

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued



Faculté de Technologie

Département de : Hydraulique & de Génie Civil

MEMOIRE :

Présenté En vue de l'obtention du diplôme de Master en hydraulique

Option : Ouvrage Hydraulique

THEME:

Étude de la déminéralisation des eaux
souterraines par osmose inverse dans le
sud est Algérien – cas de la station d'El
Meghaier-

Encadreur :

Dr. OUAKOUAK Abdelkader

Présenté par :

DEGAA Ali

TERCHA Hocine

Soutenu publiquement devant le jury:

<i>Mme. BOUCHEMAL Fattoum</i>	Docteur	Université d'El Oued	Président
<i>M. GHEDEIR AMAR Hacem</i>	Doctorant	Université d'El Oued	Examineur
<i>M. OUAKOUAK Abdelkader</i>	Docteur	Université d'El Oued	Encadreur

Promotion : Juin 2019

Remerciement

Nous remercions Dieu Tout Puissant de nous avoir donné la patience et le courage pour réaliser ce travail.

*Nous adressons nos sincères remerciements à **M^r. LABED Islam**. Technicien de laboratoire de station de déminéralisation d'El Meghaier de nous avoir accueillie et intégré au sein de station et pour toutes les conditions techniques mises à nos disposition afin de réaliser ce modeste travail.*

Nos remerciements vont également à l'ensemble du personnel de Station de déminéralisation d'El Meghaier surtout les opérateurs de l'unité et toute l'équipe de laboratoire des eaux pour l'aide et l'intérêt qu'ils ont apporté à notre travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre promoteur **Dr. OUAKOUM Abdelkader** et de nous avoir acceptés de nous encadrer et suivre ce Travail.*

Nos sincères remerciements à tous les membres de jury qui vont juger ce travail et nous faire profiter de leurs connaissances et remarques constructives :

***Dr. BOUCHEMAL Fattoum** qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce modeste travail.*

***Mr. GHEDEIR AMAR Hacem** qui a spontanément eu la volonté et l'honneur d'examiner ce travail, pour l'intérêt qu'il a porté pour notre travail. Leurs critiques et commentaires seront bénéfique pour enrichir nos connaissances dans ce domaine.*

Un grand merci aux enseignants du Département d'hydraulique et génie civile ainsi que les techniciennes de laboratoire.

Enfin nos remerciements s'adressent aussi à tous ceux qui ont contribué de pré ou de loin à la réalisation de ce travail.





Dédicace

*Je dédie ce travail à
Mes chers parents ;
Tous mes frères et mes sœurs ;
Mon grand frère « Fateh » ;
Mon épouse ;
Mon cher fils Karim.*

Ali.



Dédicace

*Je dédie ce travail à
Ma chère mère ;
Tous mes frères et mes sœurs ;
Mon épouse ;
Ma chère fille Hiba.*

Hocine.

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1

Partie 1 : Partie théorique

Chapitre I Présentation de la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude	3
I.1 Caractéristiques climatiques.....	3
I.1.1 La température.....	4
I.1.2 Les vents.....	4
I.1.3 L'humidité.....	4
I.1.4 La pluviométrie	5
I.1.5 L'évaporation.....	5
I.1.6 L'ensoleillement.....	5

Chapitre II Généralité sur les eaux

II. Généralité sur les eaux	6
II.1 Introduction	6
II.2 Les ressources de l'eau dans la nature.....	6
II.2.1 Les eaux de pluie.....	6
II.2.2 Les eaux de surface	6
II.2.3 Les eaux souterraines	6
II.2.4 Les eaux de mer et les eaux saumâtres	7
II.2.4.1 L'eau de mer.....	7
II.2.4.2 Eau saumâtre	7
II.3 L'eau.....	7
II.4 L'eau potable.....	8
II.4.1 Les normes de potabilité.....	8
II.4.1.1 Les normes	9
II.4.2 Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation.....	10
II.4.2.1 Les paramètres organoleptiques	10
a) Le goût :	10
b) La couleur et l'odeur :	10
c) La turbidité	10
II.4.2.2 Les paramètres physico-chimiques.....	10
a) Température.....	10

b) La dureté.....	10
c) PH.....	11
d) La minéralisation.....	11
II.4.2.3 Substances indésirables	11
II.4.2.4 Substances toxiques.....	11
II.4.2.5 Les paramètres bactériologiques	11
II.5 Hydrogéologie de la zone d'étude.....	12
II.5.1 Nappe continentale Intercalaire (C.I)	12
II.5.2 Nappe du complexe terminal (C.T)	13
II.5.3 Nappe phréatique.....	13
II.5.4 Sebkhass et Chotts	14
II.6 Conclusion.....	14

Chapitre III Osmose inverse

III. Osmose inverse	15
III.1 Introduction.	15
III.2 Techniques de déminéralisation	15
III.3 Historique de l'osmose inverse	16
III.4 Principe de l'osmose inverse	16
III.4.1 Qu'est-ce que l'osmose?.....	16
III.4.2 Qu'est-ce que l'osmose inverse ?.....	17
III.4.3 Pression osmotique:.....	18
III.5 Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	19
III.5.1 Le prétraitement	20
III.5.1.1 Prétraitement conventionnel.....	21
III.5.1.2 Prétraitement par les procédés membranaires	23
III.5.2 Le pompage haut pression	23
III.5.3 Récupération d'énergie.....	23
III.5.4 Post traitement.....	24
III.5.5 Poste de nettoyage chimique	24
III.6 Mode de fonctionnement des systèmes membranaires.....	25
III.6.1 Filtration frontale.....	25
III.6.2 Filtration Tangentielle	25
III.7 Paramètres de fonctionnement d'une osmose inverse.....	27
III.8 Mécanisme de transfert	28
III.9 Membranes d'osmose inverse	29
III.9.1 Présentation des membranes.....	29
III.9.2 Type de membranes d'osmose inverse.....	29
III.9.3 Durée de vie des membranes	30
III.10 Les modules d'osmose inverse.....	31
III.10.1 Définition des modules.....	31
III.10.2 Les types de modules	31
III.11 La consommation énergétique et le coût de l'osmose inverse	33
III.12 Limitations de l'osmose inverse.....	34
III.12.1 Définition du colmatage	34
III.12.2 Les types de colmatage.....	34

III.12.2.1 Colmatage par entartrage.....	34
III.12.2.2 Colmatage par dépôt.....	35
III.12.2.3 Colmatage par adsorption.....	35
III.12.2.4 Le bio-colmatage.....	35
III.12.3 Estimation du potentiel de colmatage.....	35
III.12.3.1 SDI (Silt Density Index).....	35
III.12.3.2 MFI (Modified Fouling Index).....	36
III.12.3.3 MFI-UF (Modified Fouling Index by using Ultrafiltration membrane).....	37
III.13 Le nettoyage des membranes :	38
III.13.1 Les rétro lavages :.....	38
III.13.2 Les nettoyages chimiques :.....	38
III.13.3 Nettoyage enzymatique :	39
III.14 Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse:	39
a) Les avantages:	39
b) Les inconvénients :.....	39
III.15 Conclusion :.....	40

Partie 2: Partie expérimentale

Chapitre VI : Matériels et méthodes

IV. Matériels et méthodes.....	42
IV.1 Introduction	42
IV.2 Objectifs	42
IV.3 La station de déminéralisation d'El Meghaier.....	42
IV.3.1 Présentation de la station.....	43
IV.3.2 Fonctionnement de la station.....	43
IV.3.3 Les composant de la station.....	45
IV.3.3.1 Les forages	45
IV.3.3.2 Bassin de stockage d'eau brute.....	45
IV.3.3.3 Pompe d'alimentation des filtres à sable	45
IV.3.3.4 Filtres a sable.....	46
IV.3.3.5 Bassin d'eau prétraitée (filtrée)	47
IV.3.3.6 Sonde de lecture	47
IV.3.3.7 Pompe d'alimentation des filtres à cartouches	47
IV.3.3.8 Les filtres à cartouches	47
IV.3.3.9 Pompe d'alimentation les osmoseurs	48
IV.3.3.10 Les osmoseurs	48
IV.3.3.11 Station de lavage et rinçage.....	48
IV.3.3.12 Bassin de stockage des eaux traitées	48
IV.3.3.13 Pompes d'alimentation des châteaux d'eau.....	48
IV.3.3.14 Pompe doseuse de chlore.....	48
IV.3.3.15 Bassin de rejet	49
IV.3.3.16 Système anti retour de l'eau	49
IV.4 Laboratoire d'analyse.....	49
IV.5 Les appareils d'analyse	50
IV.5.1 Turbidimètre	50
IV.5.1.1 Mode opératoire	51

IV.5.2	Appareils de mesure portables HQD40D.....	52
☞	PH.....	52
☞	Température.....	52
☞	Connectivité.....	52
☞	Salinité.....	52
☞	Résidus sec à 105 °C	52
☞	TDS(Les solides dissous totaux)	52
	IV.5.2.1 Mode opératoire	53
IV.5.3	Spectrophotomètre de paillasse DR3900 pour l'analyse de l'eau	53
☞	Nitrate NO_3^-	54
☞	Nitrite NO_2^-	54
☞	Ammonium NH_4^+	54
☞	Plomb	54
☞	Zinc	54
☞	Sulfate SO_4^-	54
☞	Dureté totale TH.....	54
☞	Titre alcalin	54
☞	Titre alcalin complète.....	54
IV.5.4	Tests en cuve LCK	54
	IV.5.4.1 LCK - Précision et manipulation exceptionnelles	54

Chapitre V : Résultats et discussions

V.	Résultats et discussions	56
V.1	Résultats et interprétations des paramètres physico-chimiques	56
V.1.1	Le potentiel d'hydrogène (pH).....	56
V.1.2	La conductivité.....	57
V.1.3	Turbidité.....	57
V.1.4	Salinité.....	58
V.1.5	STD (solides dissous totaux) ou TDS	59
V.2	Résultats et interprétations des paramètres de pollution	60
V.2.1	Nitrate NO_3^-	60
V.2.2	Nitrite NO_2^-	60
V.3	Résultats et interprétations des paramètres de minéralisation	61
V.3.1	La dureté	61
	Conclusion générale	63

Référence bibliographique

Annexes

Résumé

Liste des tableaux

Tableau I-1: Données climatiques de la ville d'El Meghaier, période 2006-2018.....	4
Tableau II-1 : les normes de potabilité en Algérie (OMS 2004)	9

Liste des figures

Figure I-1: Situation géographique de la ville d'El Meghaier [Google earth pro 2013]	3
Figure II-1: Une molécule d'eau [6].....	8
Figure II-2 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)	12
Figure III-1 : Les procédés de déminéralisation (Encyclopédie énergie).....	15
Figure III-2 : Phénomène de l'osmose	17
Figure III-3: Procédé de l'osmose inverse easymetal GmbH	17
Figure III-4 : Séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane [1].	18
Figure III-5: Pression osmotique [2].	19
Figure III-6: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse [10].	20
Figure III-7: Prétraitement conventionnel [2].	21
Figure III-8: Présentation du fonctionnement de la filtration frontale [1].....	25
Figure III-9: Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle [6].	26
Figure III-10: Taille des matériaux qui sont enlevés par les procédés membranaires [1].	27
Figure III-11 :Module à membrane tubulaire [2].	31
Figure III-12: Modules à fibres creuses [2].....	32
Figure III-13: Exemple de module à plaques [1].....	33
Figure III-14: Description d'un module spiralé d'osmose inverse [1].	33
Figure III-15: Détermination graphique du MFI [83].	36
Figure IV-1 : photos de la station de déminéralisation d'El Meghaier.	42
Figure IV-2 : Schémas de fonctionnement de la station.....	44
Figure IV-3 : Bassin de stockage des eaux brutes.....	45
Figure IV-4 : Pompe d'alimentation des filtres.	46
Figure IV-5 : les filtres à sable	46
Figure IV-6 : les filtres à cartouche et ses cartouches	47
Figure IV-7 : photo d'osmoseurs.....	48
Figure IV-8 : pompe doseuse de chlore.....	49

