eau douce produite ;

- Δt : différence de température entre l'eau de mer en ébullition et l'eau de mer à la sortie du condenseur ($^{\circ}\text{C}$) ;
- C_p : chaleur spécifique à pression constante de l'eau de mer ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$) [9].

III.3.3 Procédé par détente successive ou procédé Flash (MSF)

Cette technologie est apparue en 1960 pour faire face aux problèmes d'entartrage que connaissent les procédés de distillation à multiples effets.

L'eau salée est introduite à T_0 et serpente à travers les différentes chambres en condensant de la vapeur au passage. Elle passe ensuite dans un réchauffeur où elle atteint T_{\max} puis elle est introduite dans le bas des chambres où elle se vaporise puis se condense sur le serpentin. L'eau condensée est récupérée alors que la saumure est évacuée. (cf réchauffage avec centrale thermique ou nucléaire) [7].

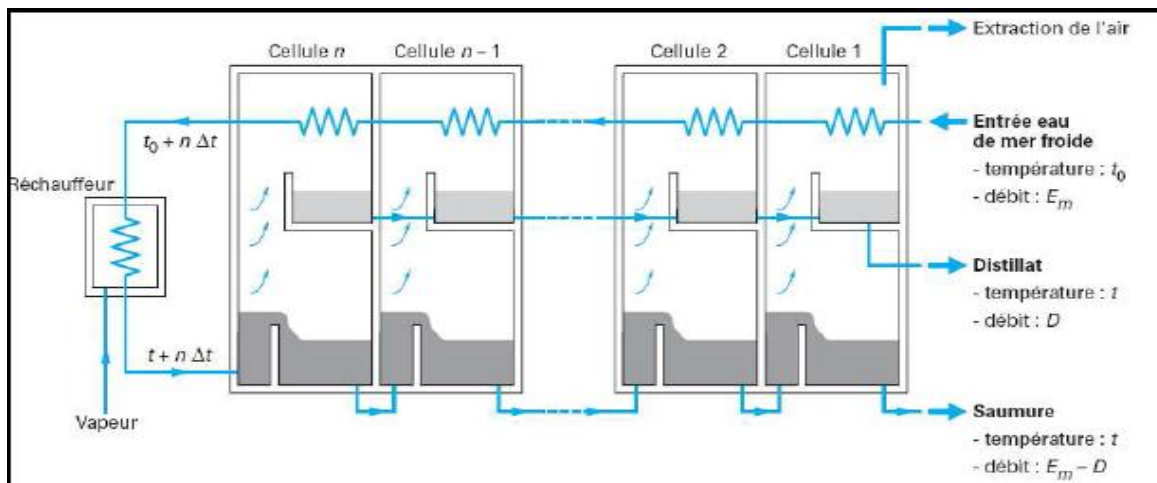


Figure III.5 : Distillateur par détente successive [7].



Figure III.6 : Distillation (MSF), Jebel Ali, Emirats Arabes Unis [24].

✚ L'usine de distillation MSF Jebel Ali

- 1 l d'eau de mer permet de produire 0.4 l d'eau distillée ;

- Le concentrât rejeté représente 0,6 l à une concentration de 50 à 85 g/l ;
- Energie consommée : 6 à 25 kWh/m³ en équivalent énergie électrique [24].

III.3.4 Distillation par compression de vapeur (MVC)

Dans ce procédé, l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte isolée thermiquement.

La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation.

Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée [7].

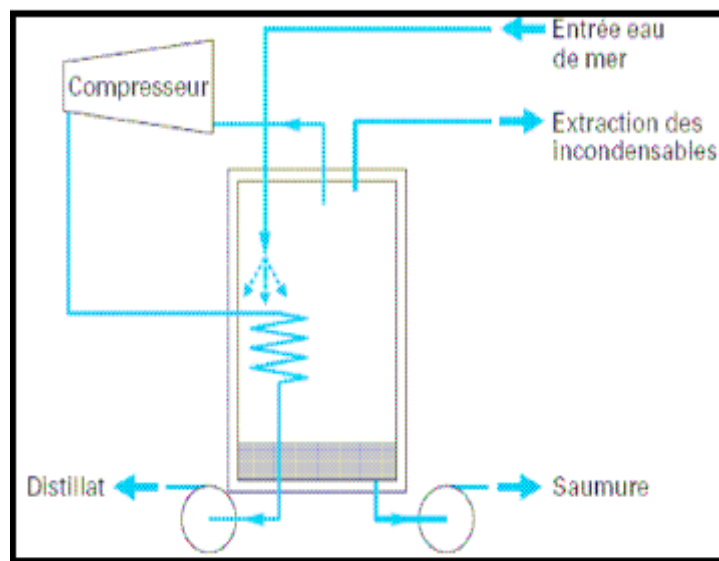


Figure III.7: Compression mécanique de vapeur [7].

✚ La consommation d'énergie de la compression de vapeur

L'énergie consommée correspond à l'énergie mécanique d'entraînement du compresseur. Si on donne aux caractéristiques de la vapeur, l'indice 1 à l'aspiration du compresseur et l'indice 2 au refoulement, l'énergie nécessaire pour comprimer adiabatiquement un volume de vapeur V_1 de pression P_1 à la pression P_2 (volume V_2), est égale à :

$$W=0,0641. (T_1/\eta_C). (r^2 - 1/r) \text{ en (KWh/m}^3\text{)}$$

Avec

- T_1 : la température de l'eau à l'aspiration ;
- r : le rapport entre la pression à l'aspiration du compresseur et la pression au refoulement= P_2/P_1 ;
- η_C : le rendement du compresseur [9].

III.3.5 Distillation solaire

Parmi les techniques de dessalement par changement de phase, il existe une technique ? ancienne et très intéressante, qui est d'un emploi commode dans les régions arides ensoleillée utilisant des distillateurs solaires, malgré qu'elle présente l'inconvénient de nécessiter des surfaces très importantes disponibles au sol et des investissements importants, elle présente un meilleur avantage car elle utilise une énergie gratuite. Cette technique est appelée: «Distillation Solaire».

➤ Principe

Tous les distillateurs solaires ont le même principe de fonctionnement; néanmoins, ils peuvent différer les uns des autres en conception et en matériaux. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre.

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire, pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau salée dans le bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de la température une partie de l'eau s'évapore. La vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer le sel [22].

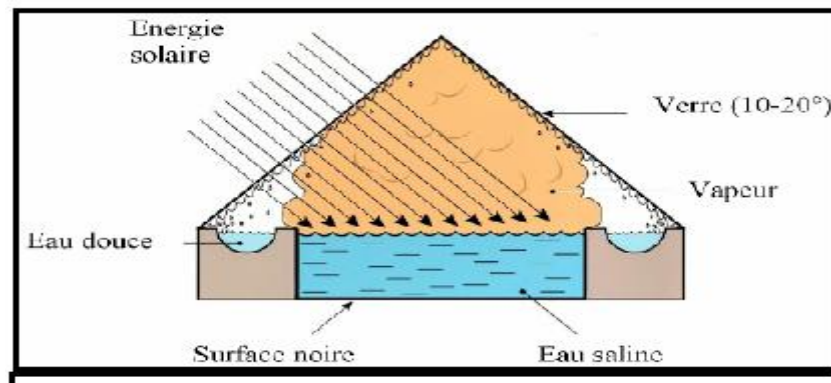


Figure III.8 : Distillateur solaire direct [9].

III.4 Perspective de la distillation

Les perspectives de développement de la distillation pour le dessalement de l'eau de mer sont importantes et ce d'autant plus que ce procédé présente des points forts déjà évoqués et que nous rappelons succinctement :

- 1) Les performances et les coûts de la distillation sont pratiquement indépendants de la salinité de l'eau de mer à traiter ;
- 2) Les procédés de distillation ne nécessitent pas de prétraitement sophistiqué de l'eau de mer : une filtration classique et une chloration pour éviter la prolifération d'organismes marins sont généralement suffisantes ;
- 3) La salinité de l'eau produite par distillation est très faible (de 5 à 30 mg/l). on peut même atteindre 1 mg/l ou moins si on le souhaite, grâce à l'utilisation de séparateurs performants dans les évaporateurs.
- 4) Une grande partie de l'énergie nécessaire (hors pompage et hors compression mécanique de vapeur) est constituée par de l'énergie à bas niveau (température comprise entre 80 et 110 °C) que l'on peut obtenir dans certains cas à des coûts très faibles, voire nuls (valorisation de rejets thermiques par exemples)[9].

III.5 Les avantages et les inconvénients de la distillation

III.5.1 Les avantages

- Technologie maîtrisée avec des centaines d'installations en fonctionnement dans le monde entier depuis plusieurs années et couronnées de succès.
- Nécessite un prétraitement minimal par rapport au procédé OI.
- Produit une eau très faible en TSD.
- Le procédé MSF dispose de la plus grande capacité installée parmi tous les processus de dessalement grâce à l'évolutivité, à la fiabilité et à la robustesse du procédé.
- La distillation nécessite une maintenance peu importante par rapport au dessalement par osmose inverse.

III.5.2 Les inconvénients

- Consommation généralement élevée d'énergie spécifique par rapport à l'OI. N'est rentable que si de l'énergie thermique à faible coût ou gratuite est disponible.
- L'énergie thermique nécessaire n'a quasiment aucune corrélation avec la salinité de l'eau d'approvisionnement et de ce fait, est peu rentable pour le dessalement des eaux saumâtres par rapport à l'OI et à l'ED.
- Les unités de petite capacité sont chères par rapport aux installations OI.
- Les besoins en produits chimiques pour la reminéralisation sont élevés comparés aux procédés OI.

- La forte probabilité d'entartrage due à la récupération élevée et la faible injection d'acide conduit à un encrassement important [19].

III.6 Conclusion

La distillation, même si elle comporte quelques inconvénients ou même si elle coûte assez chère, est un procédé couramment utilisé pour le dessalement de l'eau de mer. C'est aussi un des plus connus et un des plus simples à reproduire. Seule l'énergie nécessaire est difficile à amener.



Chapitre IV

Description de la station de dessalement de Honaine



IV.1 Description de la station de dessalement de Honaine



Photo IV.1 : Photo de la station de dessalement de Honaine

L'UTE Desaladora Honaine située à la plage Tefsout CW 104 Km 45 Honaine – Tlemcen, Gérer par GEIDA IDAM HONAINE.

La station de dessalement d'eau de mer de Honaine s'étend sur une superficie de 78 ha et d'une capacité de 200 000 m³/jour. Cette production est destinée au couloir est de la ville et alimentera une population de 500 000 habitants. Ces infrastructures ont été réalisées par une compagnie espagnole, et leur coût s'élève à 260 millions de dollars. Avec la mise en service de ces stations de dessalement, la wilaya de Tlemcen est donc à l'abri des pénuries d'eau et dispose même de grandes réserves pour parer aux effets de la sécheresse. Donc, le problème d'eau potable ne doit plus se poser pour l'ensemble des habitants de la wilaya, elle est en service depuis juillet 2012, le taux de conversion est de 47%.

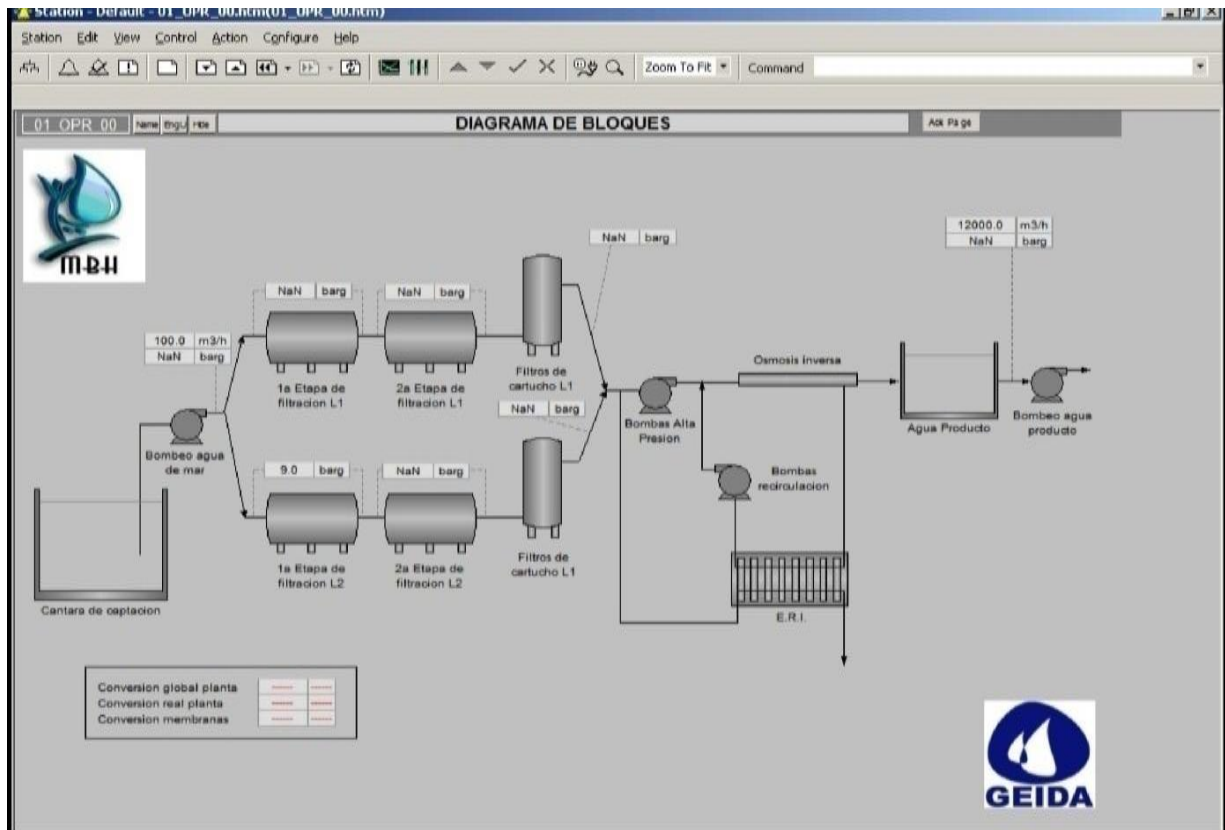


Photo IV.2: Schéma générale de la station de Honaine

IV.2 Captation d'eau de mer



Le captage va être effectué au moyen d'une tour de captage en béton armé. Cette tour a été conçue pour capter l'eau brute nécessaire à une production de 200.000 m³/jour, en tenant compte de la consommation interne de l'usine de désalinisation. La tour, de forme hexagonale, dispose de 6 fenêtres de 2,0*1,5 m de surface pour l'entrée d'eau brute, à une vitesse inférieure à 0,3 m/s. Les fenêtres d'entrée d'eau sont à 7,0 m (-11,00 m) au-dessus de la bathymétrie du fond marin afin d'éviter que, à cause de la houle, du sable et d'autres éléments présents au fond puissent s'introduire.

La hauteur des tours de captage est de 9,00 m par rapport à l'appui sur le fond marin (-18,00).

L'eau de mer, par le biais de l'émissaire de captage, entre dans la cuve d'eau de mer où elle sera préfiltrée à travers des grilles à gros et des tamis autonettoyants qui présentent un maillage de 1mm.

L'émissaire de captage contient 3 tubes intérieurs DN-50 en PE (polyéthylène) jusqu'à la tour de captage.

Le débit nécessaire à fournir à l'usine est de 18 934 m³/h, le débit d'eau qui doit être capté par la tour de captage est plus grand, car il comprend le débit nécessaire au nettoyage des tamis autonettoyants.

Les matériaux extraits des tamis rotatifs sont dirigés vers un bac où se trouvent des pompes d'extraction de matériaux en suspension.

Le groupe de pompage d'eau de mer comprend 11 (10+1) pompes, avec une capacité de pompage de 18 934 m³/h chance. Les dix pompes à eau d'eau de mer seront installées en parallèle, l'une d'entre elles étant en réserve [27].