Figure IV-9 : Laboratoire d'analyse des eaux.....	50
Figure IV-10 : Photo de Turbidimètre marque HACH 2100Q.....	51
Figure IV-11 : Appareils de mesure portables HQD40D	53
Figure IV-12: photos Spectrophotomètre de paillasse DR3900.....	54
Figure IV-13 : photos Tests en cuve LCK.....	55
Figure IV-14 : photo de Test LCK 327 de Dureté de l'eau.....	55
Figure V-1 : PH des différentes eaux analysées.....	56
Figure V-2 : la conductivité des eaux brute et eaux traitées.....	57
Figure V-3 : la turbidité des eaux brute et eaux traitées.....	58
Figure V-4 : la différence de salinité entre l'eau brute et l'eau traitée.....	59
Figure V-5 : la différence de solides dissous totaux.....	59
Figure V-6 : la concentration de nitrate dans l'eau traité.....	60
Figure V-7 : la concentration de nitrite dans l'eau traité.....	61
Figure V-8 : convertisseur en ligne de dureté de dh° a mg/l CaCO ₃	61
Figure V-9 : la dureté de l'eau traitée par rapport les normes.....	62

Liste des abréviations

- **ONM** : Office national de météorologie.
- **°C** : Degré Celsius.
- **T°** : Température.
- **Moy** : Moyen.
- **E** : Évaporation.
- **H** : Humidité.
- **CO₂** : Dioxyde de carbone.
- **O** : Oxygène.
- **H** : Hydrogène.
- **OMS** : Organisation mondiale de la santé.
- **UE** : Union européenne.
- **Mg/l** : Milligramme par litre.
- **PPM** : Partie par million.
- **ANRH** : Agence nationale des ressources hydrauliques.
- **CI** : nappe continentale intercalaire.
- **CT** : Complexe terminale.
- **OI** : Osmose inverse.
- **Q** : Débit.
- **V** : Volume.
- **MES** : Matière en suspension.
- **SDI** : Silt density index (indicateur de densité d'argile).
- **MFI** : Modified fouling index (indicateur d'écrasement modifié).
- **μ** : Micro.
- **MF** : Microfiltration.
- **UF** : Ultrafiltration.

- **NF** : Nano filtration.
- **PH** : Potentiel d'hydrogène.
- **P** : pression.
- **F** : facteur de conversion.
- **PS** : passage des sels.
- **TH** : Dureté.



Introduction générale

Introduction générale

L'eau est la vie pour tous les êtres vivants, elle couvre les trois quart (3/4) de la surface terrestre, et environ les deux tiers (2/3) du corps humain. [ARAOUA, 1997].

« L'homme peut vivre plusieurs semaines sans manger, il meure après quatre jours sans eau »

Mais est ce que toutes les eaux sont potables et consommable pour l'homme ?

Les origines des eaux de consommation sont multiples (eaux de surface, eaux souterrains), mais ceux qui répondent aux normes de potabilités sont très peu nombreuses (eaux souterraines).

Les eaux souterraines sont considérées comme la seule ressource dans notre région, mais elles présentent une forte salinité car la composition de ces eaux est reliée à la nature chimique des couches géologiques traversées.

Cette salinité présente un problème majeure, face à des conditions climatique défavorable, à une croissance démographique très importante, au développement industriel, les volumes d'eau mobilisées et mobilisable sont insuffisante et le recours à des ressources en eau non conventionnelles telle que: la déminéralisation des eaux salées semblent être la solution incontournable.

La déminéralisation des eaux salées est un sujet très importants actuellement, et de penser à réaliser des unités de déminéralisation de vient jour après jour une nécessité car il permet la satisfaction des besoins des consommateurs en eau potable soit du coté quantitatif ou qualitatif (eau de bonne qualité, douce et agréable).

La ville d'El Meghaier a bénéficié d'un programme d'envergure portant sur la réalisation d'une station de déminéralisation de l'eau potable, la station concernée par le projet de la ville d'EL Meghaier est actuellement alimentée en eau brutes à partir de cinq 5 forages exploités. Le présent projet consiste à réaliser une station de déminéralisation pour améliorer la qualité de l'eau potable actuellement distribuée à El Meghaier et d'en réduire la salinité.

Les principaux objectifs fixés dans le cadre de ce travail de recherche est :

☞ L'évaluation des résultats d'analyses physico-chimiques des ces échantillons de l'eau brute et l'eau osmose (l'eau au sortie pour voir le rendement de fonctionnement des membranes d'osmose inverse).

☞ Démontrer L'efficacité de station de déminéralisation des eaux par le procédé d'osmose inverse à partir de la discussion des résultats d'analyse physico-chimique des eaux traitée.

C'est pour cette raison notre travail est partagé en deux parties:

La première partie (partie 1) de ce travail est relative à l'étude bibliographique, elle comporte quatre chapitres :

☞ Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.

☞ Chapitre II : Une étude bibliographique sur les différentes propriétés, origines et sources des eaux et les principales caractéristiques des eaux pouvant être traitées (eaux souterraines).

☞ Chapitre III: Une étude théorique sur la filière de déminéralisation de l'eau souterraine par le procédé d'osmose inverse.

La seconde partie (partie 2) présente l'étude expérimentale sur le procédé d'osmose inverse pour la déminéralisation de l'eau souterraine, subdivisée en 2 chapitres.

☞ Chapitre I : Matériels et méthodes.

☞ Chapitre II : Résultats et discussions.

Partie 1

ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES



Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

Présentation de la zone d'étude

La ville d'El Meghaier est située dans une vallée appelée « Oued Righ ».avec superficie de 153200 hectares. Elle s'étend entre les coordonnées 33° 57' 2" Nord, 5° 55' 27" Est. Elle est limitée par :

Au Nord : la commune d'Oum Thyour;

A l'Est : la commune de Hamraia;

Au Sud : la commune de Sidi khilil ; et

A l'Ouest : la wilaya de Biskra.

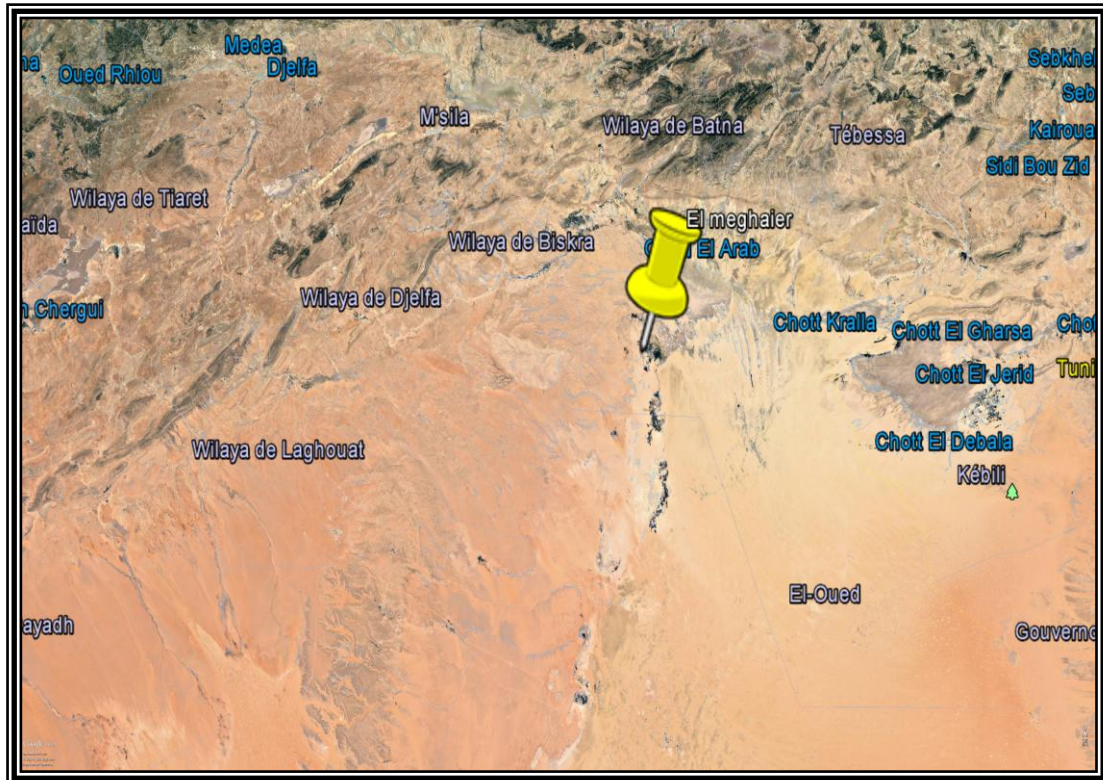


Figure I-1: Situation géographique de la ville d'El Meghaier [Google earth pro 2018]

I.1 Caractéristiques climatiques

La ville d'El Meghaier est caractérisée par un climat sec et aride de type saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées et une forte évaporation.

Dans le tableau suivant (Tableau I.01) donne Les données climatiques de la ville d'El Meghaier issues de l'ONM étalées sur une période de douze années (2006 - 2018).

Tableau I-1: Données climatiques de la ville d'El Meghaier, période 2006-2018.

Paramètres Mois	T° max (°C)	T° min (°C)	T° moy (°C)	P (mm)	V (Km/s)	E (mm)	H (%)	I (H/mois)
Janvier	19,6	4,5	12,02	7,8	52	94,3	60	246
Février	21,3	6,4	13,82	2,4	50	130,7	52	239,9
Mars	26,4	10,4	18,39	4,2	58	205,2	46	262,5
Avril	31,3	14,6	22,92	1,9	68	257,3	39	280,2
Mai	35,8	19,5	27,64	1,2	63	332,8	34	304,9
Juin	40,8	24,4	32,56	0,6	54	403,2	30	252,0
Juillet	44,0	27,7	35,85	0,3	60	457,0	26	328,2
Aout	43,2	27,4	35,34	1,4	56	420,5	30	329,0
Septembre	38,3	23,0	30,67	3,5	53	294,7	38	265,5
Octobre	32,8	17,0	27,91	5,3	48	228,8	44	264,8
Novembre	24,7	10,0	17,36	5,6	45	125,4	55	251,4
Décembre	19,6	5,7	12,68	3,9	42	87,5	61	225,8

O.N.M Touggourt, 2018.

I.1.1 La température

La température est un facteur principal qui conditionne le climat de la région, la température moyenne annuelle est de 32,68°C; et pour le mois le plus chaud (Juillet) la température max 35,85°C ; et pour le mois le plus froid (Janvier) la température minimale 12,02 °C.

I.1.2 Les vents

Les vents dominants sont ceux de N/NE et S/SE avec une vitesse pouvant atteindre de 4,6 m/s et parfois dépasser 20 m/s, le sirocco (vent chaud et sec) peut être observé au cours de l'année.

I.1.3 L'humidité

L'humidité relative enregistrée varie de 26 à 61%

I.1.4 La pluviométrie

En plus de leurs raretés les précipitations au niveau de la région de Oued Righ sont irrégulières, alors que la sécheresse presque absolue de Mai à Aout, Janvier (7,8mm) mois le plus pluvieux, Juillet (0,3mm) mois le plus sec, le cumul annuel (3,2mm).

I.1.5 L'évaporation

L'évaporation atteint des valeurs très importantes, cela s'explique par les fortes températures et le fort pouvoir évaporant de l'air notamment les vents desséchants au mois d'Aout ou elle atteint 420,5 mm, ce qui correspond à 14 mm par jour.

I.1.6 L'ensoleillement

La durée annuelle moyenne d'insolation est de " 3251,19 heures", étal durée moyenne d'ensoleillement journalière est supérieur à 8 h/j, elle peut dépasser légèrement 12 h/j en été tandis qu'elle ne dépasse pas 8 h en Hiver, alors que l'insolation mensuelle, la plus grande, correspondant au mois les plus chauds "Juin-Août". Le minimum en Novembre à Février correspondant à une durée d'ensoleillement plus basse de 214 h.



Chapitre II

Généralité sur les eaux

Généralité sur les eaux

II.1 Introduction

Comme tout le monde le sait, la planète Terre est également appelée planète bleue, ceci provient du fait que sa surface est recouverte à 72 % d'eau. L'eau existe en quantité immuable depuis des millénaires, dans le monde, nous pouvons en compter 1400 millions de km³. C'est une quantité phénoménale. Même si la consommation en eau connaissait un accroissement formidable, il serait impossible de la consommer entièrement.

Mais ce n'est pas si simple. En effet, cette quantité d'eau colossale n'est pas 100% propre à la consommation. La plus grande partie, 97,2% voire 97,5% selon les sources, est de l'eau de mer et le reste, 2,5% à 2,8% est de l'eau douce [1].