Tableau IV.1 : Principales caractéristiques de fonctionnement de la station de dessalement de Honaine

Désignation	Unités	Valeurs
Production Continue Prévues	m ³ /j	203 .000
Nombre total d'unité installée	U	10
Température de travail minimum prévue	°C	18
Température de travail maximum prévue	°C	24
Type de membrane		A enroulement en spirale
Matériau de la couche active		Polyamide aromatique
Rejet minimum en sel	%	99.45
Nombre de membrane par cuve sous pression	U	07
Nombre d'étages	U	01
Débit spécifique maximum	l/m ² /h	13.96
Pression d'entrée dans les membranes	Bars	62
Pression de sortie des membranes	Bars	64.5
Pas N°1		
Nombre de membrane dans le premier étage /unité	U	1820
Nombre de Cuve sous pression dans le premier étage /unité	U	260
Modèle de membrane		SWC5
Châssis		
Nombre de tubes de pression /Colonne	U	12
Nombre de colonne	U	24
Nombre de vides pour tube de pression en réserve	U	28
Tuyaux de distribution dans le châssis		
Nombre de collecteurs verticaux de distribution	U	2

IV.3 Le prétraitement

IV.3.1 Dosage d'hypochlorite de sodium

Cette opération s'effectue au niveau de la tour de captage de l'eau de mer ou dans l'aspiration des pompes à eau de mer ou dans l'impulsion de ces dernières, au moyen de deux citernes d'hypochlorite de 140 m³ de capacité chacun. L'injection d'hypochlorite s'effectue à l'aide de 4+1 pompes de dosage, l'une d'elle étant en réserve. Pour le remplissage des réservoirs on installera une pompe de transvasement de 33 m³/h de débit. L'ajout du produit s'effectuera dans la cuve de captage ou dans l'aspiration des pompes à eau de mer ou dans l'impulsion des pompes à eau de mer.

IV.3.2 Dosage de chlorure ferrique

Deux autres citernes de FeCl₃ munies de « 4 +1 » pompes sont utilisées. Ce dosage a été utilisé dans la phase de mise en marche de l'installation.



Photo IV.3 : Le captage de l'eau de mer

IV.4 Système de filtration

IV.4.1 Filtres presse

48 filtres presse sont installés dans la première étape, et 32 filtres dans la seconde étape de filtration pour l'élimination d'autres particules présentes dans l'eau brute.

Chaque filtre héberge à l'intérieur une plaque support équipée des buses correspondantes sur lesquelles on situe le lit filtrant. Ils ont installé un total de 50 buses par mètre carré de surface du filtre.

Les buses sont en plastique résistant à l'eau de mer. La disposition des filtres est cylindrique horizontale avec des fonds de type korboggen.

Les filtres sont de 3,7 m de diamètre et 11 m de longueur cylindrique, ce qui équivaut à une surface efficace d'environ 40,31 m². La vitesse de filtration en opération normale dans la

première étape est de 9,4 m/h et dans la deuxième étape de 14 m/h. les filtres seront munis des buses de visite nécessaire pour leur inspection et entretien. Ils ont aussi des drainages, des aérations et l'instrumentation correspondante, ainsi qu'un jeu de vannes automatiques nécessaires pour effectuer l'opération de nettoyage et de mise en service d'une manière totalement automatique. En outre, on pourra modifier les temps de chacune des phases.

Dans les deux étapes on va utiliser deux couches de sable et l'antracite de différente granulométrie pour réaliser deux coupes.

Dans la première étape de filtration on va employer :

- Dans la couche supérieure : 600 mm de hauteur de lit d'antracite de 0,4-1,6 mm de taille effective.
- Dans la couche intermédiaire : 400 mm de hauteur de lit de sable de 0,4-0,8 mm de taille effective.
- Dans la couche inférieure : 100 mm de hauteur de lit de gravier 1,4-2,5 et 100 mm de hauteur de lit 4,0-8,0 de taille effective.

Dans la seconde étape de filtration on va employer

- Dans la couche supérieure : 700 mm de hauteur de lit de sable de 0,4-0,8 mm de taille.
- Dans la couche intermédiaire : 200 mm de hauteur de lit de granuler de 0,55 mm de taille effective et 1,4 de coefficient d'uniformité.
- Dans la couche inférieure : 100 mm de hauteur de lit de gravier 2 mm de taille effective et 1,4 de coefficient d'uniformité [27].



Photo IV.4 : Les filtres à sable

IV.5.2 Nettoyage des filtres

L'objectif de ce système est de nettoyer les filtres de la saleté qu'ils ont retirée de l'eau de mer et qui provoque que la perte de charge augmente dans le filtre. Comme tous les filtres de chacune des étapes, ils sont connectés à un collecteur commun de sortie, la pression différentielle pour tous les filtres d'une même étape est identique, c'est pour cela que cette valeur n'est pas, en principe, celle que l'on doit prendre comme critère de nettoyage d'un filtre.

Pour cette raison, un plus grand encrassement d'un filtre se traduit par un plus petit passage de débit d'eau de mer à travers le filtre, c'est le paramètre qui nous indiquera l'état d'encrassement d'un filtre. Les critères de nettoyage sont les suivants :






Si la pression différentielle entre l'entrée et la sortie est supérieure ou égale à 0,7 bars, on doit nettoyer tous les filtres, en commençant par celui où passe le plus petit débit et en continuant avec tous les autres dans le sens du plus petit au plus grand débit . Après le nettoyage la perte de charge sera inférieure à 0,25 bars. Il faut contrôler que la pression dans l'aspiration des turbopompes pendant le procédé n'est pas inférieure à 2 bars car dans ce cas, un déclenchement se produira dans l'usine.



Si la pression différentielle est inférieure à 0,7 bars mais le débit dans un filtre est de 80 % du débit qui passe par le filtre de plus grand débit, il faut effectuer un nettoyage du filtre où passe le moins d'eau.

Le nettoyage des filtres sera effectué avec de la saumure provenant de l'usine de dessalement par trois pompes centrifuges, l'une d'elle étant en service. Le débit des pompes est suffisant pour que la vitesse de nettoyage soit de 46 m/h, ce qui est approprié pour offrir un nettoyage efficace. En plus de l'eau de nettoyage grâce aux pompes décrites, nous disposerons de deux souffleuses de 2,109 Nm³/h chacune, une opérationnelle et autre en réserve. L'intégration du groupe soufflant permet d'assurer un nettoyage efficace. Le groupe soufflant dispose de son propre filtre à air, d'un silencieux, de vannes de sécurité et d'isolement, ainsi que des sections de canalisation avec manomètres et accessoires correspondants.

Pour abriter le matériel de nettoyage des filtres, nous projetons un bâtiment où se trouvent :

-  3 pompes de nettoyage ;
-  3 soufflantes ;
-  Une salle de tableaux électriques [27].

IV.4.3 Filtres cartouche

L'eau filtrée des filtres presseurs est envoyée au procédé de microfiltration par des filtres à cartouche avec un dosage de métabisulfite de sodium (deux citernes) et deux citernes d'anticristant pour empêcher la formation de calcaire avant l'entrée de l'eau filtrée dans les filtres à cartouche.

Les filtres à cartouche sont équipés de cartouche de polypropylène de filtrage en profondeur avec un pouvoir de coupure de 15 microns absolus, avec un efficacité dans le remuage de particules de 99,6 %, avant et après les filtres à cartouche on installera des prises d'échantillon de SDI de l'eau, afin de déterminer l'efficacité du filtrage et la qualité de l'eau avant d'entrer dans les membranes. Le changement des cartouches des filtres est une opération manuelle.



Photo IV.5 : Les filtres à cartouche

IV.5 L'osmose inverse

- ◆ Les membranes doivent accomplir une série de conditions :
 - ✓ Résister aux pressions auxquelles on va soumettre la solution pour inverser le processus.
 - ✓ Suffisamment perméable à l'eau pour fournir un flux élevé.
 - ✓ Rejeter un pourcentage élevé de sels pour obtenir un produit de qualité.
- **Châssis à membrane, pompe à haute pression, pompe de recirculation et système d'échange de pression.**

La conception réalisée de l'usine de désalinisation correspond à un pas d'une étape, en installant pour chaque châssis 222 module de 7 éléments de type SWC5 max de hydranautics. L'usine est constituée de dix lignes, la capacité de production nominale de chacune étant de 20 300 m³/jour. Le facteur de conversion de l'usine est de 47 %.



Photo IV.6: L'osmose inverse

Le système d'osmose inverse a été conçu pour pouvoir travailler avec une pression et un débit constant, c'est pourquoi on a incorporé un variateur de vitesse dans les pompes de recirculation et une vanne de contrôle à la sortie du produit de membranes. De cette manière, on optimise énergétiquement le fonctionnement du groupe pompe à haute pression, des systèmes d'échange de pression et de la pompe de recirculation. Le fonctionnement s'adapte aux variations de température de l'eau de mer et ou aux variations d'encrassement des membranes.

Les opérations de déplacement et de nettoyage chimique des châssis à membranes sont des opérations manuelles. Les pompes de déplacement et de nettoyage chimique sont identiques, de manière à pouvoir être utilisées indifféremment (2+1). Le matériel de nettoyage chimique est employé lorsque l'on atteint un encrassement visible dans les membranes, ou bien lorsqu'un nettoyage est nécessaire pour un type de contamination spécifique. Il est constitué de deux réservoirs d'accumulation de 100+100 m³ dans lesquelles est dissous le réactif approprié pour éliminer l'encrassement des membranes.

A cause du volume nécessaire au nettoyage, l'agitation se fait grâce à deux pompes qui font circuler le réactif plusieurs fois à l'intérieur de la membrane. Il y a en outre des résistances électriques de chauffage dans la recirculation, un thermomètre, un pH mètre et dans la citerne une mesure visuelle du niveau et une alarme de niveau maximal et minimal.

◆ **Pompage d'eau à haute pression**

Les pompes à haute pression impulsent la solution à traiter vers les membranes à la requise par celles-ci. Elles ont une grande importance car ce sont celles qui consomment la plus grande partie d'énergie du processus.

◆ Reconversion d'énergie

Dans le processus d'osmose inverse, dans lequel une partie importante des coûts de fonctionnement correspondent à l'énergie électrique consommée dans le pompage à haute pression, une série d'amélioration a été incorporé dans le but de minimiser les consommations énergétiques.

◆ Echangeur de pression

Les échangeurs de pression sont des dispositifs qui transférant directement la haute pression de la saumure de rejet à l'eau de mer sans la convertir au préalable en énergie mécanique de rotation [27].

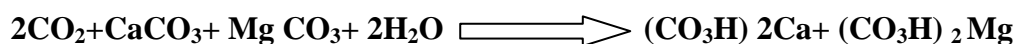
IV.6 Poste traitement

L'eau traitée provenant des châssis à membranes est traitée avec un système d'ajout de CO₂ et des tours de calcite.



Photo IV.7 : Les réservoirs de CO₂ (Station de Dessalement-Honaine)

Par le dosage du CO₂ pour réduire le pH jusqu'à 5 et pour rendre plus efficace le processus de reminéralisation par les tours de calcite. Les réactions qui ont lieu sont :



Dix (10) tours sont installés, annexes de la citerne d'eau produit et ayant chacune une surface de 56,345 m². Il existe à l'intérieur un double-fond avec des tuyaux de distribution sur lequel est situé le lit de dolomites ou de calcites d'une hauteur de 2,86 m. la composition de la calcite est du carbonate de calcium et du carbonate de magnésium (dans le cas de la dolomite CaMg (CO₃)₂) dans une proportion de 55 % et 44 % respectivement, c'est pourquoi la pureté totale sera de 99 %. L'eau, en passant par le lit, s'équilibre automatiquement, en dissolvant la quantité de carbonates nécessaire pour

atteindre le pH d'équilibre. Les tours de calcite sont atmosphériques. L'eau entre dans les tours par le bas et ressort par le haut, ce qui évite le bouchage des tuyaux, car les fins déchets produits par la dissolution de la dolomite sont envoyés vers le haut et entraînés à l'intérieur de la citerne de stockage.

Le processus de chargement de la calcite s'effectue de façon manuelle, au moyen d'un palan.

Le matériel de dosage d'hypochlorite de sodium emploiera des réservoirs de stockage différents de ceux du prétraitement à cause des distances existantes entre le captage et les pompes de produit. Nous installerons deux citernes de 30 m³ et trois pompes doseuses dont une en réserve.



Photo IV.8: Les tours de calcite.

IV.7 Pompage du produit

A l'aide d'une dizaine de pompes l'eau traitée est pompée vers le réservoir de stockage afin de la distribuer par l'ADE, tandis que le rejet de saumure sera évacué par un émissaire marin pénétrant jusqu'à 1000 m dans la mer dans le but d'assurer une meilleure dilution et d'éviter des conséquences indésirables pour l'environnement [27].



Chapitre V

Matériels et Méthodes



V.1 Introduction

L'eau pour la déclarer potable, doit satisfaire à des critères la rendant propre à la consommation humaine. En plus d'être agréable au goût, elle doit répondre aux exigences de normes internationales contenues dans les directives de l'OMS.

Elle ne doit contenir ni microbes ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être d'une épidémie.

Des analyses sont faites pour vérifier que l'eau distribuée est exempte entrainerait un risque pour la santé des consommateurs. Ces analyses sont régulières, systématiques et constantes.

V.2 Méthodes d'analyse physico-chimique

Pour faire une étude qualitative de l'eau de mer traitée après le processus de dessalement, une analyse sensorielle des propriétés organoleptique constitue un des premiers indices de la potabilité de l'eau traitée.

V.2.1 Prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau pour l'analyse physico-chimique standard est soumis à la procédure suivante :

- Le contenant doit être propre, mais ne doit pas être nécessairement stérilisé.
- Le robinet doit être débarrassé de tout accessoire complétant son bec comme les aérateurs, grillages, pompes d'arrosage, tubes en caoutchouc. S'il est impossible d'enlever ces accessoires, il faut choisir un autre robinet (écarter les robinets en plastique).
- L'échantillon doit provenir du robinet d'eau froide lequel ne doit pas être connecté à un système de traitement individuel (dans le cas d'une analyse d'eau brute).
- Afin de s'assurer que l'eau prélevée est représentative de celle circulant dans le système de distribution, il faut laisser couler l'eau à un débit moyen avant de prélever un échantillon.
- S'il s'agit d'un échantillon chloré, réaliser la mesure de chlore résiduel libre.
- Pour certain analyses mesurer la température de l'eau.
- Ouvrir l'emballage, le remplir et le fermer immédiatement.

- Le formulaire de demande d'analyse rempli soigneusement doit toujours accompagner l'échantillon :
 - ❖ Lieu de prélèvement ;
 - ❖ Date et l'heure de prise ;
 - ❖ Valeur obtenus de chlore ;
 - ❖ Type d'analyse à réaliser ;
 - ❖ Personne qui réalise la prise ;
 - ❖ Observation, s'il y en avait.
- Mettre l'échantillon dans une glacière pour son transport au laboratoire [28].

V.2.2 Paramètres Organoleptiques

V.2.2.1 Test de Couleur

Norme acceptable dans l'eau : 15 unités de couleur vraie.

Le contrôle de la coloration des échantillons se fait par simple observation de l'eau contenue dans des flacons de verre transparent.

V.2.2.2 Test de l'odeur et la saveur

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

V.2.2.3 Turbidité

Norme acceptable dans l'eau : 3 UTN

La turbidité donne à l'eau une apparence trouble. Ceci est dû principalement à la présence des matières en suspension dans l'eau. La turbidité occasionne des dépôts dans la tuyauterie et les réservoirs créant ainsi un milieu propice à la prolifération des bactéries.

- ❖ **Méthodes** : le procédé présent est basé sur la mesure de la turbidité par la méthode néphélométrique (lumière dispersée à 90°)
- ❖ **Discussion générale** : La turbidité de l'eau est produite à cause des matériaux en suspension comme l'argile, la boue ou matières organiques finement divisées, composants organiques solubles colorés, planctons et autres microorganismes.
- ❖ **Matériel** : Turbidimètre



Photo V.1 : Turbidimètre

❖ **Procédure :**

1. Remplir la cuvette jusqu'à la marque indiquée avec le prélèvement à analyser.
2. Sécher le reste d'eau avec un papier.
3. Nettoyer bien la cuvette avec le chiffon spécial pour elle à lequel on a ajouté une goutte d'huile de silicone.
4. Insérer la cuvette dans le turbidimètre, lire le résultat [27].