II.2 Les ressources de l'eau dans la nature

II.2.1 Les eaux de pluie

Théoriquement, les eaux de pluie ou de précipitation sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine en ajoutant bien sûr à ces eaux les éléments nécessaires pour qu'elles deviennent potables tels que les sels minéraux. Il devait s'agir d'eau distillée, mais en réalité et surtout dans les régions industrialisées, ces eaux peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de leurs captage freinent l'utilisation de cette source [10].

II.2.2 Les eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leur parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [10].

II.2.3 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont habituellement de bonne qualité. La composition des eaux souterraines est fonction de la composition des sols qui les contiennent. On peut cependant noter d'une façon générale l'absence d'oxygène, une faible turbidité, et une forte minéralisation. De plus, les eaux souterraines sont de composition relativement constante. La

présence de fer et de manganèse et l'agressivité de l'eau due à la haute teneur en dioxyde de carbone (CO_2) sont les principales sources de problèmes avec ces eaux [9].

II.2.4 Les eaux de mer et les eaux saumâtres

La salinité mesure la concentration en sels dissous ; elle s'exprime en [g/L]. Du fait que les quantités de sels dissous sont souvent très inférieures au gramme, l'unité communément utilisée est le [mg/L] ou encore le [p.p.m] chez les Anglo-Saxons. On notera que cette dernière unité n'est pas strictement équivalente puisqu'elle exprime des [mg/kg] [1].

II.2.4.1 L'eau de mer

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, Pacifique) est de l'ordre de 35 g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitations-évaporation. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océaniques.

II.2.4.2 Eau saumâtre

L'eau saumâtre est un milieu où l'eau douce rencontre l'eau de mer. On en trouve dans les estuaires, les embouchures de fleuves. Mais pour réaliser un tel milieu, il faut veiller à bien respecter certains paramètres. La marée et la saison des pluies jouent un rôle essentiel.

Les lagunes possèdent aussi des eaux saumâtres mais c'est aussi le cas de certaines mers comme la mer Baltique ou bien l'océan Arctique lors de la fonte de la banquise. Certains lacs peuvent aussi avoir des eaux saumâtres lorsque des infiltrations de sel parviennent à saliniser l'eau douce [1].

II.3 L'eau

L'eau est un corps incolore, inodore et sans saveur. C'est un composé chimique simple, sa formule chimique est H_2O , c'est -à- dire que chaque molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogènes (H) par deux liaisons covalentes simples, formant un angle de $104,5^\circ\text{C}$. La représentation de la molécule d'eau sous sa forme compacte donne une image de la forme réelle de la molécule et de l'encombrement des atomes qui la constitue [6].

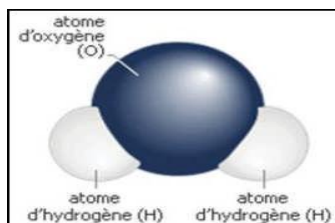


Figure II-1: Une molécule d'eau [6].

L'eau présente sur notre Terre et indispensable à la survie de tout être vivant, animal ou végétal n'est pas un liquide banal [6]. En particulier, l'eau entre, pour 70 à 80 % en moyenne, dans la composition de la matière vivante et c'est le principal constituant de l'organisme humain.

De plus, l'homme ne peut pas vivre plus de quatre jours sans eau [5].

II.4 L'eau potable

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur [2].

II.4.1 Les normes de potabilité

Les normes de l'eau potable sont établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ou par l'Union Européenne (UE) ou le ministère algérien des ressources en eaux ou le ministère d'économie. L'eau potable doit être exempte de matières en suspension, micro-organismes et produits toxiques. Les recommandations quant aux concentrations en minéraux varient de pays à pays avec toutefois pour la plupart des minéraux une concentration maximale afin de garantir une eau équilibrée et agréable à boire. (Lenntech).

L'eau est un élément indispensable à la vie et l'état de santé de la population. Elle est liée à la qualité physicochimique et bactériologique qu'elles consomment. L'élaboration des normes de potabilité est basée sur les études scientifiques montrant les effets nocifs sur la santé, des éléments physico-chimiques à partir d'une certaine concentration maximale à ne pas dépasser. Par sécurité la valeur de la norme sera largement inférieure à cette dose, afin d'éviter le développement de pathologie, malgré le dépassement du seuil. (Guerzou, F.2008).

II.4.1.1 Les normes

Le tableau ci-dessous montre les normes de potabilité en Algérie :

Tableau II-1 : les normes de potabilité en Algérie (OMS 2004)

Groupe	Paramètres	Unité	Normes
Paramètres physico-chimique en relation avec la structure naturelle des eaux	PH	Unité PH	6.5-8.5
	Température	°C	25
	Conductivité	µs/cm	2800
	Turbidité	NTU	5
	Salinité	‰	
	Résidus sec à 105 °C	Mg/l	2000
	TDS	Mg/l	1000
Paramètre chimique	Nitrate NO ₃ ⁻	Mg/l	< 50
	Nitrite NO ₂ ⁻	Mg/l	< 0.1
	Ammonium NH ₄ ⁺	Mg/l	0.5
	Plomb	Mg/l	0.05
	Zinc	Mg/l	5
	Calcium Ca ⁺⁺	Mg/l	200
	Magnésium Mg ⁺⁺	Mg/l	150
	Chlore libre Cl ⁻	Mg/l	0.3-0.8
	Sulfate SO ₄ ⁻	Mg/l	400
	Bicarbonate HCO ₃ ⁻	Mg/l	
	Carbonate CO ₃ ⁻	Mg/l	
	Dureté totale TH	Mg/l CaCO ₃	500
	Titre alcalin	Mg/l CaCO ₃	
Titre alcalin complète	Mg/l CaCO ₃	500	

II.4.2 Critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation

Une eau est dite "potable" si elle respecte les valeurs imposées par la loi. Il existe cinq catégories de paramètres [2]:

II.4.2.1 Les paramètres organoleptiques

a) Le goût :

Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation, il doit être non désagréable [1].

b) La couleur et l'odeur :

La couleur de l'eau est liée à la présence de substances organiques colorées (principalement des acides humiques et fulviques) et de métaux (le fer et le manganèse). L'odeur a pour origine principale la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz [12].

c) La turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Elle est causée par diverses matières particulières ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes [7].

II.4.2.2 Les paramètres physico-chimiques

a) Température

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit situer entre 8 et 15°C. L'OMS ne recommande aucune valeur. Pratiquement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine, cependant, une température supérieure à 15 °C favorise le développement des micro-organismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs. Par contre, une température inférieure à 10 °C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements d'eau [4].

b) La dureté

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre. On l'exprime aussi en degré français [5].

c) PH

Le PH exprime l'acidité ou l'alcalinité suivant qu'il se trouve dans la bande de 0 à 7 ou de 7 à 14, le 7 constitue la neutralité du milieu .Le PH est indissociable de la température de l'oxygène dissous, de la minéralisation totale. La mesure du pH grâce à un PH-MÈTRE ou un comparateur colorimétrique approprié est tout à fait valable pour déterminer la concentration de l'ion d'hydrogène et l'ion d'hydroxyde [6].

d) La minéralisation

La minéralisation est la concentration en sel dissous (Sulfates, Chlore, Sodium, Magnésium, Aluminium) [6].

II.4.2.3 Substances indésirables

Ce sont entre autres, les éléments suivants (Acrylamide, Azote Kjeldahl N, Benzène, Bore, Bromates, Chlorure de vinyle , Cuivre, Détergents anioniques , Dichloréthane, Epichlorhydrine, Fer, Fluorures, H₂S , Hydrocarbures dissous, Manganèse, Nitrites (NO₂), Nitrates (NO₃), Oxydabilité au MnO₄K, Phénols, Tétrachloroéthylène et Trichloréthylène, Trihalométhanes) [6].

II.4.2.4 Substances toxiques

Parmi ces substances, on peut citer les éléments suivants (Arsenic, Cadmium, Cyanure, Chrome total, Mercure, Nickel, Plomb, Antimoine, Sélénium, Hydrocarbures aromatiques polycycliques) [6].

II.4.2.5 Les paramètres bactériologiques

L'eau contient une multitude de micro-organismes (bactéries, virus, parasites) issus de l'activité biologique naturelle. Certains de ces micro-organismes peuvent être pathogènes pour l'homme. Les maladies d'origine microbienne constituent d'ailleurs le risque sanitaire le plus important dans le domaine de l'eau : les effets sanitaires (gastro-entérite,...) peuvent se produire à court terme et se caractériser dans certaines situations par la survenue d'épisodes épidémiques [8].

L'eau ne doit en aucun cas contenir des organismes pathogènes et/ou d'organismes indicateurs d'une contamination fécale, tels les bactéries coliformes fécales, les bactéries Escherichia coli, les bactéries entérocoques et les virus coli-phages. L'eau ne doit pas contenir plus de 10 bactéries coliformes totales par 100 millilitres d'eau prélevée [8].

II.5 Hydrogéologie de la zone d'étude

Dans la région de Oued Righ, l'alternance des couches imperméables et des couches aquifères d'une part, et l'existence d'un fossé de subsistance d'autre part, ont permis la formation de nappes souterraines superposées.

Sur toute l'étendue de la région d'Oued Righ, les trois nappes ont été reconnues. Une nappe libre (phréatique) et deux nappes captives : la nappe du complexe terminal et la nappe du continental intercalaire (ANRH, 2006).

Les deux nappes, CI et CT sont actuellement, les deux principales ressources hydriques disponibles dans la région d'Oued righ, mais la nappes phréatique (nappe superficielle) peut être considérée actuellement comme ressource hydrique à forte salinité non exploites.

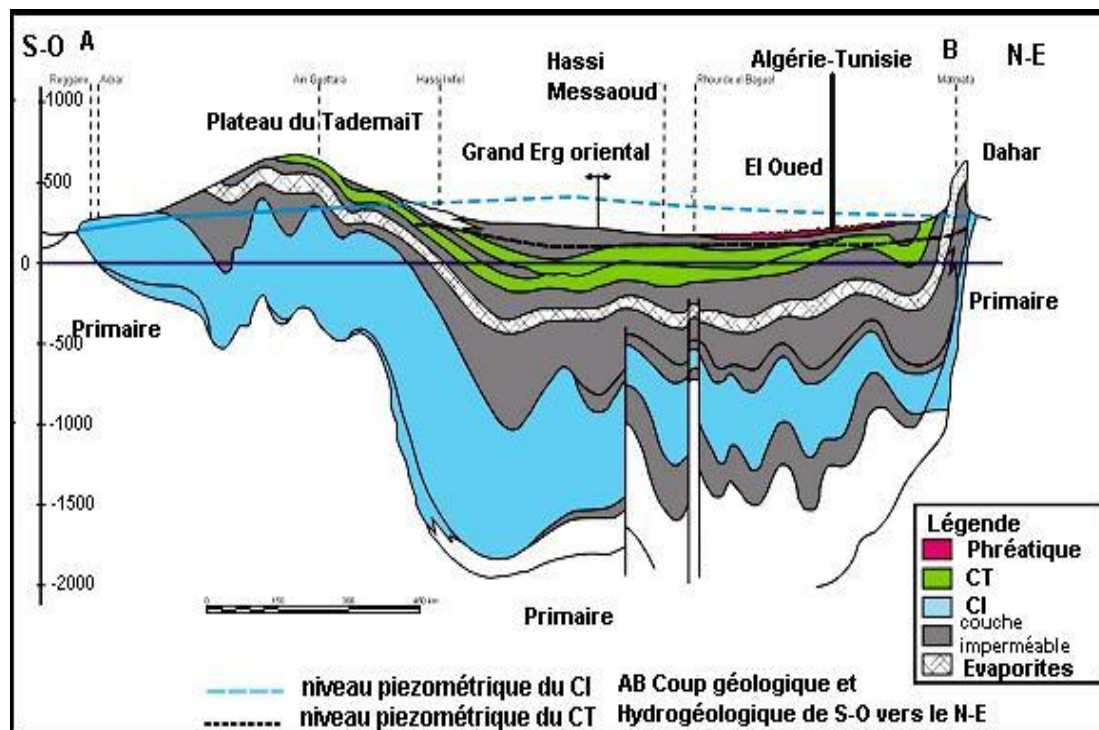


Figure II-2 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)

II.5.1 Nappe continentale Intercalaire (C.I)

La nature lithologique de cette nappe est du gré hétérogène. Elle est captée à une profondeur de 1760 m au Nord de la vallée. La qualité chimique de l'eau est légèrement meilleure par rapport à celle de la continentale terminale ; le résidu sec varie entre 1,6 g/l et 1,9 g/l. L'âge de cette nappe est l'albien, barrémien. La coupe ci-après présente la superposition des nappes suscitées (ANRH, 2006).

II.5.2 Nappe du complexe terminal (C.T)

La nappe du complexe terminal couvre une importante partie du Sahara septentrional (environ 350,000 Km²). Elle est en général peu profonde (100 à 400m). Sa température est de l'ordre de 20 à 30 C° en tête de forage (ANRH, 2006).

Cette nappe, qui était à l'origine artésienne dans toute la région d'Oued Righ, est actuellement marquée par une forte baisse de l'artésianisme des pompages. Trois nappes ont été décrites, elles sont plus ou moins indépendantes :

- ☞ La première nappe est en réalité un réseau de petites nappes communicantes ; elle est située dans les sables argileux du Pliocène.
- ☞ La deuxième nappe est constituée dans les sables de Miocène supérieur.
- ☞ La troisième nappe est située dans les calcaires fissurés de l'Éocène inférieur (ANRH, 2006).

A l'origine, ces trois nappes étaient artésiennes sur l'ensemble de la vallée de l'Oued Righ.

II.5.3 Nappe phréatique

La nappe phréatique repose sur une épaisse couche imperméable, qui s'étend tout au long de vallée de l'Oued m'ya (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

Sa profondeur varie de 1 à 3 m dans les zones urbaines et de 0.5 à 0.9 m dans les zones agricoles. Elle affleure dans les zones hotteuses et peut atteindre 15 m de profondeur dans certaines zones. L'eau s'écoule librement des points hauts vers les points bas. C'est-à-dire, du Sud vers le Nord suivant la pente générale de la vallée (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

La qualité des eaux de la nappe phréatique est très dégradée, la conductivité est très forte. Elle augmente en allant du Sud vers le Nord. Les températures des eaux de cette nappe varient généralement entre 15 et 20°C. Leur salinité est relativement faible dans les zones non irriguées et naturellement drainées vers des sebkhas. La salinité de cette de nappe augmente par contre vers les points bas des zones non irriguées et surtout dans les palmeraies irriguées où elle varie en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation et de la salure du sol irrigué et donc principalement en fonction du rapport irrigation drainage (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

Les analyses des eaux de la nappe phréatique montrent qu'elle est très salée, la conductivité électrique est de l'ordre de 10mmhos/cm à 36 mmhos/cm dans la majorité des cas (MESSAHEL et MEZA, 2003).

II.5.4 Sebkhass et Chotts

Le milieu naturel est constitué des chotts et des Sebkhass qui sont sur le niveau le plus bas de la dépression d'El Meghaier, jouent le rôle de dépression et de décantation. Le chott est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et de sols gypseux de surface et sub-surface, tandis que la présence d'une nappe phréatique permanente [9].

II.6 Conclusion

Les eaux souterraines représentent l'unique ressource en eau existante dans la région du Sahara septentrionale, mais leur mauvaise qualité (salinité) reste toujours un sujet actualité nationale et représente un souci pour la population et les agriculteurs, c'est un facteur qui conditionne le développement démographique et économique des régions du Sud -Est de l'Algérie. Ce sujet nécessite un investissement dans le domaine de déminéralisation des eaux souterraine.



Chapitre III

Osmose inverse

Osmose inverse

III.1 Introduction.

La faible disponibilité des ressources en eau douce de surface, la vulnérabilité des eaux souterraines vis à vis d'une surexploitation (risque d'intrusion saline) ainsi que la pression augmentation démographique posent le problème d'une gestion raisonnée des ressources en eau.

Il apparaît donc particulièrement intéressant de prendre en compte de nouvelles possibilités de gestion des eaux. Parmi ces possibilités figurent la déminéralisation d'eau salée (eau de mer ou nappe souterraine) ou d'eau saumâtre (superficielle ou souterraine).

III.2 Techniques de déminéralisation

Les procédés de déminéralisation peuvent être regroupés en deux grandes familles:

- ☞ Procédés de distillation (ou d'évaporation) ;
- ☞ Procédés membranaires.

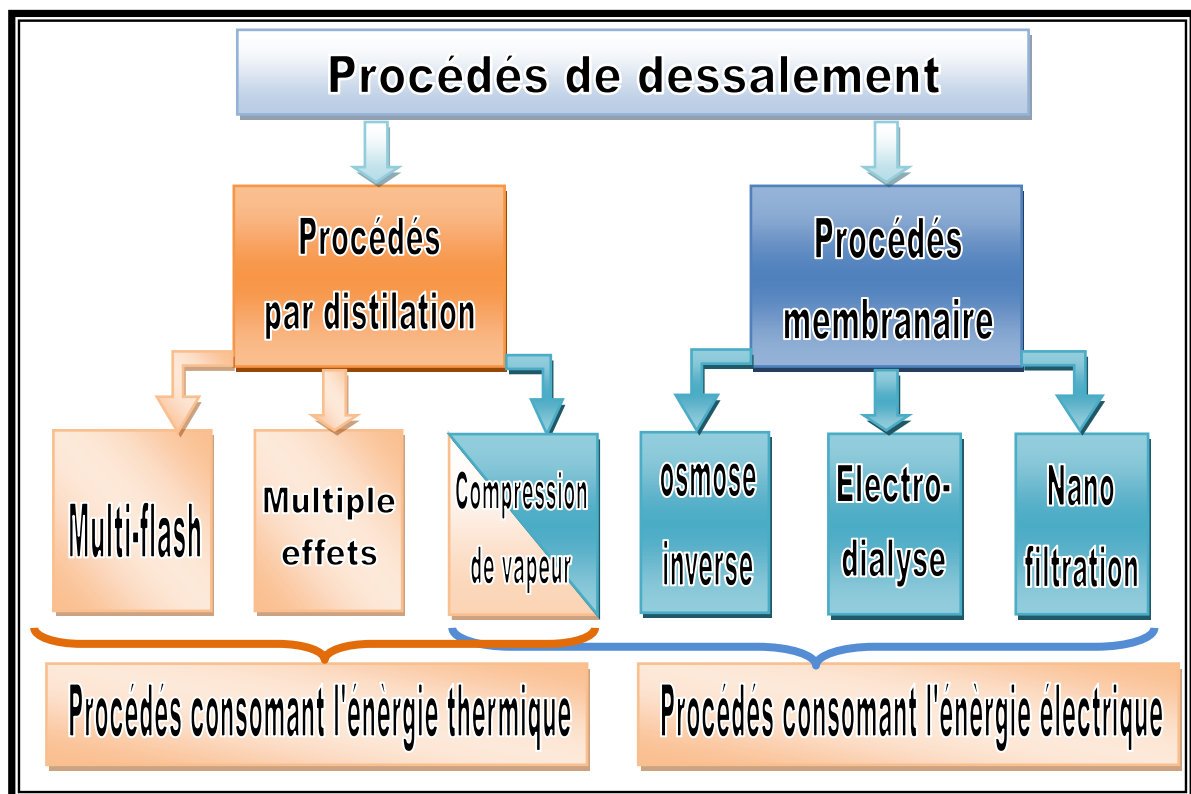


Figure III-1 : Les procédés de déminéralisation (Encyclopédie énergie).

III.3 Historique de l'osmose inverse

Au début du XXe siècle, s'inspirant de la nature osmotique des parois cellulaires, des chercheurs avaient avancé l'idée de l'utilisation d'une membrane pour séparer le sel de l'eau de mer. Dans les années 1960, des chercheurs américains et japonais, qui avaient développé des membranes semi-perméables à des fins industrielles, se rendirent rapidement compte que ces mêmes membranes pourraient être utilisées pour dessaler l'eau de mer.

Dans la nature, l'osmose est un phénomène essentiel aux équilibres biologiques. Mais le procédé industriel est qualifié d'«osmose inverse» car, à l'aide d'une forte pression P (supérieure à la pression osmotique), de l'ordre de 80 bars, on force l'eau salée à passer du compartiment le plus concentré en sel au compartiment d'eau douce. Comme les deux compartiments sont séparés par une membrane, le compartiment d'eau douce s'enrichit en fait en eau douce. Dans la réalité, si on avait laissé faire la nature, sans imposer ni membrane ni pression, l'eau douce se serait chargée en sel et l'eau salée se serait diluée [1].

L'osmose inverse utilise des membranes denses qui laissent passer l'eau et arrêtent tous les sels. Cette technique est utilisée pour :

- ☞ Le dessalement des eaux de mer ;
- ☞ Le dessalement des eaux saumâtres ;
- ☞ La production d'eau ultra pure ;
- ☞ La production d'eau de process... [10].

III.4 Principe de l'osmose inverse

III.4.1 Qu'est-ce que l'osmose?

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous. Après un temps donné, le niveau de l'eau sera plus élevé d'un côté de la membrane. La différence de hauteur est appelée pression osmotique [6].

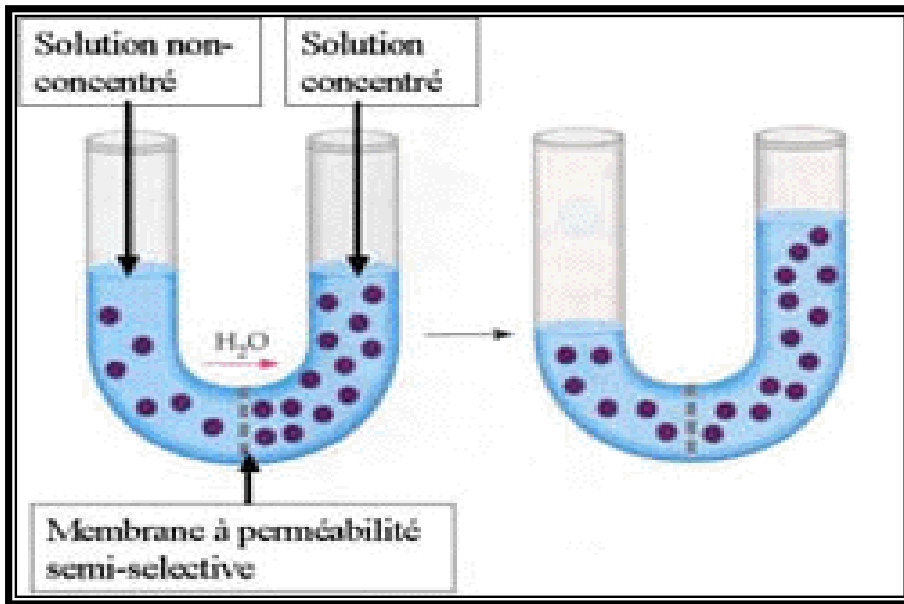


Figure III-2 : Phénomène de l'osmose

III.4.2 Qu'est-ce que l'osmose inverse ?

L'osmose inverse consiste à faire passer l'eau au travers des membranes semi-perméables, sous l'effet de la pression différentielle de la solution concentrée vers la solution diluée. Le taux d'élimination est exprimé en pourcentage de la salinité totale, la réduction de salinité de l'eau saumâtre est supérieure à 92% contre plus de 98,5% pour l'eau de mer [3].