V.2.3 Paramètres Physico-chimiques :

V.2.3.1 Potentiel d'hydrogène (pH) : norme acceptable dans l'eau : entre 6,5 et 8,5 sur l'échelle pH

Le pH est une mesure de l'activité des ions hydrogènes contenus dans l'eau. D'une façon plus simple, le pH exprime le niveau d'acidité de l'eau. Le pH se mesure sur une échelle de 0 à 14. Un pH neutre se situe à 7,00. Il est à noter qu'un pH de 6,00 est dix (10) fois plus acide qu'un pH de 7,00 et un pH de 6,00 est 100 fois plus acide qu'un pH de 8,00. Un pH acide dans l'eau aura pour effet de corroder la tuyauterie causant des dommages irréversibles. Un pH alcalin (basic) favorisera le dépôt de minéraux.

❖ **Méthode :** méthode potentiométrique électro-métrique.

❖ **Discussion général :**

Le pH (activité de l'ion H^+) indique le caractère acide ou basique d'une solution à une température déterminée.

La mesure du pH se réalise par mesures potentiométrique utilisant une électrode patron d'hydrogène et un autre de référence.

❖ **Matériel :**

- pH-mètre avec électrode (et sonde de température)
- vases de précipitations.

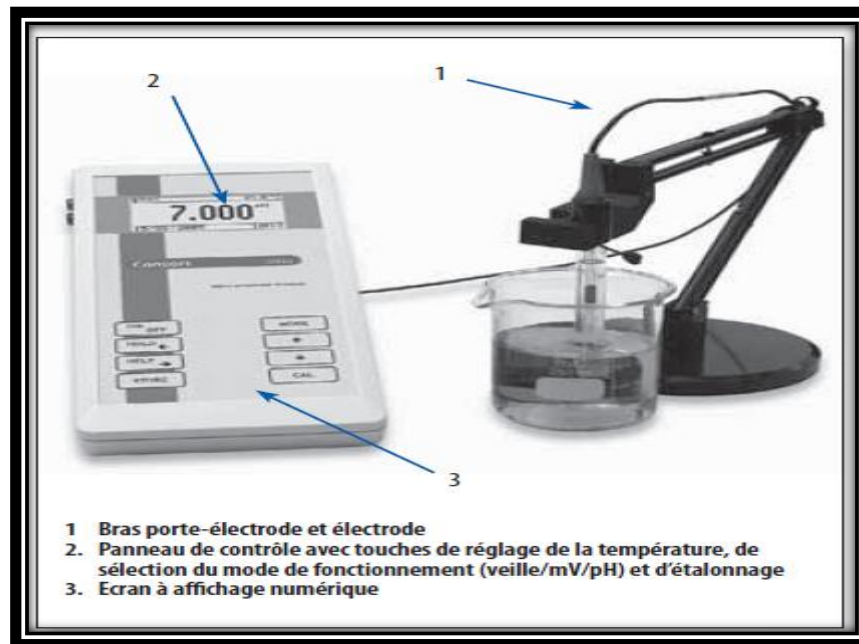


Photo V.2: pH-mètre

❖ **Procédure :**

Calibré le pH mètre en suivant les indications de fabricant.

Libérer l'électrode du reste de la solution de maintenance dans lequel il est submergé en le lavant avec de l'eau distillée et le séchant avec papier absorbant.

Submergé l'électrode (ensemble avec l'électrode pour la mesure du T) dans le prélèvement comme indiqué dans les instructions du fabricant et prise de lecture.

Laver biens l'électrode avec eau distillé et bien sécher. Laisser encore une fois l'électrode submerge dans la solution de maintenance [28].

V.2.3.2 Température (T°) :

❖ **Méthode :** méthode potentiométrique électro-métrique.

❖ Discussion général :

La lecture de la température est utilisée dans le calcul des différentes formes d'alcalinité, dans les études de saturation et stabilité par rapport au carbonate de calcium dans le calcul de la sa limite et dans les opérations générales du laboratoire.

❖ Matériel : Thermomètre

- ❖ **Procédure :** Submergé le thermomètre dans le prélèvement et noter la lecture de la mesure. Laver la cellule avec eau distillée. Mesure ce type d'analyse aucune mesure de sécurité spécifique n'est nécessaire [28].

V.2.3.3 Chlore résiduel libre (hypochlorite de sodium):

Norme habituelle : entre 0,3 à 1,0 milligramme par litre

Le chlore (hypochlorite de sodium) est beaucoup utilisé dans les réseaux publics puisqu'il est un agent efficace pour assurer le contrôle microbiologique. Le chlore résiduel est celui que l'on mesure après l'oxydation de toutes les substances rencontrées dans l'eau.

❖ Méthode : méthode comparative**❖ Matériel :**

- Compareur de chlore à lecture directe/à disque
- D.P.D (La diéthyl-p-phénylènediamine) : est une amine aromatique utilisée comme réactif pour le dosage du chlore [28].

V.2.3.4 Conductivité : normes acceptable dans l'eau : 750 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Le rang de mesure est : 1413 à 12800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C.

La conductivité de l'eau exprime la teneur en minéraux. Sa valeur varie en fonction de la température. Le point de repère utilisé est à 20°C.

❖ Discussion générale :

La conductivité est une expression numérique de la capacité d'une solution pour transporter un courant électrique. Cette capacité dépend de la présence des ions et de leurs concentrations totales, de leur mobilité, valence et concentrations relatives ainsi comme leurs températures de mesure.

L'unité de mesure du système international $\mu\text{S}/\text{cm}$.

❖ Matériel :

Conductimètre avec une cellule de conductivité et électrode pour la compensation de la température. La conductivité de l'eau traité y d'osmose se mesure à 20°C, alors que la conductivité de l'eau salée (eau brute, eau sortie filtres de sable, eau sortie filtres à cartouche et eau de rejet) se mesure à 25°C.

❖ Procédure :

Suivre les instructions du manuel

1. Vérifier le conductimètre en suivre les instructions du fabricant.
2. Submergé la cellule de conductivité dans le prélèvement comme l'indique les instructions du fabricant et noter la lecture de la mesure.
3. Laver la cellule avec eau distillé et sécher avec papier absorbant [28].

V.2.3.5 Les particules en suspension:** Matières en suspension**

La détermination des matières en suspension de l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. Les matières grossières en suspension doivent être préalablement éliminées par passage sur un tamis (module AFNOR 38) et les dépôts restant dans le flacon de prélèvement soigneusement repris. Il convient d'effectuer la détermination de plus rapidement possible après le prélèvement et de préférence sur la totalité de l'échantillon : rincer le flacon de prélèvement pour éviter les pertes.

Méthodes par filtration**❖ Principe**

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

❖ Matériel spécial

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression (100 000 à 200 000 Pa).
- Disques filtrantes en fibre de verre (plusieurs types de disques commerciaux sont disponibles, la porosité la plus communément utilisée est 1.2 µm)



Photo V.3: Balance électronique



Photo V.4: Étuve

❖ Mode opératoire

Laver le disque de filtration à l'eau distillée, le sécher (105°C) jusqu'à masse constante, puis le peser près après passage au dessiccateur. Le mettre en place sur l'équipement de filtration. Mettre en service le dispositif d'aspiration ou de pression. Verser l'échantillon (V) l sur le filtre. Rincer la fiole ayant contenu l'eau à analyser avec 10 ml d'eau permutée. Faire passer sur le filtre cette eau de lavage.

Laisser essorer le filtre, sécher à 105°C pendant 2h. Laisser refroidir au dessiccateur et peser.

❖ Expression des résultats

La teneur de l'eau en matières en suspension (mg/l) est donnée par l'expression :

$$M_1 - M_0$$

- M_0 = masse du disque filtrant avant utilisation (mg) ;
- M_1 = masse du disque filtrant après utilisation (mg).
- Le volume d'eau utilisée est de 1 l [28].

V.2.3.6 Alcalinité (TA-TAC)

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et d'hydroxydes.

- **Détermination du TAC**
- Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de rouge de méthyle et titrer avec le même acide jusqu'à virage du jaune au jaune orangé ($\text{pH}=4,3$) de la coloration orange.

Soit V' le volume d'acide 0.02 N versé depuis le début du dosage.



Photo V.5 : Détermination de l'alcalinité

❖ **Expression des résultats**

1) TA :

- $V/5$ exprime le TA en milliéquivalents par litre.
- V exprime le TA en degré français.

2) TAC :

- $(V-0,5)/5$ exprime le TAC en milliéquivalents par litre.
- $V-0,5$ exprime le TAC en degré français [29].

Le tableau ci-après permet d'obtenir la teneur en différents sels à partir du TA et du TAC. La teneur en mg/l des sels présents dans l'eau s'obtient en multipliant le chiffre de la deuxième colonne par les valeurs de TA ou TAC correspondantes.

Tableau V.1 : La teneur des sels dissous suivant la valeur de TA et TAC [30].

Sels dissous	mg/l par degré français	Valeurs respectives des titres TA et TAC				
		Si TA=0	Si TA<TAC/2	Si TA=TAC/2	Si TA>TAC/2	Si TA=TAC
OH	3,4					
CaO	5,6					
Ca(OH) ₂	7,4					
MgO	4,0	0	0	0	2TA-TAC	TAC
Mg(OH) ₂	5,8					
Na(OH)	8,0					
CO ₃	6,0					
CaCO ₃	10,0					
MgCO ₃	8,4	0	2TAC	TAC	2(TAC-TA)	0
Na ₂ CO ₃	10,6					
HCO ₃	12,2					
Ca(HCO ₃) ₂	16,2					
Mg(HCO ₃) ₂	14,6	TAC	TAC-2TA	0	0	0
NaHCO ₃	16,8					

V.2.3.7 Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

Dureté ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond à la somme des ions calcium et magnésium.

Dureté ou titre hydrotimétrique (TH) par titrimétrie à l'EDTA

Cette méthode permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium; avec certaines précaution, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

❖ Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediaminetétracétique à pH=10. La disparition des dernières

traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

❖ **Réactifs**

- Solution de noir ériochrome T à 0.5 %.
- Solution tampon pH 10.
- Solution de l'EDTA :
- Solution étalon de calcium à 0.04008 g/L.

❖ **Mode opératoire**

Introduire 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4mL de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. la solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

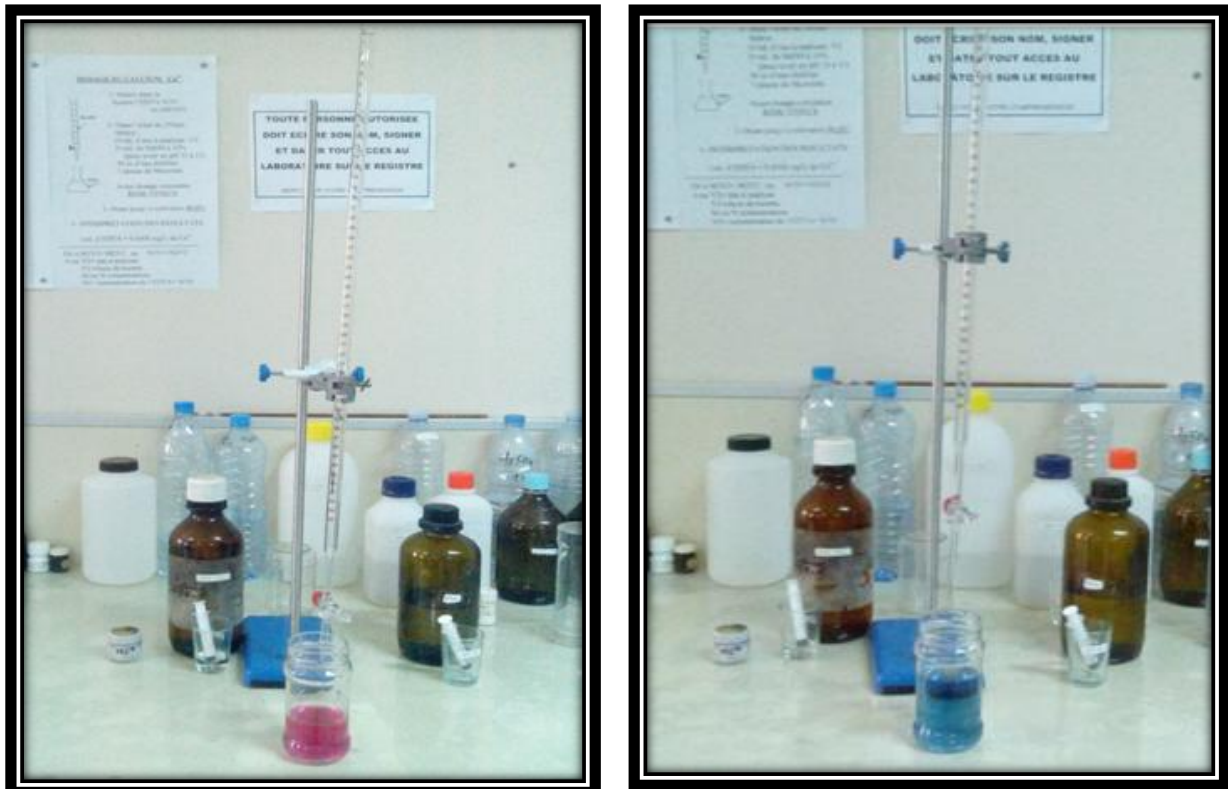


Photo V.6 : Détermination de TH

❖ Expression des résultats

La concentration totale en calcium et en magnésium, exprimée en milliéquivalents par litres, est donnée par l'expression :

$$\frac{C * V1}{V2} * 1000$$

- C= concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA
- V1=Volume en ml de la solution de l'EDTA
- V2= Volume d'échantillon. [29]

V.2.3.8 Mesure de Calcium

Calcium : cation présent dans les eaux de manière naturelle qui donne à l'eau une dureté

❖ Méthode titrimétrique (par dosage)

❖ Réactifs

- Solution d'EDTA 0.02 N
- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH
- Indicateur coloré murexide.

❖ Mode opératoire

Dans une erlenmeyer de 250 ml on prélève 50 ml d'eau à analyser, on ajoute 2mL de la solution de NaOH jusqu'à ce qu'il ait un pH de 12 et une pincée de murexide ou calcon carboxylique remuer soigneusement pour homogénéiser la solution et on titre avec l'EDTA jusqu'au virage du fuchsia au mauve.

❖ Expression des résultats

$$T \text{ en } Ca^{2+} = (N_{EDTA} * V_{EDTA}) * 1000 / V_0 * 20 \text{ (mg/L)}$$

V_0 : volume de l'échantillon

20 : masse atomique de Ca [28].

V.2.3.9 Mesure de Magnésium

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

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

La dureté magnésienne est calculée par la formule suivante :

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

V.2.3.10 Mesure de Chlorure

L'ion chlore est indispensable à l'équilibre hydrique de l'organisme et il est présent naturellement à faible dose dans les eaux minérales. Cependant, une pollution industrielle peut l'enrichir accidentellement, jusqu'à des concentrations impropres à la consommation.

Les chlorures sont présents en grande quantité dans l'eau de mer ($\pm 19\text{g/l}$). Leur concentration dans l'eau de pluies est approximativement de 3mg/l . dans les eaux souterraines, leur concentration dépend des roches traversées. Les sols pollués par l'industrie chimique sont très riche en chlorures. [31]

Méthode de Mohr

❖ Mode opératoire

1. Mettre dans la burette AgNO_3 N/10 ;
2. Dans l'eren de 250 ml mettre :

100 ml d'eau analysé, 3 gouttes de solutions de chromate de potassium à 10°C (K_2CrO_4) ;

La solution à une coloration avant dosage jaune. Doser jusqu'à coloration rouge.

La couleur rouge doit persister [29].



Photo V.7 : Détermination de chlorure

❖ Expression des résultats

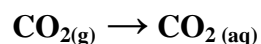
La concentration en chlorure, exprimée en mg/l, est donnée par l'expression

$$V \text{ (ml)} * 10 * 3,55$$

V = le volume en ml de la solution d'AgNO₃ [29].

V.2.3.11 Dosage du CO₂ dissous

Le CO₂ contenu dans l'eau peut se dissoudre dans l'eau de mer selon la réaction :



En moyenne 30% du CO₂ émis dans l'atmosphère est absorbé par les océans. Cependant, ce processus ne se fait pas de manière homogène dans les différents bassins du monde. En effet, cette réaction de dissolution est exothermique et est donc favorisée à basse température. Ainsi les océans froids absorbent beaucoup plus de CO₂ que les océans chauds. Cette propriété peut avoir une autre conséquence : l'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère va engendrer une augmentation de température à la surface de la Terre et donc

des océans. Ainsi ces derniers pourront moins absorber de CO_2 et celui-ci va s'accumuler de manière plus importante dans l'atmosphère et donc accentuer le réchauffement de la planète.

Mécanisme d'acidification Dans l'eau, le CO_2 dissous est sous la forme de H_2CO_3 : un diacide de pK_a 6,4 et 10,3. La répartition des différents acides et bases reliés à H_2CO_3 est représenté ci-dessous :

Or actuellement l'eau de mer à un pH compris entre 8,1 et 8,3 donc le H_2CO_3 ne va pas s'accumuler mais va majoritairement se transformer en sa base conjuguée HCO_3^- par la réaction $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$. L'acidité de la mer va ainsi augmenter. Une faible partie du HCO_3^- va réagir pour donner des ions carbonates CO_3^{2-} qui sont à l'origine des minéraux calcaires comme nous l'expliquerons dans la deuxième partie[32].

Méthode volumétrique

❖ Mode opératoire

1. Mettre dans la burette NaOH N/44 ;
2. Mettre dans l'eren de 100 ml :

100 ml d'eau analysé, 1 à 2 gouttes de phénolphthaléine 0,1 %, si la coloration rose pas de CO_2 si non doser jusqu'à coloration rose [29].



Photo V.8 : Détermination de CO_2 dissous

❖ **Expression des résultats :**

La concentration en CO₂, exprimée en mg/l, est donnée par l'expression :

$$V \text{ (ml)} * 40$$

Soit V = le volume en ml de la solution NaOH. [29]

V.2.3.12 Estimation de la minéralisation globale de l'eau à analyser :

Tableau V.2 : Valeurs du facteur permettant d'évaluer la minéralisation globale d'une eau à partir de la conductivité à 20 °C [33].

Conductivité μS.cm-1	Minéralisation mg.l-1
$\chi < 50$	1,365079.χ
$50 < \chi < 166$	0,947658.χ
$166 < \chi < 333$	0,769574.χ
$333 < \chi < 833$	0,715920.χ
$833 < \chi < 10\ 000$	0,758544.χ
$\chi > 10\ 000$	0,850432.χ

V.2.3.13 Mesure des solides dissous totaux ou salinité (TDS)

Les sels dissous totaux représentent une évaluation totale des sels minéraux contenus dans l'eau (en solution). Au niveau de laboratoire de la station de dessalement de Honaine, la mesure de la concentration des solides dissous se fait par le rapport entre conductivité (μs/cm) et concentration ionique (ppm), qui s'exprime par :

$2 \times (\text{conductivités}) \text{ en } \mu\text{s/cm} = 1 \times (\text{TDS}) \text{ en ppm}$ (partie par million), où 1 ppm = 1 mg/l correspond à la concentration en solide dissous. et même à l'aide appareil multi-paramètre (HANNA, Hi 991300).

❖ **Matériels et réactifs**

- Un Becher.
- conductimètre

❖ **Mode opératoire**

Après avoir étalonné le conductimètre ; Mettre ensuite environ 100ml d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du conductimètre pour mesurer Les TDS exprimée en mg/l [28].

V.2.3.14 Mesure de l'indice de Langelier ou pH de saturation (LSI)

L'indice de saturation ou indice de Langelier permettant de déterminer la stabilité du carbonate de calcium dans l'eau .il indique si l'eau va précipiter, dissoudre ou être en équilibre avec le carbonate de calcium. Dans le laboratoire de la station de dessalement de Honaine, le calcul de l'indice de saturation est basé sur les valeurs de l'alcalinité, pH, T°, et la dureté ; qui se fait à l'aide d'un calcul informatique (intégrateur) selon la norme Standard Méthodes (SM 2330) [28].

❖ Méthode pour le calcul :

$$\text{LSI} = \text{pHA} - \text{pHS}, \text{ où}$$

pHA= pH actuel de l'eau

pHS= PH de saturation ou pH à partir duquel on obtient l'équilibre calcocarbonique de l'eau.

V.2.3.15 Dosage de sulfate

A) Traçage de courbe d'Etalonnage :

1. Mettre 20 ml de BaCl₂ 0,5 M dans un bécher ;
2. Mettre la solution de 20mg/l de SO₄²⁻ dans la burette N1 ;
3. Dosez jusqu'à disparition des traits de papier utilisé, noter le volume V1 pour 20 mg/l de SO₄²⁻ (20 ml de SO₄²⁻ +180 d'eau distillée= 200 ml) ;
4. Recommencer 1 et 2 avec les solutions 40, 60, 80, 100, 150, 200 ;
5. Tracer la courbe $V_n = f(\text{SO}_4^{2-})_n$

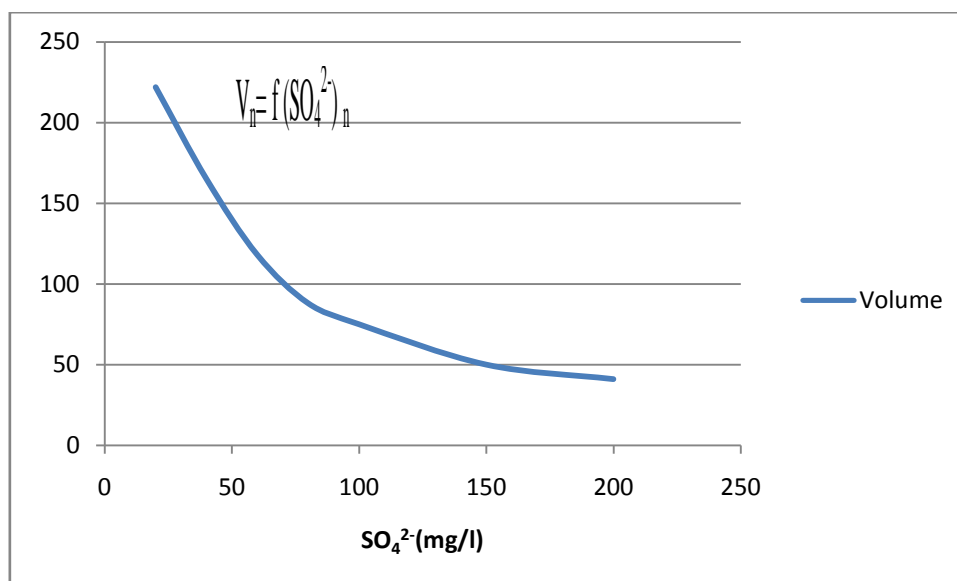


Figure V.1: la courbe d'étalonnage

❖ Mode opératoire

B) dosage de l'eau à analyser :

1. Mettre l'eau à analyser dans la burette ;
2. Mettre 20 ml de BaCl_2 0,5M dans le bécher ;
3. Doser avec l'eau à analyser (bien mélangé) jusqu'à disparition des traits ;
4. Noter le volume V de burette.

❖ Expression des résultats

Faite le lecteur à l'aide de la courbe d'étalonnage. [30]

● Ions majeurs dans l'eau de mer méditerranée

Tableau V.3 : Les proportions des ions majeur dans l'eau de mer méditerranée

Espèce	% en masse	% en mole
Cl^-	55,16	48,76
Na^+	30,69	41,85
Mg^{2+}	3,677	4,741
SO_4^{-2}	7,729	2,522
Ca^{2+}	1,174	0,918
K^+	1,134	0,912

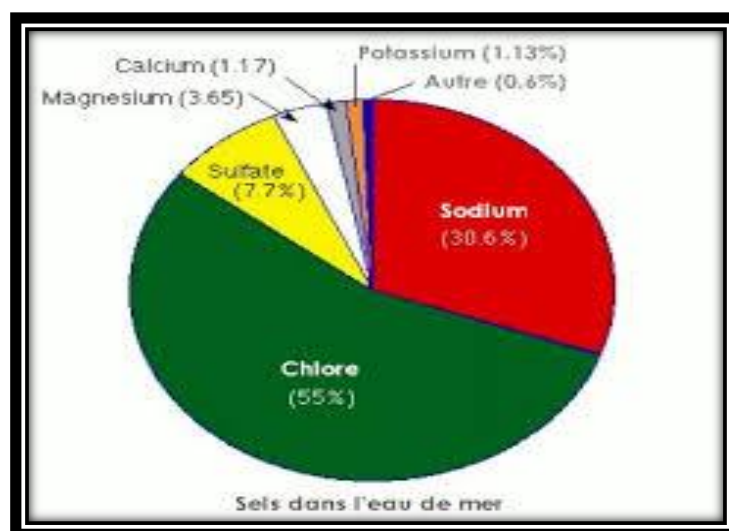


Figure V.2 : Les % des ions majeur dans l'eau de mer méditerranée [34].

V.3 La distillation

La technique de distillation est basée sur le principe élémentaire qui dit que dans un mélange, « **c'est le composé le plus volatil qui s'évapore en premier** ».

Elle peut être réalisée de plusieurs façons selon plusieurs critères. Elle se résume en deux actions :

- **Chauffer** un liquide impur ou un mélange de liquides pour les transformer en vapeurs par **ébullition**.
- **Condenser** ensuite les vapeurs par **refroidissement** et isoler les liquides purs.

V.3.1 La distillation simple sous pression atmosphérique : (sans colonne)

Le liquide et la vapeur sont au contact de l'air. La méthode est surtout appliquée à la purification des solvants volatils ou des composés ayant des températures d'ébullition très différentes.

V.3.1.1 Montage :

Le montage se fait en partant du support élévateur puis du ballon de réaction et en déposant successivement la tête de distillation, le réfrigérant, l'allonge puis le récipient.



Photo V.9 : Distillateur simple

❖ **Le matériel nécessaire est donc :**

- Un plateau élévateur ;
- Un ballon rodé de 1000 ml.
- Un chauffe-ballon électrique avec agitation magnétique et barreau ovoïde
- Une tête de distillation
- Un thermomètre
- Un réfrigérant droit qui condense les vapeurs
- Une allonge à distiller
- Une ou des éprouvettes de récupération du distillat

❖ **Mode opératoire**

1. Introduire dans le ballon 700 ml du mélange à distiller.
2. Effectuer la distillation : il doit s'écouler **une goutte par seconde**. Le réglage s'effectue grâce à l'élévateur.
3. Noter la température de départ à froid et dès la première goutte [35].



Chapitre VI

Résultats et Interprétations



VI. Introduction

Comme cité précédemment dans le chapitre matériel et méthodes, et afin d'étudier la qualité chimique et physico-chimique de l'eau de mer, l'eau prétraitee, l'eau osmosée, l'eau traitée de la station de Honaine et l'eau distillée au niveau de laboratoire de recherche sur les polymères à Imama, une série de mesures sur les différents paramètres de l'eau, permettant d'évaluer le degré d'efficacité de prétraitement utilisé et voir quel est le procédé qui donne la meilleure qualité de l'eau (l'osmose inverse ou la distillation).

Le travail expérimental s'est étalé du 18/12/2014 jusqu'au 03/01/2015 (la station de Honaine) du 27/04/2015 jusqu'au 20/05/2015 (de laboratoire de recherche scientifique « chimie et biologie, la faculté centrale »). Les résultats expérimentaux trouvés sont présentés ci-après.

Partie A : Les résultats d'analyse physico-chimique de l'eau de la station de dessalement de Honaine

VI.2 Paramètres organoleptiques

VI.2.1 Couleur

Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité. Les analyses des échantillons de l'eau traitée ont indiqué que cette eau est incolore et claire.

VI.2.2 Odeur La perception des substances responsables des odeurs est un critère indispensable aussi. Après traitement, l'eau devient inodore et ne présente aucune odeur désagréable.

VI.2.3 Goût

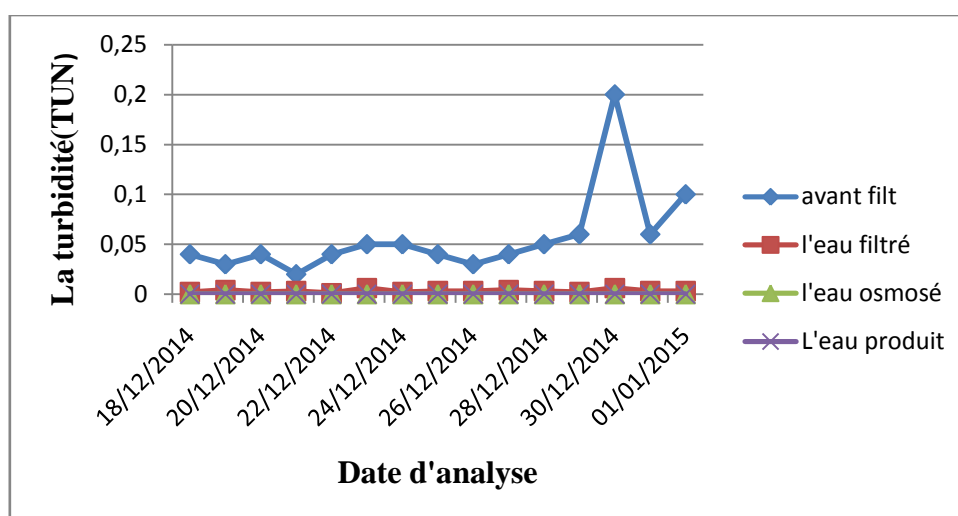
L'eau traitée ne présente aucun goût étrange et donc se comporte comme une eau normale au goût.

VI.2.4 Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules en suspension organiques et/ou inorganiques qui la troublent. La norme algérienne fixe une valeur limite de 5 NTU de turbidité pour la potabilité de l'eau. Tous les échantillons analysés ne présentent pas une telle turbidité.

Tableau VI.1 : Evolution de la turbidité de l'eau de mer, filtrée, osmosée et traitée.

Echantillon	Date d'analyse	La turbidité(UTN)			L'eau produit
		L'eau de mer	l'eau filtrée	l'eau osmosée	
1	18/12/2014	0,04	0,002	0	0
2	19/12/2014	0,03	0,004	0	0
3	20/12/2014	0,04	0,002	0	0
4	21/12/2014	0,02	0,003	0	0
5	22/12/2014	0,04	0,001	0	0
6	23/12/2014	0,05	0,006	0	0
7	24/12/2014	0,05	0,002	0	0
8	25/12/2014	0,04	0,003	0	0
9	26/12/2014	0,03	0,003	0	0
10	27/12/2014	0,04	0,004	0	0
11	28/12/2014	0,05	0,003	0	0
12	29/12/2014	0,06	0,002	0	0
13	30/12/2014	0,2	0,006	0	0
14	31/12/2014	0,06	0,003	0	0
15	01/01/2015	0,1	0,003	0	0

**Figure VI.1 :** Courbe expérimentale de la variation de la turbidité dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer

En se référant aux résultats indiqués sur la figure VI.1, la turbidité de l'eau de mer selon le tableau VI.1 est très faible avec une valeur maximale égale à 0,2 NTU, et de l'eau après prétraitement (sortie des filtres) est trop faible et presque négligeable. Elle est variable de 0,001 à 0,006 NTU. Ceci confirme l'efficacité des matériaux filtrants quant à la fixation

des particules en suspension. De tels résultats sur la turbidité dans l'eau filtrée ne présentent aucun risque de colmatage pour les membranes.