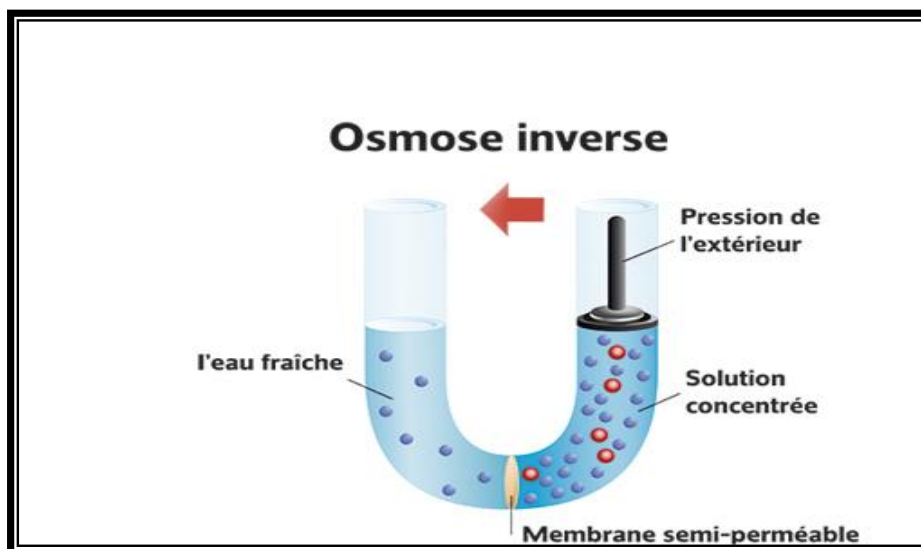


Figure III-3: Procédé de l'osmose inverse easymetal GmbH

L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit 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 (débit Q_p) ;
- ☞ Une partie qui ne passe pas à travers la membrane, appelée concentrât ou retentât (débit Q_c), et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane [2].

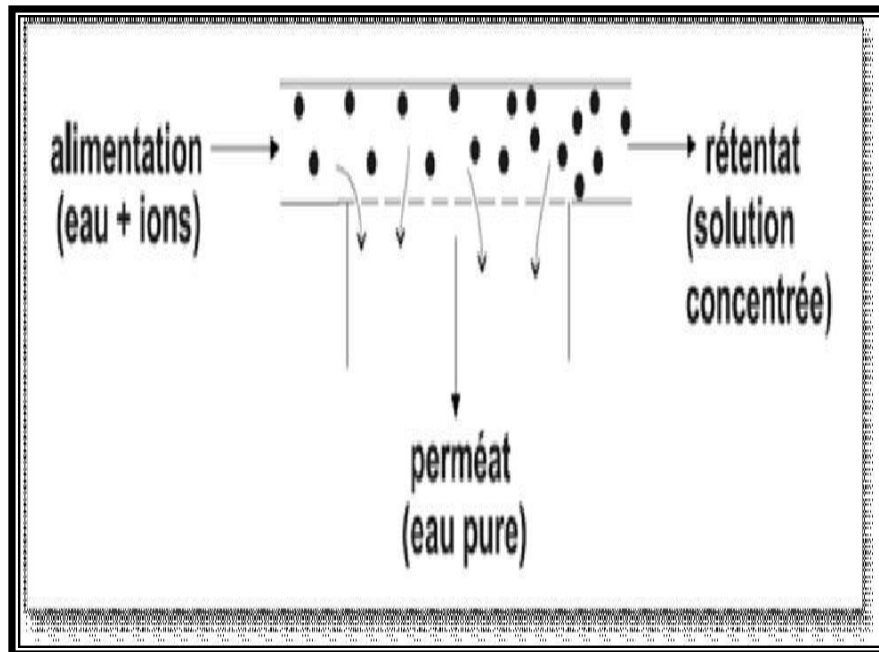


Figure III-4 : Séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane [1].

III.4.3 Pression osmotique:

La pression osmotique peut être calculée par la loi de Van't Hof qui exprime que la pression osmotique exercée par un soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercé dans l'état gazeux parfait dans le même volume (V) et à la même température (T). Si le soluté est dissocié en i ions, la pression osmotique sera i fois supérieure [1].

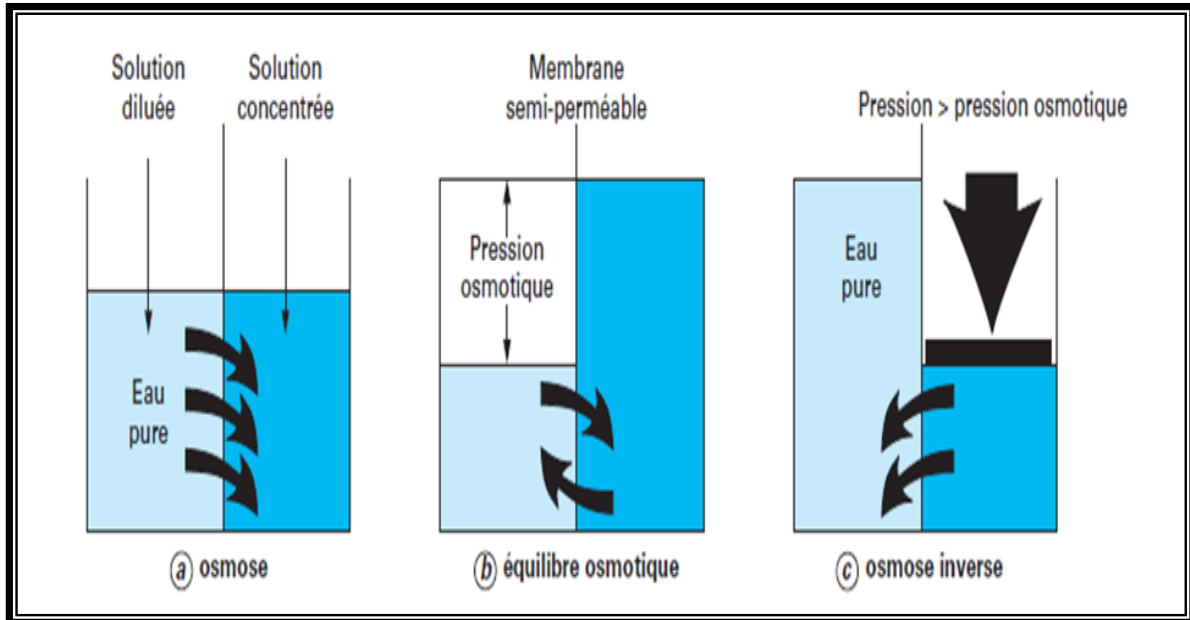


Figure III-5: Pression osmotique [2].

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

$$\Pi = i \cdot C \cdot R \cdot T$$

Avec :

Π : Pression osmotique (bar) ;

i : Nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte ; C : Concentration molaire ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) ;

R : Constante des gaz parfaits ($0,082 \text{ L} \cdot \text{bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ; T : Température absolue (K) [2];

Dans le cas d'une solution saline, la pression osmotique peut être, en première approximation estimée à 0.7 bar par gramme/litre de salinité :

$$\Pi = 0.7 C$$

Avec :

Π : pression osmotique (bar) ;

C : concentration (g/l) [3].

III.5 Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure III.5.

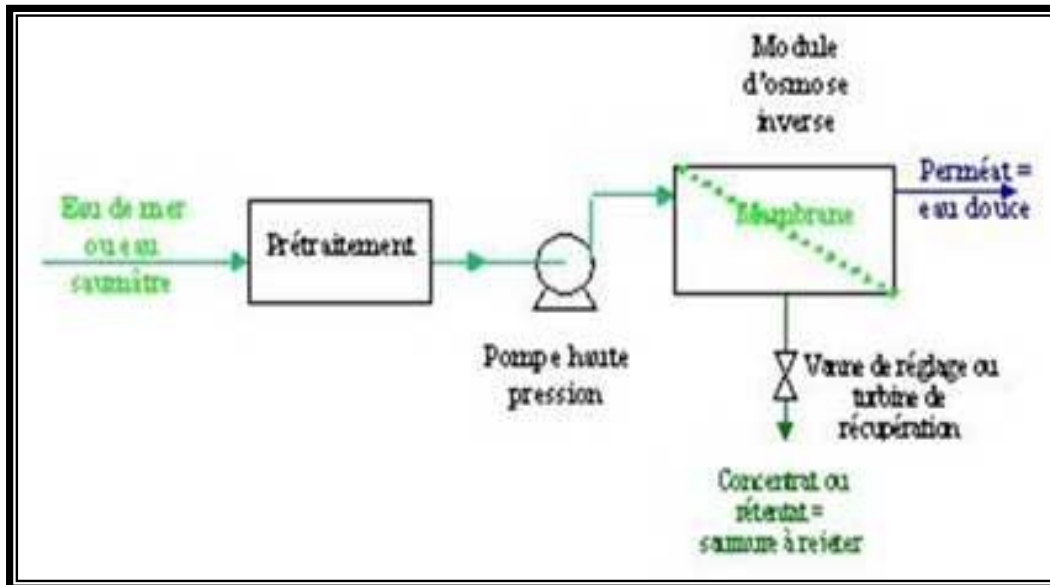


Figure III-6: Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse [10].

III.5.1 Le prétraitement

Destiné à optimiser les performances et la durée de vie des membranes d'osmose inverse, le prétraitement est une étape clé dans la conception des installations de déminéralisation.

Les eaux de mer brutes peuvent connaître une forte variation de leur composition (matières organiques, algues) en fonction de paramètres géographiques, saisonniers (température, luminosité), ou encore de la pollution locale (par exemple, aux hydrocarbures). La qualité des eaux saumâtres peut également varier, mais dans une moindre mesure.

Afin de limiter la vitesse d'encrassement et le colmatage des membranes d'osmose inverse, la chaîne de prétraitement doit être adaptée aux caractéristiques de l'eau brute afin de réduire de façon significative :

☞ La turbidité et la quantité de matières en suspension (MES) : la turbidité doit être en effet inférieure à 0,1.

☞ L'indice de colmatage (SDI) : la valeur cible moyenne de l'indice de colmatage doit être inférieure à 3 en amont des membranes. Diminuer l'indice de colmatage entraîne l'élimination d'algues, de planctons, de micro-organismes et de composants organiques [4].

Il y a deux types de filières de prétraitement : conventionnelle et à membrane.

III.5.1.1 Prétraitement conventionnel

La filière de prétraitement conventionnel dans une usine de déminéralisation de l'eau comporte généralement les étapes suivantes :

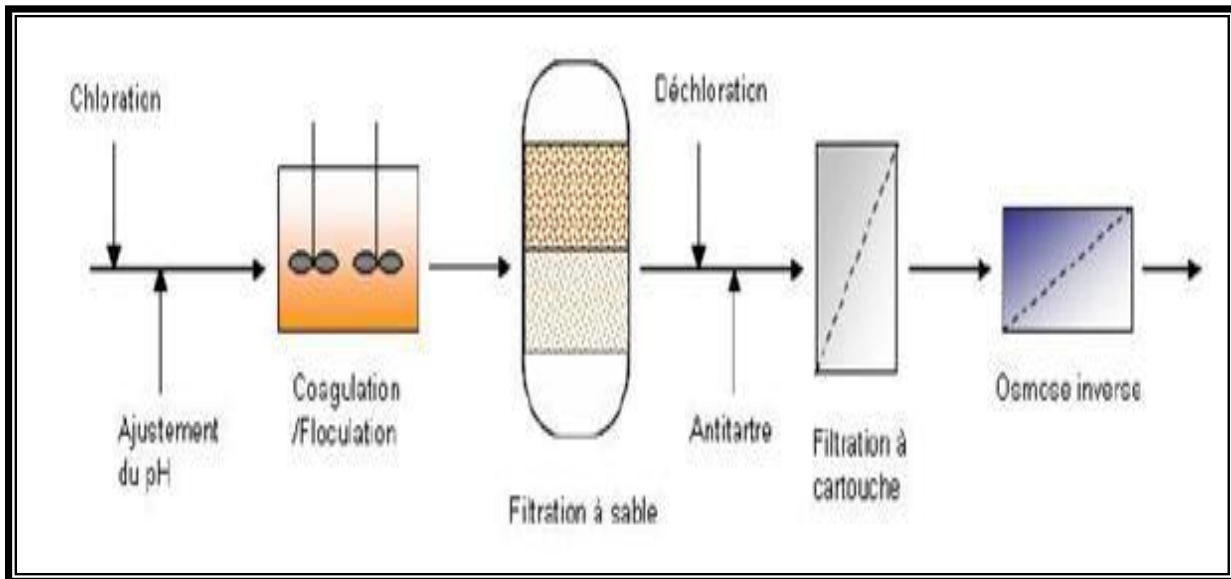


Figure III-7: Prétraitement conventionnel [2].

☞ Pré filtration grossière

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.

☞ Chloration

La chloration a pour objectif de destruction 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 appelés biofouling [6].

☞ Ajustement du pH

L'addition d'acide comme l'acide sulfurique (H_2SO_4) est nécessaire pour empêcher l'entartrage par $CaCO_3$ [6].