VI.3 Paramètres physico-chimiques

VI.3.1 MES

Tableau VI.2 : Evolution de MES de l'eau avant et après filtration

Echantillon	Date d'analyse	MES (mg/l)	
		avant filtration	après filtration
01	01/01/2015	5	0,2
02	02/01/2015	1,6	0,2
03	03/01/2015	0,9	0,1
04	04/01/2015	0,7	0,08
05	05/01/2015	1,4	0,06
06	06/01/2015	1,6	0,1
07	07/01/2015	1,8	0
08	08/01/2015	1,8	0
09	09/01/2015	1,6	0
10	10/01/2015	2,1	0
11	11/01/2015	1,4	0,1
12	12/01/2015	1,2	0,04
13	13/01/2015	1,4	0,08
14	14/01/2015	2,3	0,07
15	15/01/2015	2,8	0,2
16	16/01/2015	2,2	0,1

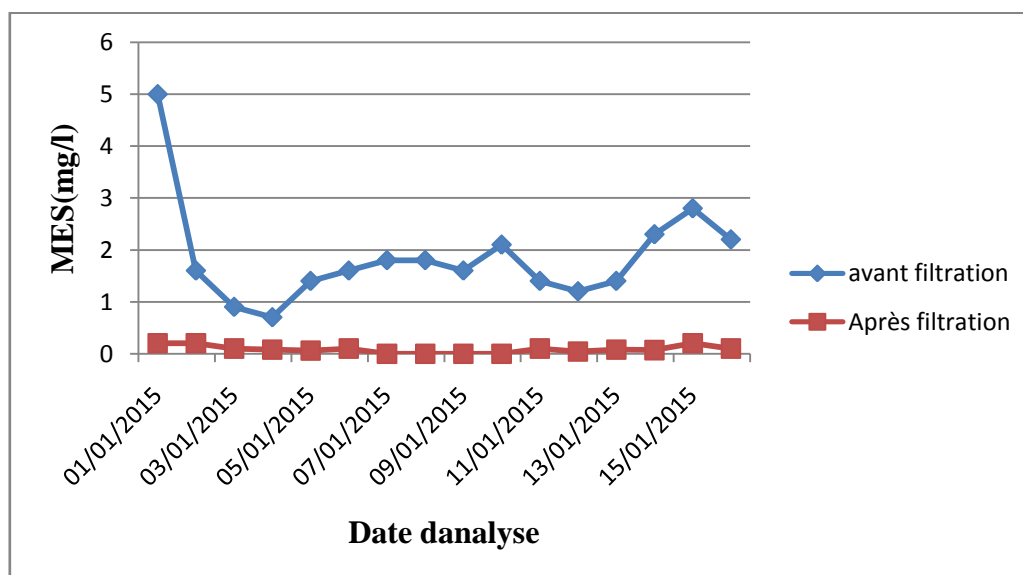


Figure VI.2: Courbe expérimentale de la variation de MES de l'eau avant et après filtration

En examinant les résultats obtenus (figure VI.2), on remarque que la teneur des matières en suspension (MES) dans l'eau prétraitée par les filtres est trop faible. Elle est pratiquement nulle et varie de 0 à 0,2 mg/l. Ceci confirme l'efficacité du prétraitement par les matériaux filtrants utilisés.

VI.3.2 pH

VI.3.2.1 Les résultats d'analyse de pH de différents types d'eau de la station de Honaine

Tableau VI.3: Evolution de pH de l'eau de mer, osmosée, filtrée et traitée

Le pH					
Echantillon	Date d'analyse	L'eau de mer	l'eau filtrée	l'eau osmosée	l'eau produit
01	18/12/2014	8,21	8,2	7,19	8,45
02	19/12/2014	8,20	8,21	7,38	8,41
03	20/12/2014	8,22	8,2	7,4	8,39
04	21/12/2014	8,14	8,18	7,4	8,42
05	22/12/2014	8,17	8,17	7,2	8,37
06	23/12/2014	8,2	8,21	7,41	8,33
07	24/12/2014	8,21	8,21	7,37	8,4
08	25/12/2014	8,19	8,22	7,44	8,39
09	26/12/2014	8,21	8,2	7,44	8,4
10	27/12/2014	8,21	8,21	7,4	8,38
11	28/12/2014	8,23	8,24	7,39	8,41
12	29/12/2014	8,24	8,23	7,22	8,39
13	30/12/2014	8,21	8,2	7,67	8,4
14	31/12/2014	8,16	8,17	7,13	8,4
15	01/01/2015	8,2	8,2	7,47	8,44

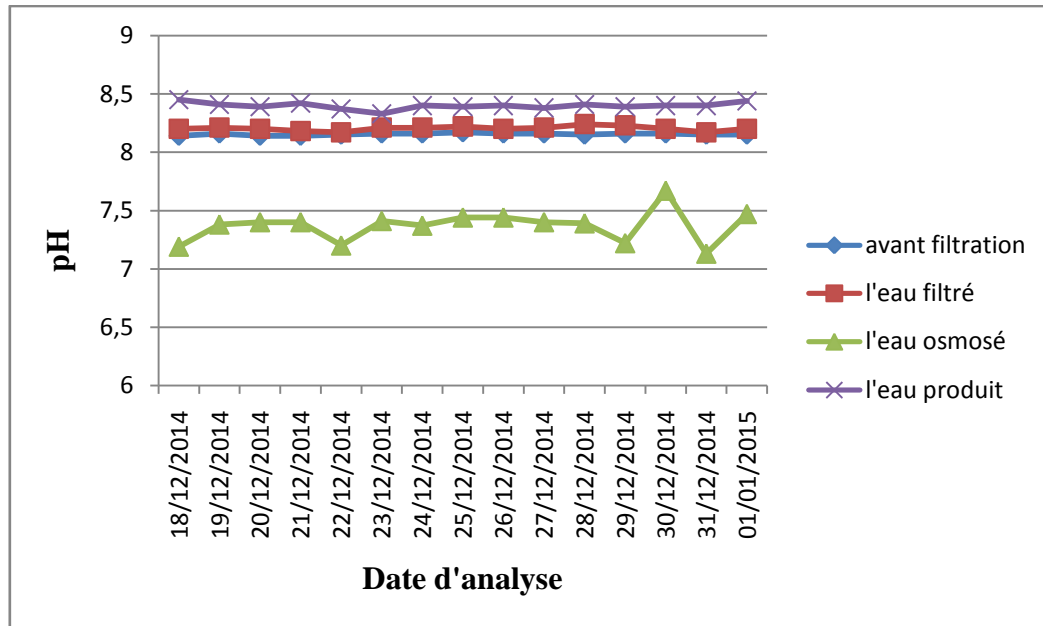


Figure VI.3: Courbe expérimentale de la variation du pH dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer

Il s'agit d'un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau.

Les résultats obtenus montrent une faible variation entre le pH de l'eau de mer et l'eau filtrée. Les valeurs sont variées de 8,16 et 8,24 avec une moyenne de 8,21. Après passage à travers la membrane, on obtient une valeur moyenne de pH de 7,43 qui devient après reminéralisation entre 8,33 et 8,45 avec une valeur moyenne de 8,39. Se référant aux normes de qualité de l'eau potable, les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne (NA, 2011 ; Tableau n02) et celle de l'OMS dont les valeurs sont fixées de 6,5 – 8,5; (OMS, 2006 ; Tableau A3).

VI.3.3 La température

Tableau VI.4: Evolution de température de l'eau de mer, filtrée et osmosée

Echantillon	La température de l'eau (°C)			l'eau produit
	Date d'analyse	l'eau filtrée	l'eau osmosée	
01	18/12/2014	18,16	18,2	19,4
02	19/12/2014	18,19	18,19	18,6
03	20/12/2014	18,7	18,6	19,2
04	21/12/2014	18,8	18,75	18,8
05	22/12/2014	18,4	18,4	18,9
06	23/12/2014	18,7	18,4	19,1
07	24/12/2014	18,7	18,7	19,1
08	25/12/2014	18,8	18,7	20,4
09	26/12/2014	18,8	18,8	17,7
10	27/12/2014	18,7	18,8	19
11	28/12/2014	18,9	18,9	18,7
12	29/12/2014	18,4	18,4	18,7
13	30/12/2014	18,29	18,29	18,7
14	31/12/2014	17,63	18,1	18,2
15	01/01/2015	18,17	18,17	18,2

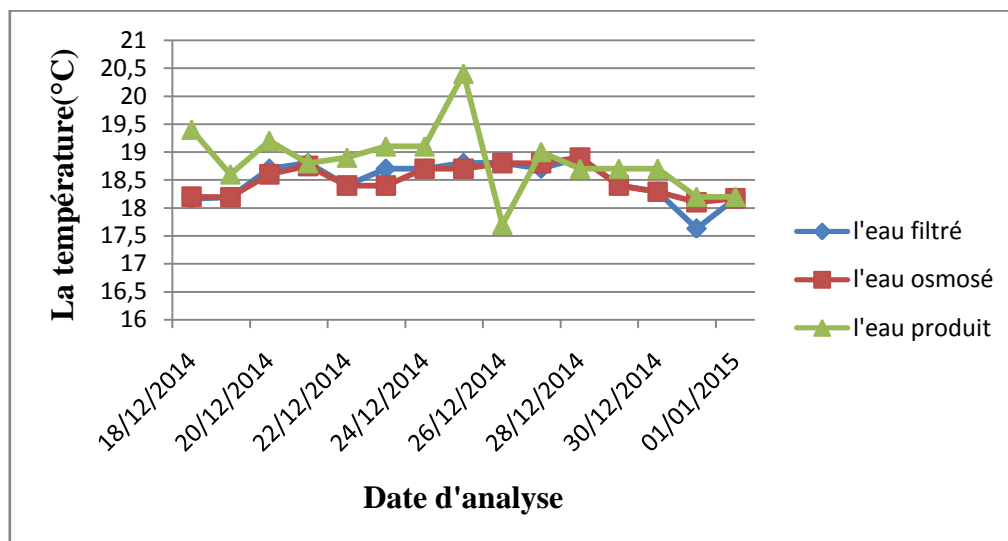


Figure VI.4: Courbe expérimentale de la variation de la température dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer

A partir des valeurs de la température de l'eau de mer, filtrée, osmosée et traitée il n'y a pas une variation importante, la valeur de température de l'eau produit entre 18,2 et 20,4°C, avec une moyenne de 19,3 °C. L'OMS ne mentionne aucune référence quant à la température de l'eau potable. La norme Algérienne ainsi que la norme de la Communauté Européenne

(CEE) montrent que les valeurs enregistrées sont inférieures à 25°C et de ce fait, sont conformes aux normes suscitées (OMS, 2006 ; Tableau A3).

VI.3.4 Chlore résiduel libre (cl₂) (hypochlorite de sodium):

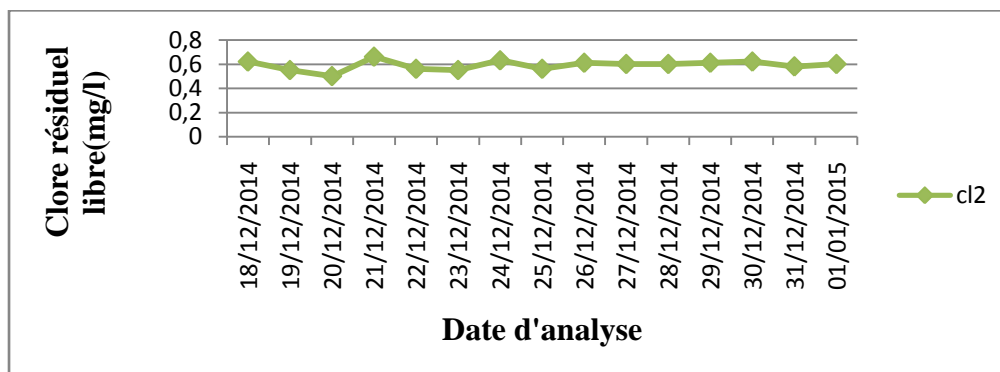


Figure VI.5 : Evolution de Chlore résiduel libre

Le chlore résiduel est le chlore resté libre après ces 30 minutes ; il constitue une forme de sécurité pour traiter des petites contaminations éventuelles de l'eau. Le taux de chlore libre fluctue entre 0,50 et 0,66 mg/l, avec une valeur moyenne de 0,6 mg/l. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par (NA, 2011 ; Tableau A4) qui est de 5mg/l.

VI.3.5 Conductivité

Tableau VI.5: Evolution de la conductivité de l'eau filtrée, osmosée et traitée

Echantillon	Date d'analyse	La conductivité de l'eau (µS/cm)		
		l'eau filtrée	l'eau osmosée	l'eau produit
01	18/12/2014	50000	620	634
02	19/12/2014	52600	570	678
03	20/12/2014	52300	610	706
04	21/12/2014	52000	600	604
05	22/12/2014	53000	584	712
06	23/12/2014	50000	625	728
07	24/12/2014	52500	620	728
08	25/12/2014	52300	580	704
09	26/12/2014	52000	570	720
10	27/12/2014	52200	560	726
11	28/12/2014	52020	600	722
12	29/12/2014	52500	590	722
13	30/12/2014	52500	590	720
14	31/12/2014	52700	587,7	688
15	01/01/2015	52400	590	720

L'examen des résultats obtenus (Tableau VI.6) montre que la conductivité de l'eau après filtration est comprise entre 50 et 53 ms/cm. En revanche, elle est quasiment constante dans l'eau avant filtration (55,5 mS/cm). La conductivité de l'eau osmosée est comprise entre 560 et 625 $\mu\text{S/cm}$ avec une valeur moyenne de 592,5 $\mu\text{S/cm}$ indiquent une diminution très importante de la conductivité et ça due au bon fonctionnement de la membrane d'OI. Les valeurs de la conductivité de l'eau de mer de la région méditerranéenne varient entre 55,5 et 58 ms /cm, ce qui confirment la fiabilité des résultats obtenus.

Les mesures de la conductivité électrique de l'eau traitée enregistrée indique les valeurs suivantes : $EC_{\min}=604$ et $EC_{\max}=728$ $\mu\text{S/cm}$, avec une valeur moyenne de 666 $\mu\text{S/cm}$. Les valeurs de conductivité électrique pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne (NA, 2011 ; Tableau A4) et à celle du comité européen (CE), dont les concentrations maximales admissibles (CMA) sont respectivement de 2800 $\mu\text{S/cm}$ et 2500 $\mu\text{S/cm}$.

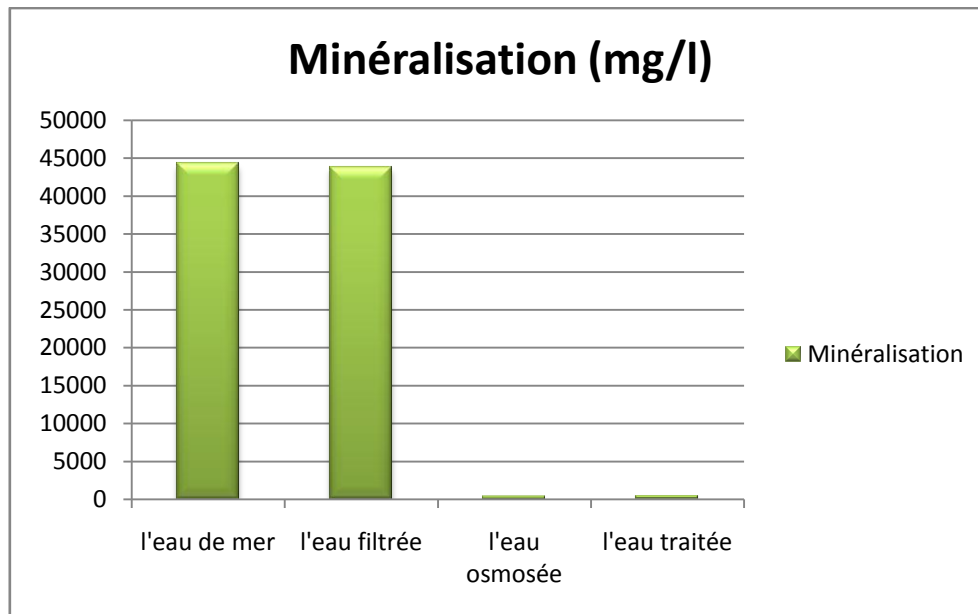


Figure VI.6 : Courbe expérimentale de la minéralisation de l'eau

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

L'examen des résultats obtenus (Figure VI.6) montre que la minéralisation de l'eau de mer est de 44222,46 mg/l, l'eau filtrée 43797,24 mg/l donc elle est élevée, après passage à travers la membrane devient moyenne accent de 424,18 mg/l avec un rendement d'élimination de 95,91%. Après la reminéralisation devient de 476,80 mg/l et elle est moyenne accent.

VI.3.6 Alcalinité

L'alcalinité correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions hydrogène (OH^-), les ions carbonates (CO_3^{2-}) et les ions bicarbonates (HCO_3^-).