☞ **Coagulation et floculation**

La coagulation: le but de la coagulation c'est la neutralisation des charges primaires qui permettent d'annuler les forces de répulsion suivie par le piégeage dans les précipités. Cette neutralisation se déroule par l'intermédiaire des composés de deux métaux lourds Al_3^+ et Fe_3^+ [3].

La floculation : La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquels sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules [2].

☞ **La décantation**

Après l'étape de coagulation floculation, si la densité de ces floes est supérieure à celle de l'eau, il y'a décantation [3].

La décantation est peu utilisée en prétraitement avant osmose inverse.

☞ **Filtration sur sable mono- ou bicouche**

La filtration sur sable est nécessaire pour éliminer les agglomérats produits lors de la coagulation.

✂ le filtre monocouche est constitué par une hauteur de sable de granulométrie comprise entre 0,4 et 1 mm sur une hauteur de 1 m.

✂ le filtre bicouche est constitué par une couche de 0,7 m de sable surmontée d'une couche de 0,3 m d'anthracite [2].

☞ **Déchloration et antitartre**

Compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, membranes les plus utilisées actuellement, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre avant son entrée dans les modules. Cette déchloration est effectuée :

✂ Soit par ajouts de réactifs chimiques : bisulfite de sodium, c'est la solution la plus utilisée car elle est efficace et d'un coût relativement faible.

✂ Soit par passage sur charbon actif (poudre ou grains) : des précautions sont nécessaires pour éviter le colmatage des modules d'OI par des fines de carbone [5].

La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres ($CaCO_3$, $CaCO_4$, $2H_2O...$) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres. Les produits utilisés sont:

- ✘ Les polyphosphates : ces produits sont efficaces et bon marché mais ils peuvent éventuellement former des dépôts d'ortho phosphates par suite de phénomènes d'hydrolyse.
- ✘ Les polymères carboxyliques : efficaces sur la plupart des tartres, ces produits ne posent pas de problèmes pour les rejets. Ils présentent l'inconvénient d'être chers.

L'acidification de l'eau brute, en provoquant la décomposition des bicarbonates, est aussi un moyen efficace de prévenir les dépôts de CaCO_3 [6].

☞ **Filtration sur cartouche**

La dernière étape du prétraitement conventionnel est la filtration sur cartouche avec une taille de maille de 5 à 10 μm pour protéger les membranes d'osmose inverse.

Le choix du prétraitement conventionnel doit donc être adapté selon la qualité de l'eau de mer brute pour assurer la meilleure qualité de l'eau possible en amont des membranes d'osmose inverse [1].

III.5.1.2 Prétraitement par les procédés membranaires

En raison des limitations du prétraitement conventionnel qui viennent d'être évoquées, un intérêt croissant s'est porté sur l'utilisation de procédés membranaires basse pression telles que la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF) et la nano filtration (NF). Les avantages majeurs des procédés membranaires sont les suivants:

- ☞ Flux de l'osmose inverse significativement élevé ;
- ☞ Plus faible consommation de produit chimique ;
- ☞ Augmentation de la durée de vie des membranes d'osmose inverse ;
- ☞ Capacité de fonctionnement à une qualité de l'eau d'alimentation variée ;
- ☞ Désinfection et nettoyage de l'osmose inverse moins nécessaire [10].

III.5.2 Le pompage haut pression

Avant l'entrée dans les membranes d'O.I, l'eau prétraitée arrive au système de pompage de haute pression généralement entre 55 et 85 bars, en fonction de la température et de la salinité [2].

III.5.3 Récupération d'énergie

Dans les stations d'eau de mer principalement, où l'on travaille avec des pressions comprises entre 60 et 90 kg/cm^2 , la récupération de l'énergie contenue dans le débit de rejet, est obligatoire pour des raisons énergétiques-économiques.

Au début, on utilisait des turbines Francis, avec des rendements très bas, de l'ordre de 65%, plus tard on a utilisé des turbines Pelton, avec des efficacités supérieures à 80%.

Récemment, ces dernières sont devenues également obsolètes grâce à l'apparition sur le marché des systèmes d'échange d'énergie, qui, outre des rendements supérieurs à 90%, ont, comme caractéristiques, besoin d'une pompe à haute pression approximativement 50% plus petite que celle d'une station conventionnelle, ce qui a induit d'importantes réductions dans la consommation d'énergie [3].

III.5.4 Post traitement

Les post-traitements consistent principalement à reminéraliser l'eau en la diluant avec une autre source d'eau potable afin d'ajuster sa salinité à des salinités acceptables pour la consommation. Sa dureté et son alcalinité sont également augmentées. Un traitement complémentaire pour éliminer le bore et une chloration peuvent également avoir lieu [4].

L'étape de poste traitement comporte deux phases principales.

Ajustement du pH : L'eau produite par osmose inverse est agressive, son pH est inférieur au pH de saturation. Subséquemment, la correction de pH se fait à l'aide d'une solution alcaline, automatiquement en fonction du pH (NaOH). Cette neutralisation a pour but d'éviter les problèmes liés au CO₂ dissous dans l'eau pour obtenir une eau ni agressive, ni incrustante, car elle présente de multiples inconvénients [8].

Poste chloration : Bien que les membranes d'osmose inverse retiennent tous les micro-organismes (bactéries, virus) ; il est nécessaire d'assurer un résiduel de désinfection pour éviter toute contamination et développement biologique [4].

III.5.5 Poste de nettoyage chimique

Périodiquement, les membranes doivent être nettoyées pour les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à diminuer les performances qualitatives et quantitatives du système. Cette élimination est obtenue en faisant recirculer des solutions chimiques acides (pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques) et basiques (pour les dépôts biologiques et bactériens) [3].

Remarque :

Les principaux paramètres pris en compte pour le dimensionnement et l'agencement des systèmes d'osmose inverse sont :

- ☞ La salinité et la qualité de l'eau d'alimentation ;
- ☞ Le taux de récupération ;

- ☞ La température de l'eau ;
- ☞ La pression de service ;
- ☞ Les spécifications de qualité de l'eau produite.

La fiabilité de fonctionnement et la durée de vie des systèmes d'osmose inverse dépendent de la qualité du prétraitement mise en œuvre dans la filière globale [5].

III.6 Mode de fonctionnement des systèmes membranaires

Il y a deux types de fonctionnement des systèmes membranaires: la filtration frontale (Dead-end) et la filtration tangentielle (cross-flow) [1].

III.6.1 Filtration frontale

En mode frontal (Figure III-8), le flux d'alimentation arrive dans la direction perpendiculaire au plan de la membrane. Les particules solides et les solutés sont retenus à la surface et leur dépôt entraîne une superposition de couches qui vont progressivement provoquer le colmatage par la formation d'un gâteau. Cela exige un nettoyage périodique [1].

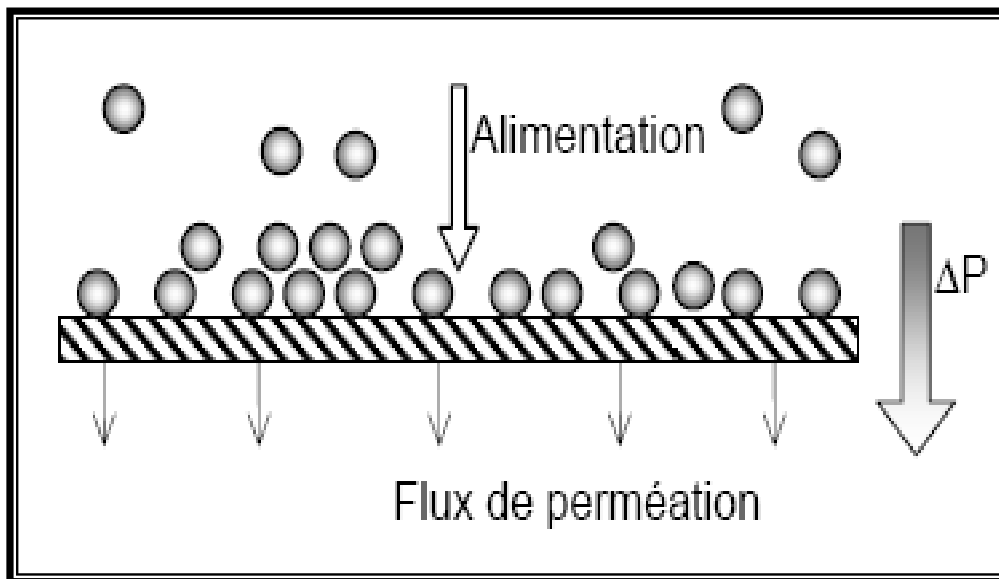


Figure III-8: Présentation du fonctionnement de la filtration frontale [1].

III.6.2 Filtration Tangentielle

En filtration tangentielle, le fluide à traiter entre dans le module pour venir au contact de la membrane suivant un flux tangential. Dans ce mode de mise en œuvre, il y a donc nécessairement une entrée correspondant à l'alimentation et deux sorties qui sont le perméat qui correspond au passage d'une partie du flux initial à travers la membrane et le concentrât ou

retentât qui représente le flux qui n'est pas passé à travers la membrane comme l'illustre la figure III-9 [6].

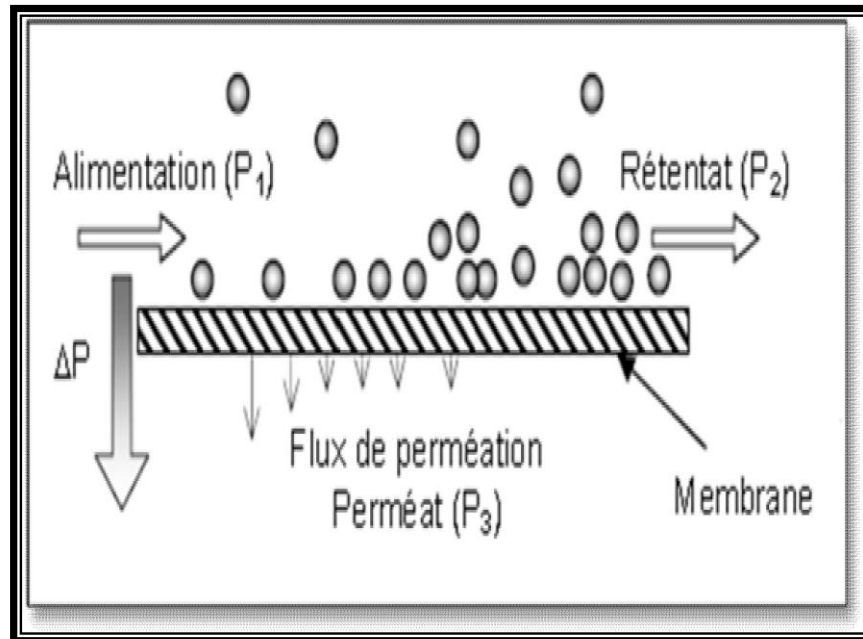


Figure III-9: Principe de fonctionnement de la filtration tangentielle [6].

Le principal avantage de l'écoulement tangentiel, par rapport à l'écoulement frontal, est le fait que le mouvement tangentiel de l'alimentation balaie la surface de la membrane limitant ainsi l'accumulation des particules et réduit par conséquent le processus de colmatage [69].

Suivant la taille des pores du filtre, on peut nommer différemment la filtration :

☞ **Nano filtration (NF)**

La nano filtration (NF) est un procédé de séparation faisant intervenir la pression comme force motrice. Sa capacité de séparation se situe entre l'ultrafiltration (1 à 10 nm) et l'osmose inverse (0,1 à 1 nm). Les membranes utilisées ont un seuil de coupure, variant de 1 à 5 nm, mettant en perméation les ions monovalents et molécules de diamètre équivalent [6].

☞ **Microfiltration (MF)**

Pores sont compris entre 0,1 et 10 μm . Il permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries et indirectement des colloïdes et de certains ions après fixation de ces derniers sur des plus grosses particules obtenues par complexassions, précipitation ou floculation [70].

☞ **Ultrafiltration (UF)**

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 des macro-solutés présents dans les effluents, ou encore dans l’eau à usage domestique, industriel ou médical [7].