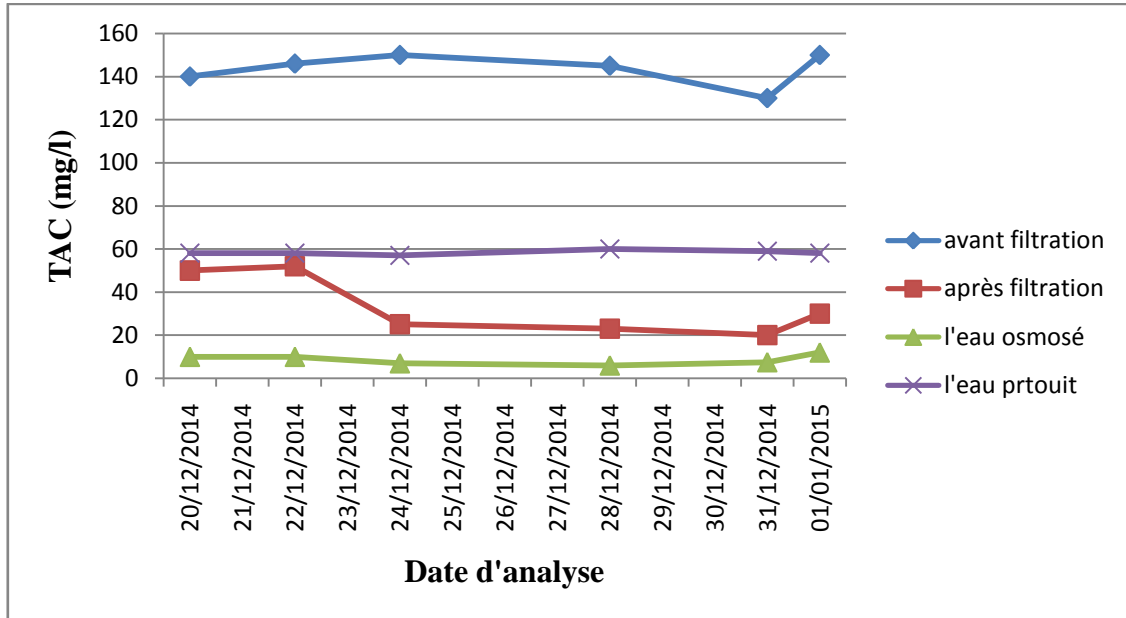


Figure VI.7 : Courbe expérimentale de la variation de TAC dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer

En se référant aux résultats indiqués sur la figure VI.7, la valeur minimal de l'eau de mer est de 130 mg/l en CaCO_3 et la valeur maximal de 150 avec une moyenne de 140 mg/l ; après l'étape de filtration on remarque un abaissement très important avec une moyenne de 35 mg/l.

Le TAC moyenne de l'eau osmosée est de 9 mg/l ça implique que la membrane bien fonctionné.

Les résultats de l'eau traitée montrent des valeurs comprises entre 57 – 60 mg/l avec une valeur moyenne de 58,5 mg/l en CaCO_3 .

Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à 500 mg/l en CaCO_3 .

VI.3.7 la dureté totale (TH)

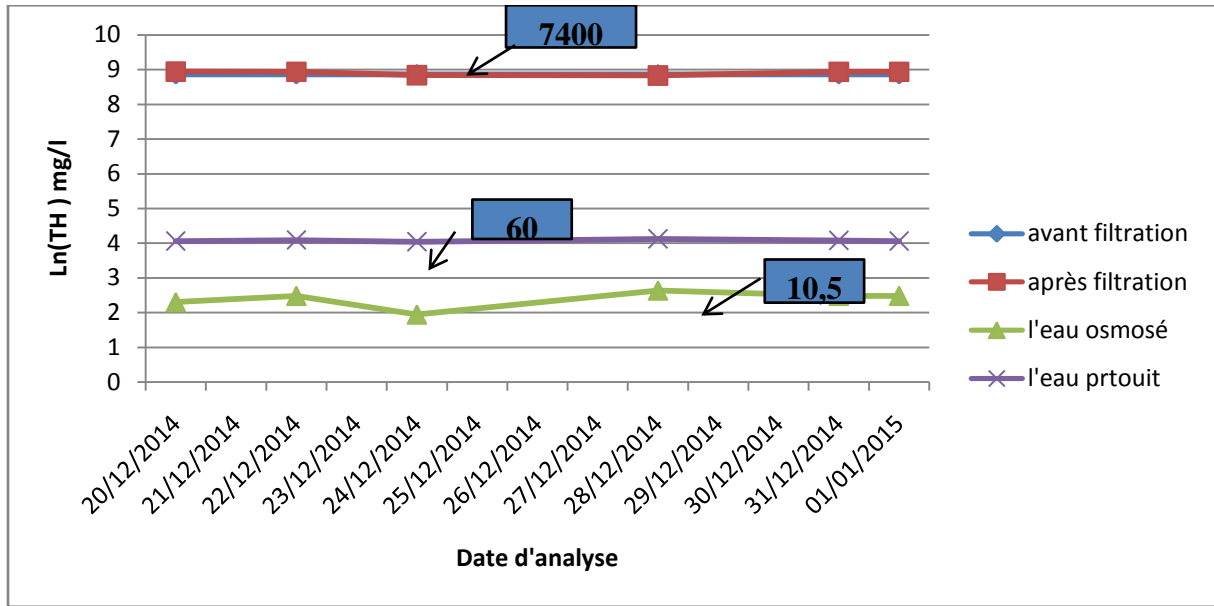


Figure VI.8: Courbe expérimentale de la variation de TH dans les différentes étapes de traitement de l'eau de mer

D'après la figure VI.8 il n'y a pas une variation entre la valeur de la dureté de l'eau de mer et de l'eau filtrée mais pour l'eau qui sort de la membrane d'OI présente une diminution très importante de la dureté de 10,5 mg/l et ça due au bon fonctionnement de la membrane.

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonnent de 58 - 62 mg/l en CaCO_3 avec une valeur moyenne de 60 mg/l.

Les valeurs enregistrées s'avèrent inférieures à la valeur maximale admissible recommandée par les normes algériennes qui est de 200 mg/l (NA, 2011 ; Tableau A4).

La présence des ions Ca dans l'eau souterraine est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution de formations gypseuses (CaSO_4).

L'analyse des concentrations en calcium est comprise entre 20,84°F (52,1 mg/l en CaCO_3) et 22,44°F (56,1 mg/l en CaCO_3 mg/l, soit une valeur moyenne de 21,22 mg/l.

Le magnésium provient aussi de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium selon la réaction : $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$.

Les concentrations en magnésium varient de 1,42 - 2,37 mg/l, avec une moyenne de 1,74 mg/l.

Le taux de calcium est inférieur à la norme algérienne qui fixe la composition en Ca^{2+} à 200 mg/l (NA, 2011 ; Tableau A4).

VI.3.8 Total des solides dissous (TDS)

Le total des solides dissous ou TDS représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques.

Les résultats obtenus après l'analyse des eaux de consommation ont montré que le taux du TDS varie entre 260 et 380 mg/l, soit une valeur moyenne de $289,24 \pm 26,86$ mg/l.

Les valeurs de TDS se révèlent conformes aux normes préconisées par l'OMS qui sont de 1000 mg/l dans les eaux traitées de dessalement (OMS, 2006 ; Tableau A3).

Partie B : Les résultats des analyses et de distillation au niveau des laboratoires de recherche Imama

VI.4 La distillation de L'eau de mer

❖ Caractéristiques de l'eau utilisée

L'eau utilisée dans les différents essais est une eau de mer et eau prétraitée provenant de l'usine de dessalement de Honaine. Le tableau (VI.7) regroupe les caractéristiques physico-chimiques de cette eau.

- **Echantillon : Date de prélèvement le 03/05/2015, Heure de prélèvement 11h 30, la température de l'eau 19,5°C.**

Tableau VI.6: Caractéristiques de l'eau utilisé

Les paramètres	Température (°C)	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
L'eau de mer	23,5	8,35	51200
L'eau prétraitée	24	8,39	51400
L'eau osmosée	24	7,07	713

● **Les analyses chimiques et physico-chimiques de l'eau utilisée:**

- Date des analyses le 04/05/2015

● **La distillation**

- La date de distillation : 11/05/2015 à 11h40
- La température d'ébullition 97°C, de l'air est de 22°C avec une pression atmosphérique normal.
- La date des analyses physico-chimiques: 12/05/2015 à 10h00

VI.4.1 Paramètres physico-chimiques

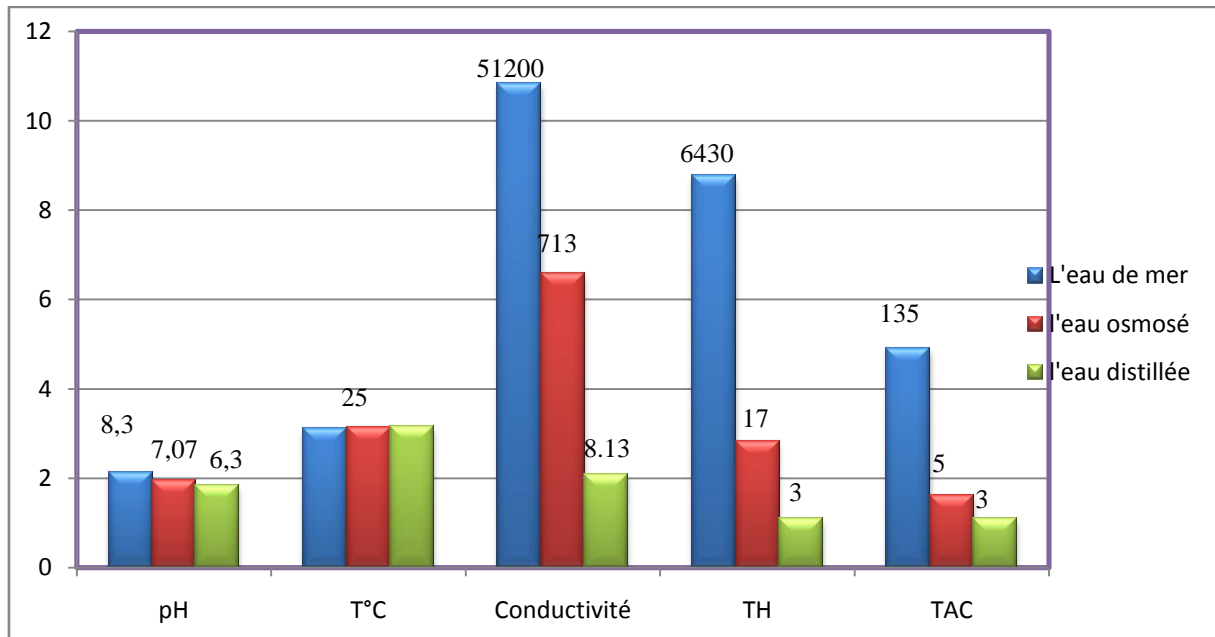


Figure VI.9: Courbe expérimentale de la variation de pH, Température, conductivité, TH et TAC de l'eau de mer après passage à l'OI et après la distillation

Les résultats obtenus à partir de la filtration membranaire et la distillation de l'eau de mer montrent :

La valeur de pH de l'eau de mer est de 8,35, et suivant la figure VI.9 on remarque une grande différence entre la valeur de pH de l'eau osmosée qui est de 7,07 et de l'eau distillée qui est de 6,3.

Les valeurs de la température montrent une faible différence entre les trois types d'eau.

La valeur de la conductivité de l'eau distillée est de 8,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$, elle est très petite par rapport à la valeur de l'eau osmosée qui est de 713 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La dureté de l'eau de mer est de 6430 mg/l, après passage à travers la membrane d'OI elle diminue jusqu'à la valeur de 17 mg/l, mais la distillation donne une meilleure qualité de 3 mg/l.

La valeur de TAC pour l'eau de mer est de 135 mg/l en CaCO_3 , on a une bonne amélioration de la qualité après la filtration membranaire et la distillation, les résultats montrent une faible différence entre l'eau osmosée qui donne une valeur de 5 mg/l en CaCO_3 et l'eau distillée de qui donne une valeur de 3mg/l en CaCO_3 .

- On a une bonne amélioration de la qualité de l'eau de mer pour les deux procédés mais la distillation c'est celui qui donne le meilleur résultat.

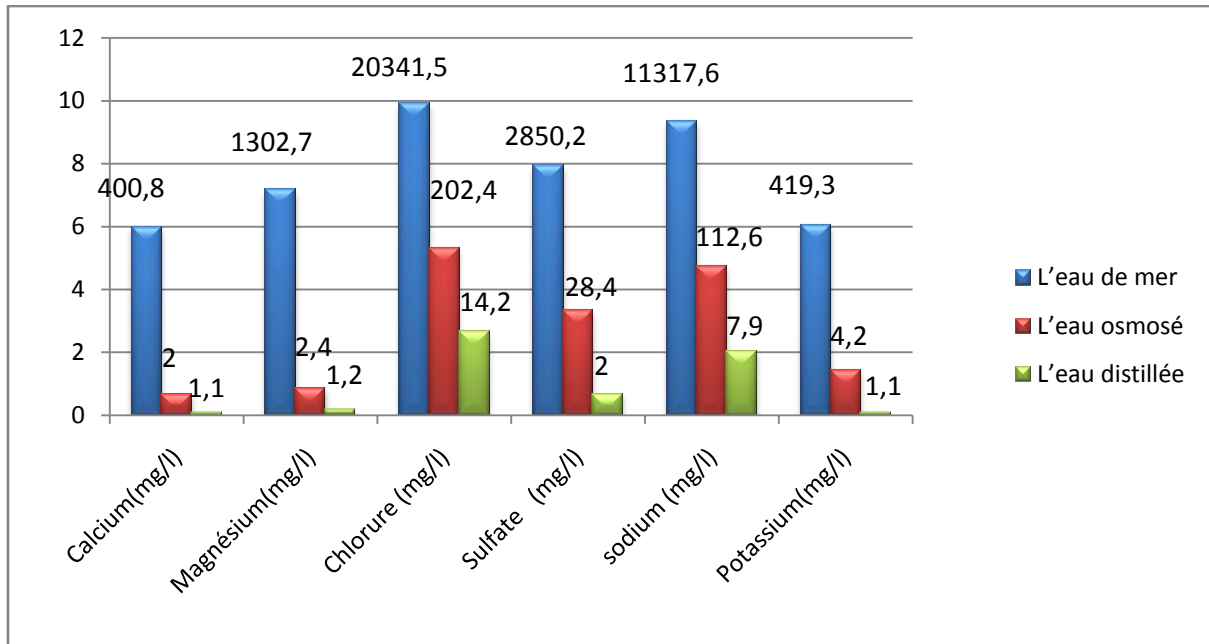


Figure VI.10: Courbe expérimentale d'Ions majeurs dans l'eau de mer, l'eau osmosée et distillée.

Les résultats obtenus pour les teneurs des ions majeurs de l'eau de mer, osmosée et distillée montrent :

- Pour le calcium, l'eau de mer contient 400,8 mg/l, à partir de la figure VI.10, la teneur de calcium de l'eau osmosée est de 2 mg/l, elle est supérieure de l'eau distillée qui est presque négligeable de 1,1 mg/l, mais de toute façon les deux procédés donnent une bonne amélioration de la qualité de l'eau de mer.
- La même chose pour le magnésium, l'eau de mer contient 1302,7 mg/l, l'eau osmosée 2,4 mg/l et l'eau distillée 1,2 mg/l.
- L'eau de mer contient une grande teneur en chlorure de 20341,5 mg/l, cette valeur est diminuée après passage à travers la membrane d'OI est devenue 202,4 mg/l, et après distillation devient presque négligeable de 14,2 mg/l.
- L'eau de mer contient 2850,2 mg/l de sulfate, 28,4 mg/l pour l'eau osmosée et 2 pour l'eau distillée.
- L'eau de mer contient une grande proportion de sodium de 11317,6 mg/l, l'eau osmosée 112,6 mg/l et l'eau distillée présente une teneur de 7,9 mg/l.
- La valeur de potassium est faible dans l'eau de mer, elle est de 419,3 mg/l après passage à travers la membrane d'OI est devenue 4,2 mg/l, et après distillation devient presque négligeable de 1,1 mg/l.