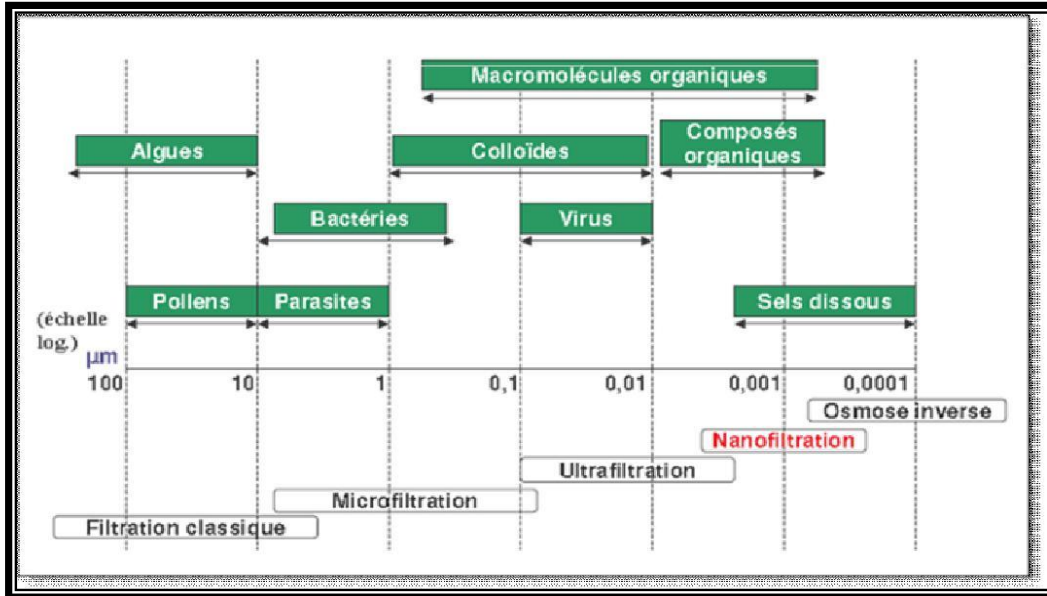


Figure III-10: Taille des matériaux qui sont enlevés par les procédés membranaires [1].

III.7 Paramètres de fonctionnement d’une osmose inverse

☞ **La pression motrice P :** est égale à la pression de refoulement de la pompe diminuée de la pression statique à la sortie du module d’osmose (côté production) et de la perte de charge due à l’écoulement de l’eau.

☞ **La conversion Y,** rapport entre le débit produit et le débit d’alimentation se définit par

$$Y = 100 \times Q_P / Q_A$$

Ce paramètre s’exprime aussi sous la forme du **facteur de conversion FC :**

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

Si Y = 66 %, FC = 3, les sels seront donc concentrés 3 fois en admettant qu’ils sont entièrement retenus par la membrane.

☞ **Le passage de sels PS** se caractérise par le rapport entre la concentration côté production et la concentration côté alimentation :

$$PS = 100 \times C_P / C_A$$

On le note aussi par son complément : le rejet de sels, qui est le rapport entre la concentration côté rejet et la concentration côté alimentation [2] :

$$RS = 100 \times C_R / C_A = 100 - PS$$

☞ **La sélectivité R** d'une membrane est définie par le taux de rejet R (ou taux de rétention) de l'espèce que la membrane est censée retenir:

$$R = C_0 - C_P / C_0 = 1 - C_P / C_0$$

Où

C_0 : la concentration de l'espèce à retenir dans la solution ;

C_P : la concentration de la même espèce dans le perméat [1].

☞ **Débits spécifiques ou densité de flux volumique** : Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité de flux volumique) doit être le plus élevé possible de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par la même l'investissement [3].

III.8 Mécanisme de transfert

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 transfert ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. Les séparations sont donc d'origine chimique et sont liées au pouvoir solvant de la membrane.

Le flux massique J_{solvant} (kg. m⁻².s⁻¹) de solvant et le débit volumique de solvant (m³.s⁻¹) traversant la membrane sont donnés par les relations:

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

Où

A : est la perméabilité de la membrane au solvant (m⁻¹.s) ;

S : la surface de la membrane (m²) ;

ρ : la masse volumique du solvant (kg. m⁻³) ;

ΔP : la différence de pression de part et d'autre de la membrane ;

$\Delta\Pi$: la différence de pression osmotique de part et d'autre de la membrane.

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 que le taux de rejet d'une membrane augmente lorsque la pression efficace augmente [3].

III.9 Membranes d'osmose inverse

III.9.1 Présentation des membranes

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

III.9.2 Type de membranes d'osmose inverse

Parmi les membranes d'osmose inverse utilisées, on peut citer :

☞ Membranes organiques

Les premières membranes organiques ont été réalisées à partir de dérivés cellulosiques et de polyamides aromatiques. La trop grande sensibilité de ces matières vis-à-vis des bactéries leur a fait préférer les matériaux suivants : Acétate de cellulose, Polysulfone, Aramide, Polyacrylonitrile, Polypropylène. Leur méthode de fabrication est basée sur un mélange de polymère et de solvant. L'évaporation de ce collodion permet de distinguer des zones riches en polymère donnant la membrane et des zones creuses donnant les pores. Les membranes organiques sont assez sensibles au pH acide et aux fortes températures [6].

☞ Membranes minérales ou inorganiques

Ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement les matières céramiques, le métal fritté et le verre. Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique [1].

☞ Membranes composites

Elles sont caractérisées par une structure assymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique [3]. Elles peuvent être organiques, organo-minérales ou minérales;

☞ Membranes à charge électrique

Ces membranes peuvent être denses ou poreuses. Les parois des pores sont chargées d'ions positifs ou négatifs. Les membranes chargées positivement favorisent le passage de cations, celles chargées négativement favorisent le passage d'anions. Donc la séparation avec des membranes chargées est basée principalement sur la répulsion d'ions de même charge, mais aussi par la taille des pores. La séparation est contrôlée par la charge et la concentration des ions [8].

III.9.3 Durée de vie des membranes

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la membrane mais aussi de ses conditions d'utilisation, notamment:

- ☞ La Pression de fonctionnement ;
- ☞ La Température de l'eau ;
- ☞ Le pH de l'eau ;
- ☞ La qualité du prétraitement.

Enfin, la notion même de la durée de vie d'une membrane n'est pas très nette. Les performances d'une membrane d'osmose inverse évoluent lentement au cours du temps et en général on change les membranes lorsque la qualité du perméat dépasse un certain seuil. Mais pour différentes raisons, l'exploitant peut très bien augmenter la durée de vie des membranes en faisant fonctionner l'installation au-delà de ce seuil [2].

III.10 Les modules d'osmose inverse

III.10.1 Définition des modules

Les appareils unitaires de séparation, mettant en œuvre des membranes, sont appelés « cartouches » ou « modules ». Leur conception est différente suivant la forme de membrane et doit, à la fois, assurer une circulation suffisante à la surface de celle-ci et présenter une bonne compacité. Ils sont aussi conçus en fonction de l'application à venir et doivent satisfaire aux facilités d'exploitation (montage, démontage, nettoyage) [3].

III.10.2 Les types de modules

Les modules supportent les membranes. Actuellement quatre types de modules sont commercialisés :

☞ Les modules tubulaires

Les membranes sont placées ou formées à l'intérieur d'un tube support, poreux ou percé de trous de drainage, et de diamètre variant de 10 à 40 μm . Ces tubes sont ensuite placés en parallèle ou en série dans une enveloppe cylindrique pour constituer le module unitaire.

L'hydrodynamique de l'écoulement est parfaitement définie et des vitesses de circulation pouvant atteindre 6 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ sont possibles si un régime de forte turbulence est nécessaire. Ces modules ne nécessitent pas de pré filtration fine du liquide à traiter et sont faciles à nettoyer. Leur inconvénient majeur est leur faible compacité et un prix de revient élevé par m^2 installé [12].

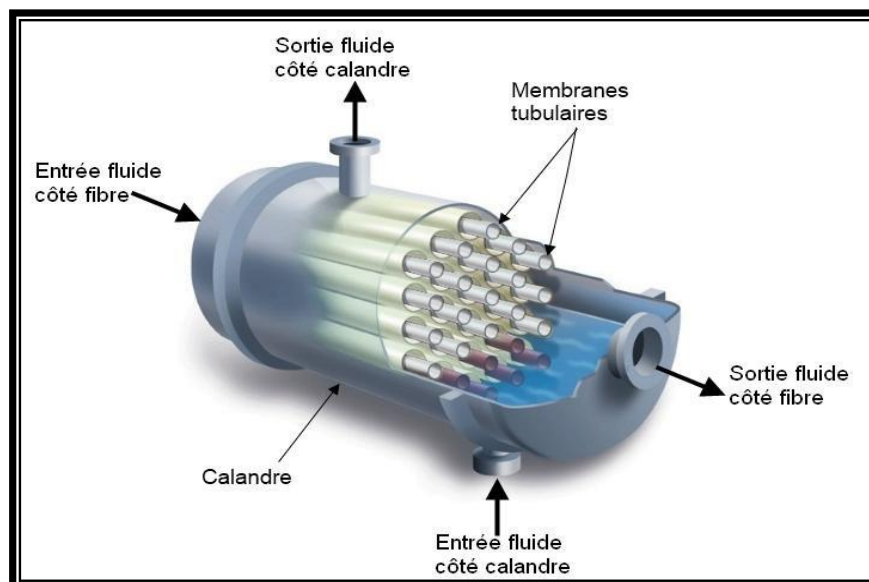


Figure III-11 :Module à membrane tubulaire [2].

☞ Les modules à fibres creuses

Ils rassemblent un ensemble de fibres creuses de quelques centimètres à un mètre de longueur et dont l'épaisseur est de l'ordre de 100 à 200 μm en un faisceau de diamètre inférieur à 3.

Elles sont assemblées en parallèle selon deux configurations possibles :

☒ **Int-Ext** : la solution à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangentiel. Cette technique est habituellement utilisée lorsque l'on est intéressé par le concentrât (Figure III-12, schéma a).

☒ **Ext-Int** : la solution circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres en mode frontal. Cette technique est habituellement utilisée lorsque l'on est intéressé par le perméat (Figure III-12, schémas b et c) [7].

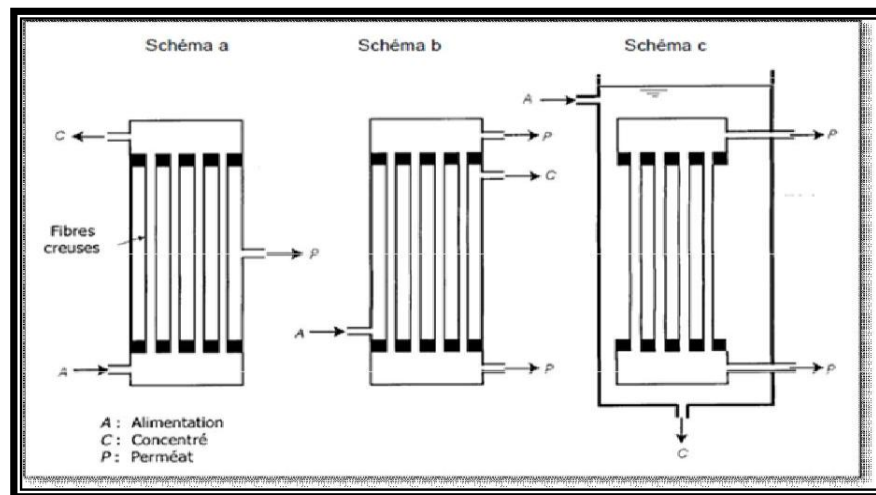


Figure III-12: Modules à fibres creuses [2]

☞ Modules à plaques

Le système utilise des membranes sous forme de feuilles. Il s'agit du type de configuration (filtre-presse) le plus simple. La surface filtrante reste toutefois faible par rapport à l'encombrement [2].

- 1-Entrée d'eau brute.
- 2 - Sortie du concentrat.
- 3 - Sortie du perméat.
- 4-Plaque intermédiaire.
- 5-Ensemble membrane - plaque support membrane.

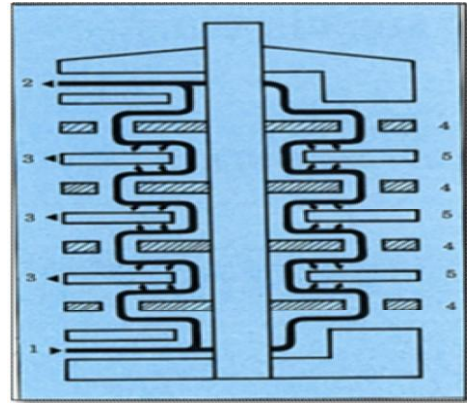


Figure III-13: Exemple de module à plaques [1].