VI.5 La distillation de l'eau filtrée

- La date de distillation : 12/05/2015 à 11h40
- La température d'ébullition 97 °C, de l'air est de 22°C avec une pression atmosphérique normal.
- La date d'analyse physique-chimie: 13/05/2015 à 11h00

VI.5.1 Paramètres physico-chimiques

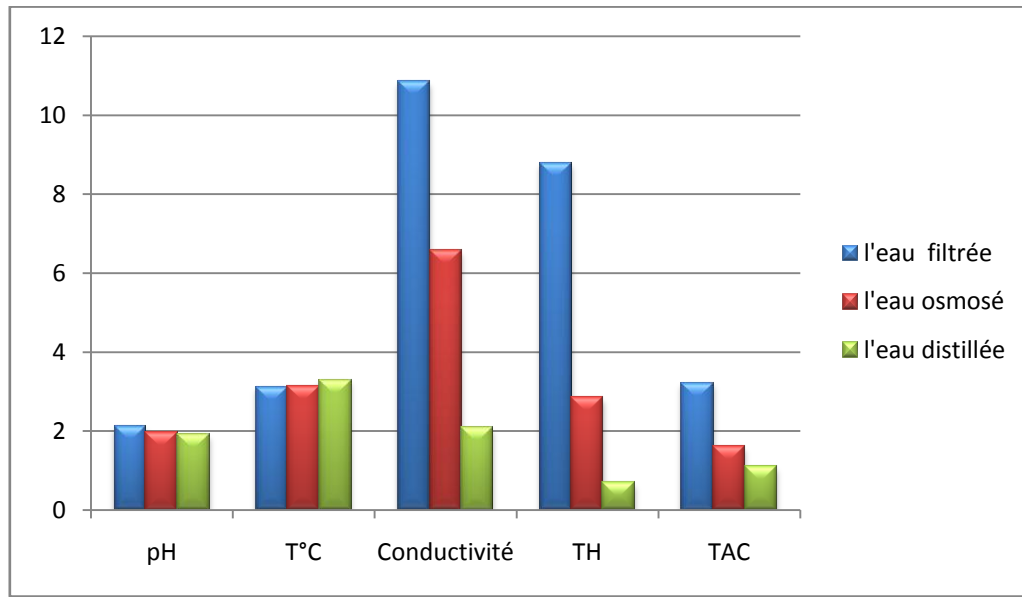


Figure VI.11: Courbe expérimentale de la variation de pH, Température, conductivité, TH et TAC de l'eau filtrée après passage à l'OI et après la distillation

Les résultats obtenus de la filtration membranaire et la distillation de l'eau filtrée figure VI.11 donnent presque les mêmes résultats que la distillation de l'eau de mer figure VI.9

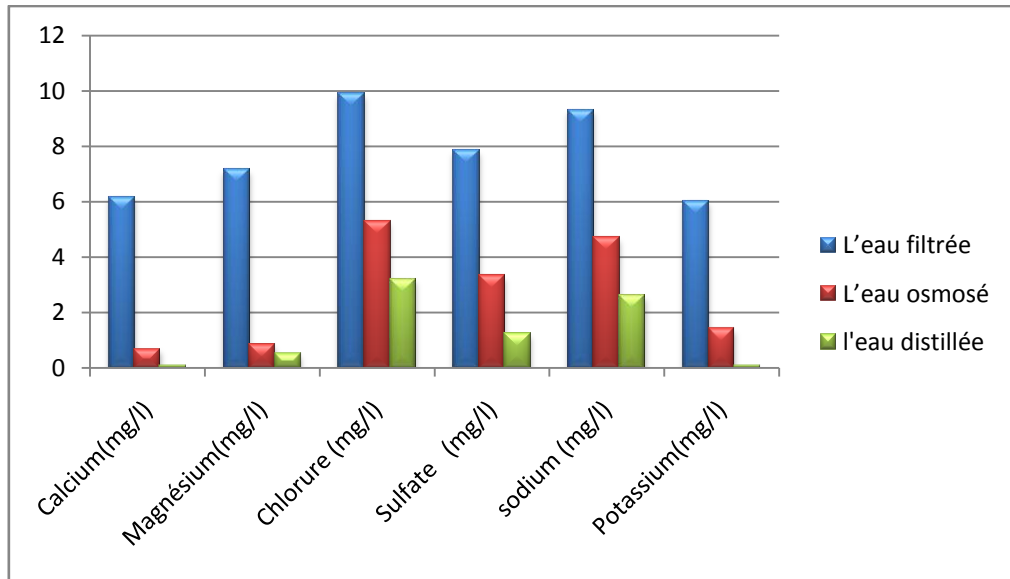


Figure VI.12: Courbe expérimentale d'Ions majeurs dans l'eau filtrée, l'eau osmosée et distillée.

- Les résultats obtenus après la distillation de l'eau filtrée la figure VI.12 donnent les mêmes valeurs des ions majeurs que la distillation de l'eau de mer figure VI.11.
- On a une bonne amélioration de la qualité chimique de l'eau de mer pour les deux procédés mais la distillation c'est celui qui donne le meilleur résultat.

VI.5.2 Le concentrât de l'eau de mer distillée et de l'eau filtrée distillée

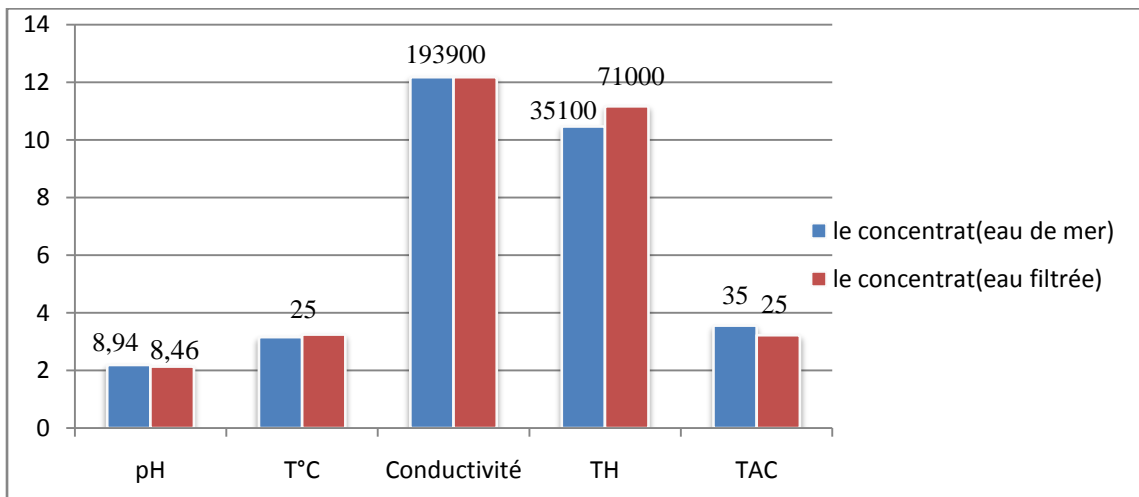


Figure VI.13: Courbe expérimentale de la variation de pH, Température, conductivité, TH et TAC de concentrât de distillation de l'eau de mer et l'eau filtrée

- Le concentrât de la distillation de l'eau de mer donne le même résultat que la distillation de l'eau filtrée pour la température, TAC et le pH et une faible différence entre la conductivité de concertât qui résulte de la distillation de le de mer avec une

valeur de 193900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et pour le deuxième concentrât de 180900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sauf dans le cas de la dureté de concentrât (eau filtrée) avec une valeur de 71000 mg /l et le concentrât (eau de mer) donne une dureté de 35100 mg/l.

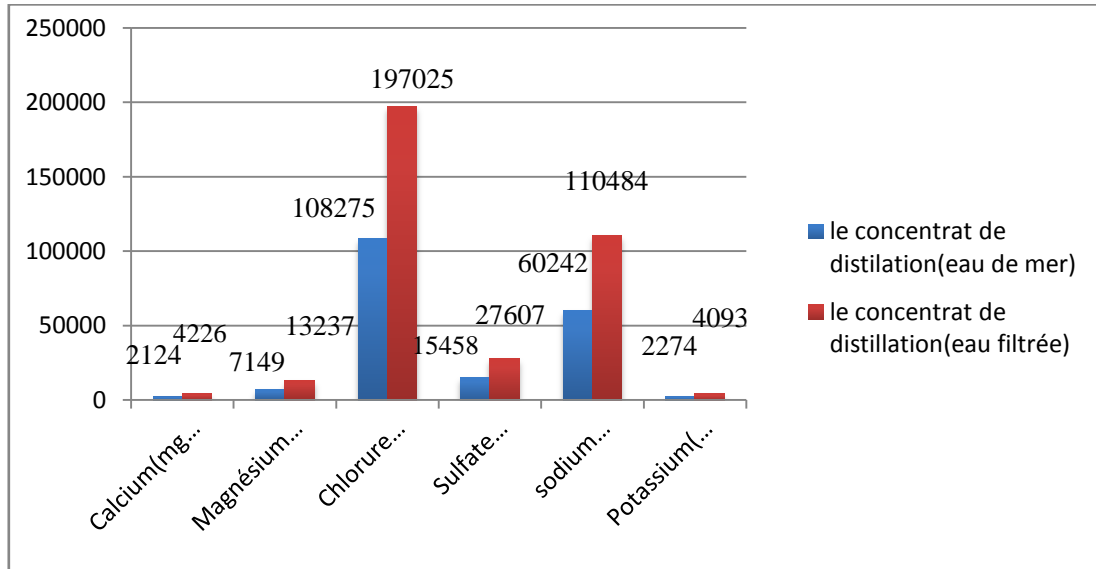


Figure VI.14: Courbe expérimentale de la variation d’ions majeurs dans de concentrât de distillation de l’eau de mer et de l’eau filtrée

Le concentrât de la distillation de l’eau de mer donne des différents résultats que la distillation de l’eau filtrée.

Pour la teneur en calcium de concentrât (eau de mer) est de 2124,2 mg/l, elle est inférieure à celui de concentrât (eau filtrée) qui a une valeur de 4226,4 mg/l.

Pour la teneur en magnésium de concentrât (eau de mer) est de 7149,5 mg/l, elle est inférieure à celui de concentrât (eau filtrée) qui a une valeur de 13237,2 mg/l.

A partir de la figure VI.14 on trouve une différence entre la teneur en chlorure de concentrât qui résulte de la distillation de l’eau de mer avec une valeur de 108275 mg/l et pour le deuxième concentrât de 197025 mg/l, sauf dans le cas de la dureté de concentrât (eau filtrée) qui est très importante avec une valeur de 71000 mg /l et le concentrât (eau de mer) donne une dureté de 35100 mg/l.

La même chose pour le sulfate, sa teneur est comprise entre 15458 mg/l pour le concentrât (eau de mer) et de 27607,1 mg/l pour le concentrât (eau filtrée).

Le sodium présente une grande concentration dans les deux concentrâts, pour le concentrât (eau de mer) présente une teneur de 60242,2 mg/l et pour le deuxième

concentrât 110484 mg/l, en contraire la concentration de potassium est très faible, pour le concentrât (eau de mer) est de 2274 mg/l cette valeur est faible par rapport le 4093,2 mg/l de concentrât d'eau filtrée.

VI.5.3 Les teneuses des sels dissous

Tableau VI.7: La teneur des sels dissous suivant la valeur de TA et TAC

Sels dissous	mg/l par °F	L'eau de mer	l'eau filtrée	l'eau osmosée	l'eau distillée	le concentrât
OH	3,4	0	0	0	0	85
CaO	5,6	0	0	0	0	85
Ca(OH) ₂	7,4	0	0	0	0	85
MgO	4	0	0	0	0	85
Mg(OH) ₂	5,8	0	0	0	0	85
Na(OH)	8	0	0	0	0	85
CO ₃	6	0	0	0	0	50
CaCO ₃	10	0	0	0	0	50
MgCO ₃	8,4	0	0	0	0	50
Na ₂ CO ₃	10,6	0	0	0	0	50
HCO ₃	12,2	135	25	5	3	0
Ca(HCO ₃) ₂	16,2	135	25	5	3	0
Mg(HCO ₃) ₂	14,6	135	25	5	3	0
NaHCO ₃	16,8	135	25	5	3	0

VI.3.11 Le CO₂ dissous

Tableau VI.8: La teneur de CO₂ dissous.

Paramètre	L'eau de mer	L'eau filtrée	L'eau osmosée	l'eau distillée	Le concentrât
CO ₂ dissous (mg/l)	Pas de CO ₂	Pas de CO ₂	8	4	Pas de CO ₂



Conclusion générale



Conclusion générale

Le dessalement de l'eau de mer pour la production de l'eau potable est une solution alternative qui permet d'augmenter les ressources en eau disponible, de fournir une solution en cas de sécheresse et de lutter contre les pénuries d'eau.

Il existe plusieurs procédés de dessalement, parmi lesquels, les installations de distillation, sont robustes. Elles sont particulièrement adaptées aux eaux chaudes, très salées et de caractéristiques fluctuantes.

La distillation à effet multiple était à l'origine réservée à des unités de petite taille. Après améliorations successives, elle concurrence et même devance maintenant la technique MSF, si on allie ses avantages à ceux de la compression de vapeur.

L'osmose inverse est une technique plus récente, apportant de réelles économies d'énergie. Elle s'est peu à peu imposée vis-à-vis d'utilisateurs réticents devant cette technique si différente de la distillation.

Notre travail a pour objectif de faire une comparaison entre l'amélioration de la qualité des eaux de mer de Honaine par la filtration membranaire, au niveau de laboratoire des analyses de la station de Honaine et par la distillation au niveau de laboratoire à Imama « chimie et biologie ».

Dans ce travail nous avons étudié plus particulièrement l'amélioration de la qualité physico-chimique. Afin de cerner au mieux la problématique du thème choisi, l'élaboration d'une synthèse bibliographique a été nécessaire.

A partir des résultats des analyses effectuées sur les eaux étudiées on peut noter que:

Les paramètres mesurés pour l'eau de mer respectent les normes recommandées dans le contrat de la station avec un total de solide dissous un peu supérieur à 38 000 mg/l.

La prise d'eau brute à 1200 m dans la mer assure une meilleure qualité qui affirme une absence de toute contamination fécale et de pollution domestique.

La turbidité de l'eau de mer est très faible avec une valeur maximale égale à 0,2 NTU, et de l'eau après prétraitement (sortie des filtres) est trop faible et presque négligeable. Elle est variable de 0,001 à 0,006 NTU. Ceci confirme l'efficacité des matériaux filtrants quant à la fixation des particules en suspension. De tels résultats sur la turbidité dans l'eau filtrée ne présentent aucun risque de colmatage pour les membranes.

D'après les résultats d'analyse de l'eau du perméat, on conclut que presque la totalité des sels dissous sont retenus par les membranes d'osmose inverse sauf dans le cas de chlorure et sodium avec des teneurs moyennes respectives de 202,4 mg/l et 112,6 mg/l, mais en général

Conclusion générale

on a une bonne amélioration de la qualité physico-chimique de l'eau de mer pour les deux procédés mais la distillation c'est celui qui donne le meilleur résultat.

Les résultats physico-chimiques obtenus de la filtration membranaire et la distillation de l'eau filtrée donnent presque les mêmes résultats que la distillation de l'eau de mer c'est pour cette raison la distillation nécessite une maintenance peu importante par rapport au dessalement par OI et ne requiert aucun additif chimique lors de l'étape de prétraitement mais ce procédé, particulièrement la distillation MSF, est très coûteuse par contre le procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse a connu un grand développement et présente beaucoup d'avantages. Sur le plan environnemental, il fonctionne à basse température, ce qui prévient une pollution thermique. Sur le plan énergétique, Ce procédé utilise principalement de l'énergie électrique; il est relativement simple (une pompe haute pression) et plus performant du point de vue énergétique (soit 2 kW/ h/m³), avec des filtres à sables et anthracite, Outre une récupération de l'énergie du concentrât (97 %).

En ce qui concerne les eaux traitées:


Les analyses organoleptiques établies pour cette eau ne détectent aucun gêne pour la consommation humaine à part un léger goût de javel.

Les mesures effectuées pour le pH ainsi que celles de la conductivité électrique donnent des valeurs conformes aux normes algériennes.

Les concentrations des cations et des anions dans l'eau traitée sont conformes aux normes de potabilité algérienne, une attention particulière devrait être portée aux ions calcium et magnésium dont les teneurs de l'eau potable restent faibles par rapport à la valeur guide préconisée par l'OMS.

La dureté moyenne engendrant l'obtention d'une eau douce.

Les paramètres bactériologiques présentent une absence totale des germes indicateurs de pollution fécale.



Références bibliographiques



Les références bibliographiques

[1] : Media.eduscol.education.fr/file/.../EauRessourceVitale_fiches_141645.pdf, consulté le 22/12/2014.

[2] : Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril 2012. pdf consulté le 22/12/2014.

[3] : Boutkhil MORSLI, M. HABI, A. HAMOUDI « Contraintes et perspectives des aménagements hydroagricoles et antiérosifs en Algérie » Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007pdf, le site www.infotheque.info/fichiers/JSIR-AUF.../AJSIR_1-7_Morsli.pdf consulté Le 23/02/2015

[4] : Article rédigé par Viviane Renaudin (Maître de conférences au Département Génie Chimique, Génie des Procédés de l'IUT de Nancy Brabois, Université Henri Poincaré et chercheur au LSGC (Laboratoire des Sciences du Génie Chimique), CNRS, Nancy), relu par Guillaume Champion (professeur agrégé à l'ENS). Cet article fait partie du dossier pluridisciplinaire sur l'eau, consulté le 22/12/2014.

[5] : Expo_eau_pds2013.pdf consulté le 14/12/2014

[6] : colleges.planete-tp.com/IMG/pdf/fiche_ressource_n03_cle889a33.pdf

[7] : Farid TATA-DUCRU comptecb@orange.fr Janvier 2009, « Dessalement de l'eau de mer bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes » consulté le 14/12/2014.

[8] : Salah+Bekkai 2014. « L'influence de la force ionique sur le dessalement des eaux faiblement saumâtre » Master. Hydraulique, page 4 et 5, pdf consulté le 22/12/2014.

[9] : ALAIN MAUREL « Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtre », Edition Lavoisier 2006, 2^e édition, année 2006, page, 5, 19, 80, 81-82, 91,99, 118- 120,173, 286, 296 ;

[10] : Services de l'eau en Algérie. Genève janvier 2011, le site : www2.ohchr.org/english/issues/water/.../AlgeriaCOMHCDHGeneva.pdf consulté le 23/02/2015

Les références bibliographiques

[11] : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/pretraitement> 2006, consulté le 28/01/2015

[12] : Henri Boyé « Conseil général de l'Environnement et du Développement Durable Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire », France Plan Bleu Centre d'Activités Régionales Sophia Antipolis Août 2008, Consulté le 27/11/15.

[13]: CORBASSON Cécile, PONCERY Anaïs, CACHARD Sophie « La désalinisation de l'eau de mer (électrodialyse) dans Exposés : Les applications de l'électrolyse sur le site La 3ème9 : une classe à projet scientifique », Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril 2012, consulté le 14/12/2014

[14] : <http://www.pureprofrance.fr/56-principe-osmose-inverse#sthash.gVjMQxzJ.dpuf>

Consulté le 26/01/15

[15] : <http://www.pureprofrance.fr/56-principe-osmose-inverse#sthash.gVjMQxzJ.dpuf>

Les schémas sont extraits de l'excellent livre de Jacques Collin, "L'eau, le miracle oublié" Guy Trédaniel Editeur, consulté le 26/01/15

[16] : Sefraoui Malika soutenue publiquement le 05 / 10 / 2013 « étude comparative sur le prétraitement des eaux de mer par ultrafiltration et Coagulation floculation » Mémoire de projet de fin d'études, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen.

[17] : Filtrationmembranaire.pdf <http://patricebacchin.fr/> consulté le 22/12/2014.

[18] : Nouvelle version rédigée par Jean-Marc BERLAND, et Catherine JUERY Décembre 2002 « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau » Fonds national pour le développement des adductions d'eau Office International de l'Eau SNIDE PDF consulté le 27/01/15

[19] : le site Internet de la société SOFRANCE <http://www.sofrance.com/findex.html>, consulté le 27/01/2015

[20] : Société Lorientaise de Construction Electromécanique, (2006-03) « Projet d'évolution de la station de dessalement d'eau de mer par osmose inverse de l'île de Sein .Installation d'un module de récupération d'énergie par échange de pression », pdf www.mairie-iledesein.com/docs.../2008_SEIN_Projet_EVOLUTION_Av.

Les références bibliographiques

- [21] : Dr Adil Bushnak « Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales » Version 2, Révision et validation : Hosny Khordagui, Stavros Damianidis et Vangelis Konstantianos, PDF page de 12 à 18 consulté le 27/01/2015.
- [22] : TAIB Amina soutenue 30/09/2014 « Etude des performances de fonctionnement d'un distillateur d'eau modèle GFL 2004 » Mémoire de projet de fin d'études, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen.
- [23] : Halloufi ouahid soutenue le 2010, Mémoire « étude de la performance d'un distillateur Solaire par un système de préchauffage solaire De l'eau saumâtre » PDF consulté le 27/01/2015
- [24] : Jacques Labre, Suez Environnement « Les ressources en eau non conventionnelles » Jacques.labre@suez-env.com 24 janvier 2011, pdf consulté le 23/02/2015.
- [25] : Sadi A., 2000 « Le Dessalement Solaire » Considérations Techniques, Revue. Energie Renouvelable : Chemss pp : 91-97, Consulté le 27/01/2015
- [26] : www. Distillateur solaire à effet de serre, consulté le 28/01/2015.
- [27] : GEIDA IDAM HONAINNE, cours pour le personnel d'exploitation et de maintenance de la station dessalement de Honaine.
- [28] : GEIDA Entreprise de dessalement des eaux de mer de Honaine Tlemcen
Protocole des analyses au niveau du laboratoire de la station de dessalement de Honaine
- [29] : Jean Rodier : l'analyse de l'eau- 9édition page 45 à 47 et 107 à 121.
- [30] : Jean Rodier : l'analyse de l'eau- 8édition page 118-119.
- [31] : <http://www.doctissimo.fr/html/nutrition/dossiers/eau/articles/13256-clorures.hmt> consulté le 11/05/2015
- [32] : <http://www.environnement.ens.fr/IMG/file/DavidPDF/Biodiversite2012/%20biodiversite%CC%81-Fogeron%20et%20Vignon-1.pdf> consulté le 12/05/2015
- [33] : http://www.com.univ-mrs.fr/~moutin/IMG/pdf/TP_SM24_2011-2012.pdf consulté le 12/05/2015.
- [34] : <http://oceanplasma.org/documents/chimie.html> consulté le 12/05/2015
- [35] : http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/physique-chimie/mutualisation/travail_collaboratif/distillations-simple-et-fractionnee-682937.kjsp?RH=PEDA consulté le 12/05/2015



Annexes



Tableau n°01: la nature, la périodicité et les méthodes d'analyses (norme algérienne).

10	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 75	3 Moharram 1431 20 décembre 2009
<p>Décret exécutif n° 09-414 du 28 Dhou El Hidja 1430 correspondant au 15 décembre 2009 fixant la nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau de consommation humaine.</p> <p>-----</p> <p>Le Premier ministre, Sur le rapport du ministre des ressources en eau, Vu la Constitution, notamment ses articles 85-3° et 125 (alinéa 2) ; Vu la loi n° 89-02 du 7 février 1989 relative aux règles générales de protection du consommateur ; Vu la loi n° 04-04 du 5 Joumada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la normalisation ; Vu la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, relative à l'eau ; Vu le décret présidentiel n° 09-128 du 2 Joumada El Oula 1430 correspondant au 27 avril 2009 portant reconduction du Premier ministre dans ses fonctions ; Vu le décret présidentiel n° 09-129 du 2 Joumada El Oula 1430 correspondant au 27 avril 2009 portant reconduction dans leurs fonctions de membres du Gouvernement ; Vu le décret exécutif n° 02-68 du 23 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 6 février 2002 fixant les conditions d'ouverture et d'agrément des laboratoires d'analyse de la qualité ;</p> <p>Après approbation du Président de la République ;</p> <p>Décète :</p> <p>CHAPITRE I DISPOSITIONS GENERALES</p> <p>Article 1er. — En application des dispositions de l'article 114 de la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer la nature, la périodicité et les méthodes d'analyse de l'eau au niveau des ouvrages et installations de production, de traitement, d'adduction, de stockage et de distribution de l'eau de consommation humaine.</p> <p>Art. 2. — Au sens du présent décret, on entend par :</p> <p>Paramètre : tout élément de nature physique, chimique, biologique ou microbiologique pris en considération pour déterminer la qualité de l'eau et évaluer les risques sanitaires liés à leur présence dans l'eau.</p> <p>Analyse : identification et quantification d'un paramètre présent dans un échantillon d'eau brute ou d'eau traitée, selon une méthode standardisée.</p> <p>Art. 3. — Les dispositions du présent décret sont applicables à l'eau de consommation humaine telle que définie à l'article 111 de la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, susvisée.</p> <p>Art. 4. — Les eaux destinées à la consommation humaine doivent être analysées au moyen d'échantillons à prélever dans les ouvrages et installations :</p> <ul style="list-style-type: none">— de production pour anticiper toute dégradation de leur qualité;	<ul style="list-style-type: none">— de traitement, d'adduction, de stockage et de distribution ou d'utilisation pour vérifier leur conformité aux normes de potabilité et/ou de qualité fixées par la réglementation en vigueur. <p>CHAPITRE II NATURE, PERIODICITE ET METHODES D'ANALYSE</p> <p>Art. 5. — Les analyses à effectuer sur les échantillons d'eaux brutes prélevés au niveau des ouvrages et installations de production d'eau portent sur les paramètres définis dans l'annexe I du présent décret.</p> <p>Art. 6. — Les analyses à effectuer sur les échantillons d'eaux traitées prélevés à la sortie d'une station de traitement, au niveau des ouvrages et installations d'adduction, de stockage et de distribution sont différenciées selon les types de contrôle de potabilité et/ou de qualité des eaux fournies, tels que définis dans l'annexe II du présent décret.</p> <p>Art. 7. — Les analyses à effectuer sur les échantillons d'eaux prélevés au point d'utilisation des eaux traitées destinées à la fabrication de boissons gazeuses et de glace ou à la préparation, au conditionnement et à la conservation des denrées alimentaires portent sur les paramètres définis au titre du contrôle complet dans l'annexe II du présent décret.</p> <p>Art. 8. — La périodicité des analyses à effectuer sur les échantillons d'eau est fixée en fonction :</p> <ul style="list-style-type: none">— soit du débit journalier prélevé au niveau des ouvrages et installations de production destinés à l'alimentation en eau potable ;— soit du volume journalier fourni par un réseau de distribution d'eau ;— soit du volume journalier utilisé pour la fabrication de boissons gazeuses et de glace ou la préparation, le conditionnement et la conservation de denrées alimentaires. <p>La périodicité de ces analyses est définie dans l'annexe III du présent décret.</p> <p>La répartition de la fréquence des analyses à effectuer aux fins de contrôle au niveau des différents ouvrages et installations de traitement, d'adduction, de stockage et de distribution sera précisée, par arrêté du ministre chargé des ressources en eau, en fonction des exigences de représentativité des échantillons d'eau fournie.</p> <p>Art. 9. — Des analyses complémentaires, en termes de fréquence et de paramètres, doivent être fixées par l'administration de wilaya chargée des ressources en eau en cas de risque de dégradation de la qualité des eaux lors de la survenance d'une catastrophe.</p> <p>Art. 10. — Les méthodes référentielles d'analyse des échantillons d'eau sont définies dans l'annexe IV du présent décret.</p>	<p>CHAPITRE III DE L'AGREMENT DES LABORATOIRES D'ANALYSE</p> <p>Art. 11. — Les analyses des échantillons d'eaux brutes ou traitées effectuées par tout exploitant d'un service public d'alimentation en eau potable ou par tout utilisateur d'eaux traitées destinées à la fabrication de boissons gazeuses et de glace ou à la préparation, au conditionnement et à la conservation des denrées alimentaires, doivent être réalisées par des laboratoires agréés conformément à la réglementation en vigueur.</p>

Tableau n°2 : Les analyses de l'eau produit de la station de Honaine.

Paramètres	18/12/14 13h20	19/12/14 10 h10	20/12/14 12 h30	21/12/14 11h00	22/12/14 12h	23/12/14 10h55	24/12/14 14h20	Unité	Valeur de réf	Valeur de limite
pH	8,45	8,41	8,39	8,42	8,37	8,33	8,4		7-8,5	7-8,5
Température	19,4	18,6	19,2	18,8	18,9	19,1	19,1	°C	25	25
Conductivité	634	678	706	604	712	728	728	µS/cm	2800	2800
TDS	317	339	353	302	356	354	364	mg/l	1400	1400
Cl ₂	0,62	0,55	0,5	0,66	0,56	0,55	0,63	mg/l	-	-
Turbidité	0	0	0	0	0	0	0	TU N	1	5
TH	60	60	60	60	60	60	60	mg/l	65 enCaCO ₃	500
Calcium	21,64	22,44	21,64	21,64	21,64	21,64	21,64	mg/l	-	200
Magnésium	1,42	0,93	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	mg/l	-	1500
TA	58	57	56	58	58	56	58	mg/l	50 à 65	-
Carbonate	3	3	3	3	3	2,4	3	mg/l	-	-
Bicarbonate	64,66	63,44	64,66	64,66	64,66	63,44	63,44	mg/l	-	-
LSI	0,24	0,23	0,23	0,23	0,13	0,06	0,18		0,04	0-0,4

➤ **Résultat :** Eau commercial dans les normes.

Tableau n°2 : Les analyses de l'eau produit de la station de Honaine. (Suite)

Paramètres	25/12/1 4 13h20	26/12/1 4 10h10	27/12/1 4 12h50	28/12/1 4 13h50	29/12/1 4 12h40	30/12/1 4 10h55	31/12/1 4 14h20	Unité	Valeur de réf	Valeur de limite
pH	8,39	8,4	8,38	8,41	8,39	8,40	8,4		7-8,5	7-8,5
Température	20,4	17,7	19	18,7	18,7	18,7	18,2	°C	25	25
Conductivité	704	720	726	722	722	720	688	µS/cm	2800	2800
TDS	352	360	363	361	361	360	344	mg/l	1400	1400
Cl ₂	0,56	0,61	0,6	0,6	0,6	0,62	0,58	mg/l	-	-
Turbidité	0	0	0	0	0	0	0	TUN	1	5
TH	60	64	62	62	62	62	62	mg/l	65 en CaO ₃	500
Calcium	22,44	20,84	21,64	21,64	20,84	20,80	20,84	mg/l	-	200
Magnésium	0,93	2,86	1,89	1,89	2,38	1,80	2,38	mg/l	-	1500
TAC	57	57	57	60	60	60	59	mg/l	50 à 65	-
Carbonate	3,6	3	3	3	3,6	3,6	3,6	mg/l	-	-
Bicarbonate	62,22	63,44	63,44	67,1	65,88	65	64,66	mg/l	-	-
LSI	0,15	0,12	0,13	0,18	0,16	0,15	3,1	-	0,04	0-0,4

➤ **Résultat :** Eau commercial dans les normes.

Tableau n°03 : Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	< < 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

Tableau n°04: Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine (norme algérienne, 2011)

18 Rabie Ethani 1432 23 mars 2011		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18		7
ANNEXE				
PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU DE CONSOMMATION HUMAINE				
Tableau 1 : PARAMETRES AVEC VALEURS LIMITES				
GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES	
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2	
	Ammonium	mg/l	0,5	
	Baryum	mg/l	0,7	
	Bore	mg/l	1	
	Fer total	mg/l	0,3	
	Fluorures	mg/l	1,5	
	Manganèse	µg/l	50	
	Nitrates	mg/l	50	
	Nitrites	mg/l	0,2	
	Oxydabilité	mg/l O2	5	
	Phosphore	mg/l	5	
	Acrylamide	µg/l	0,5	
	Antimoine	µg/l	20	
	Argent	µg/l	100	
	Arsenic	µg/l	10	
	Cadmium	µg/l	3	
	Chrome total	µg/l	50	
	Cuivre	mg/l	2	
	Cyanure	µg/l	70	
	Mercure	µg/l	6	
Nickel	µg/l	70		
Plomb	µg/l	10		
Sélénium	µg/l	10		
Zinc	mg/l	5		

Tableau n°04: Parametres de qualité de l'eau de consommation humaine (norme algérienne, 2011). (Suite)

Tableau 2 : PARAMETRES AVEC VALEURS INDICATIVES			
GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25