☞ Les modules spiralés

Les membranes planes sont enroulées en spirale autour d'un tube creux et perforé destiné à collecter le perméat. Entre les membranes est placé un grillage plastique de 0,8 à 1,2 mm d'épaisseur, qui a pour but de créer une turbulence dans la circulation du fluide. On obtient ainsi un cylindre multi-couches où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux.

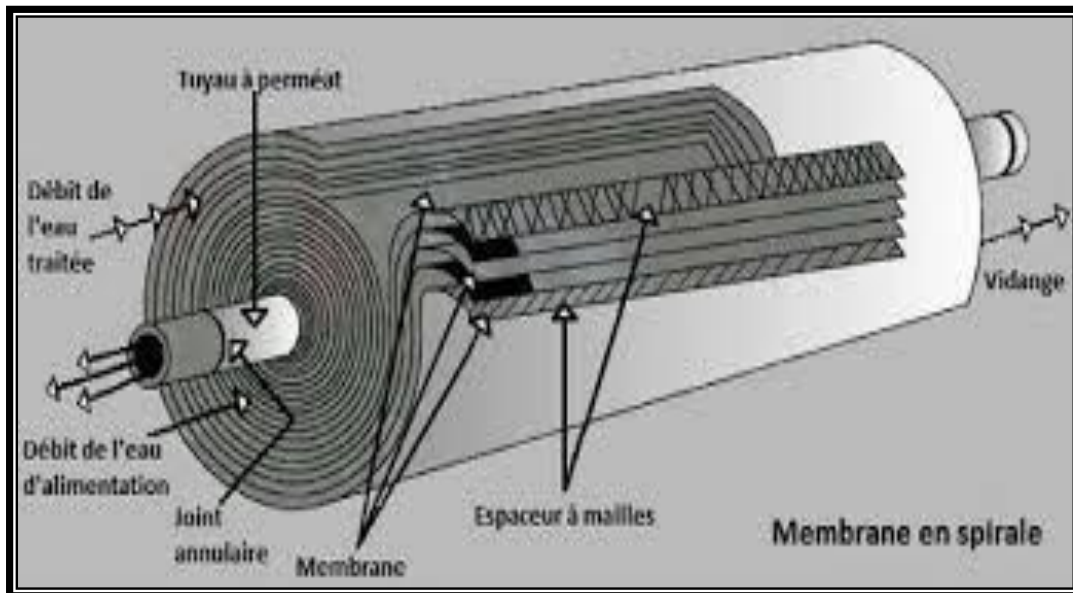


Figure III-14: Description d'un module spiralé d'osmose inverse [1].

III.11 La consommation énergétique et le coût de l'osmose inverse

Le procédé d'osmose inverse ne faisant pas intervenir de changement de phase doit présenter une consommation d'énergie plus faible que d'autres procédés de séparation telle que

la distillation par exemple. En fait, la consommation d'énergie est toujours supérieure au minimum théorique.

Comme pour toute technologie, le coût énergétique et économique du procédé doit être réduit au maximum. Le principal coût est celui de la pompe qui doit appliquer la pression de travail et représente une consommation électrique de 7 à 10 kWh. m⁻³ d'eau produite sans récupération d'énergie. Il est plus important pour le traitement des eaux de mer que pour celui des eaux saumâtres moins concentrées. Le coût énergétique et économique augmente également avec la concentration en sels. Outre les systèmes de récupération d'énergie (baisse de la demande énergétique à 5 à 7 kWh. m⁻³), il est intéressant d'envisager le couplage de l'OI avec des sources d'énergie renouvelable comme le solaire, l'éolien ou la géothermie [4].

III.12 Limitations de l'osmose inverse

III.12.1 Définition du colmatage

Le colmatage peut être défini comme l'ensemble des phénomènes qui interviennent dans la modification des propriétés filtrantes d'une membrane, excepté la compaction et la modification chimique. Il s'agit de phénomènes physiques, chimiques, biologiques, se produisant à l'interface membrane-solution ou dans le volume poreux, dont la conséquence est une obstruction des pores entraînant à la fois des variations de perméabilité et de sélectivité.

III.12.2 Les types de colmatage

Dans le cas de l'OI, le phénomène de colmatage peut être classifié en 4 catégories suivantes:

III.12.2.1 Colmatage par entartrage

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation et l'augmentation rapide de la vitesse de déposition. Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et former une couche fine qui bloque le transfert de matières à travers la membrane. Les dépôts de tartre rencontrés le plus fréquemment dans la déminéralisation comportent du carbonate de calcium, du sulfate de calcium, de l'hydroxyde de magnésium et des dépôts de silice [2].

III.12.2.2 Colmatage par dépôt

Le colmatage d'une membrane peut résulter soit de l'obstruction des pores à l'intérieur même de la membrane (blocage des pores), soit d'un dépôt de matières en surface de la membrane par convection.

☞ **Le blocage des pores :** Il s'agit de la pénétration et du blocage, partiel ou total, des pores de la membrane par des particules sur lesquelles des composés peuvent être adsorbés [2].

☞ **Colmatage par dépôt de matières par convection :** La présence de particules dans les fluides peut conduire au simple dépôt de ces particules à la surface de la membrane, pour peu que leur taille soit supérieure ou égale à la taille des pores de la membrane [1].

III.12.2.3 Colmatage par adsorption

L'adsorption est un phénomène irréversible dû aux interactions physico-chimiques entre le soluté et la membrane. Elle se traduit par la formation d'une ou de plusieurs couches moléculaires à la surface de la membrane et/ ou à l'intérieur des pores. Il s'agit d'un type de colmatage irréversible c'est-à-dire que son élimination nécessite un lavage chimique adapté [1].

III.12.2.4 Le bio-colmatage

Toutes les eaux de mer contiennent des microorganismes tels que des bactéries, des algues, des virus, etc. Ces microorganismes excrètent des substances polymériques extracellulaires qui adhèrent à la surface de la membrane et provoquent la formation d'un biofilm.

En osmose inverse, le colmatage par biofilm est un phénomène majeur [6].

III.12.3 Estimation du potentiel de colmatage

Pour caractériser le colmatage des membranes d'OI, différentes méthodes d'évaluation du potentiel de colmatage d'une eau ont été développées. Les plus utilisées sont le Silt Density Index (SDI) et le Modified Fouling Index (MFI) [72].

III.12.3.1 SDI (Silt Density Index)

Le SDI est considéré comme un paramètre représentatif du potentiel de colmatage d'une eau saline d'alimentation dans un procédé d'OI. Il dépend de la quantité de particules mais également des autres composants colloïdaux. Un essai de SDI consiste en la filtration d'un échantillon d'eau à travers une membrane de $0,45 \mu\text{m}$ (microfiltration) de surface filtrante $1,73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ à une pression transmembranaire constante de 2,07 bar. Le SDI est déterminé par

une comparaison des temps de filtration, t_1 et t_2 , nécessaires pour obtenir un volume de filtration fixe respectivement au temps 0 et après un temps t .

$$SDI_t = \frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right) * 100}{t}$$

Avec :

SDI : Silt Density Index ($\% \text{min}^{-1}$)

t_1 : temps initial pour filtrer un échantillon de 500 mL (sec) ; t : temps après le départ de la mesure (min) ;

t_2 : temps pour filtrer un échantillon de 500 ml après le temps t (sec).

Le SDI_{15} ($t = 15$ minutes) est défini comme le temps nécessaire pour des essais précis et normalisés [9].

Le SDI doit être inférieur à 5 pour l’OI. L’utilisation du SDI est largement répandue dans la déminéralisation. Cependant, cet indice présente plusieurs limitations : il n’utilise pas une membrane d’osmose mais une membrane de microfiltration, la pression utilisée pour ce test est très inférieure aux pressions appliquées en OI et les essais sont effectués en mode frontal et non tangentiel comme en OI [4].

III.12.3.2 MFI (Modified Fouling Index)

Il s’agit ici de décomposer la filtration en trois étapes intervenant successivement : blocage de pores, formation d’un gâteau incompressible et formation d’un gâteau compressible. Pour une filtration frontale à pression constante, la formation d’un gâteau incompressible conduit à une relation linéaire entre t/V et V ().

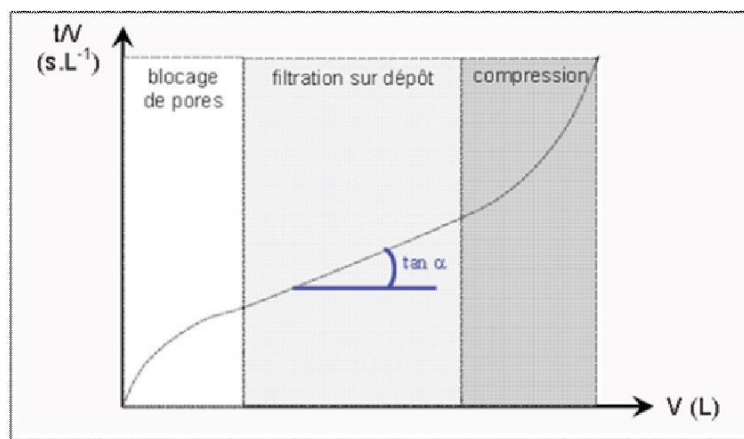


Figure III-15: Détermination graphique du MFI [83].

Le MFI est alors déterminé graphiquement en prenant la pente de la partie linéaire du tracé $t/V=f(V)$. Il correspond spécifiquement au colmatage par formation d'un gâteau à la surface de la membrane.

Comme une membrane de 0,45 μm est utilisée dans ce test, et pour se différencier d'un autre indicateur développé ultérieurement, l'indicateur est noté $MFI_{0,45}$ [8].

De façon pratique, la détermination du MFI est similaire à celle du SDI. Cet indice a donc aussi pour objectif de caractériser la fraction particulaire des eaux plus que directement le colmatage des membranes d'OI. Le volume filtré est mesuré à la pression transmembranaire 210 kPa (2,07 bar) toutes les 30 secondes pendant le temps maximum de 20 minutes.

Le MFI peut être calculé par :

$$MFI = \frac{\mu_{20}}{\mu_T} \frac{\Delta P}{\Delta P_0} \tan \alpha$$

Avec :

μ_{20} : Viscosité de l'eau à la température 20°C (Pa.s) ;

μ_T : Viscosité de l'eau à la température de la solution (Pa.s) ;

ΔP : Pression Transmembranaire appliquée (kPa) ;

ΔP_0 : Pression Transmembranaire à 210 kPa (Référence) ;

$\tan \alpha$: Pente de la partie linéaire de la courbe de $t/V=f(V)$.

Pour un fonctionnement satisfaisant de l'OI, le MFI recommandé est situé entre 0 et 2 s/L2. En pratique, dans les usines d'osmose inverse, le MFI ne peut pas être corrélé avec le colmatage dû aux colloïdes. Ce dernier est certainement lié à la présence de particules colloïdales plus petites que 0,45 μm . Par conséquent, le MFI présente la même limitation dans l'estimation du pouvoir de colmatage que le SDI [6].

III.12.3.3 MFI-UF (Modified Fouling Index by using Ultrafiltration membrane)

Contrairement aux indicateurs précédents (SDI et $MFI_{0,45}$), cet indicateur est déterminé à partir d'un test réalisé avec une membrane d'UF donc avec des pores plus fins. Cela vise à mieux caractériser le pouvoir colmatant des eaux qui contiennent des colloïdes assez fins pour passer à travers une membrane dont la porosité est de 0,45 μm . Il est vrai que le gâteau formé sur une membrane de 0,45 μm retient une partie des particules de plus petite taille que celle des

pores de la membrane. Mais en choisissant une membrane d'UF de faible SC, tous les colloïdes devraient être retenus. Donc le MFI-UF devrait mieux rendre compte que le SDI et le MFI0, 45 du colmatage observé en NF ou en OI où les membranes ont des pores extrêmement fins [4].

Le MFI-UF est défini comme le MFI :

$$MFI - UF = \frac{\mu_{20}}{\mu_T} \frac{\Delta P}{\Delta P_0} \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 \tan \alpha$$

Avec :

S : Surface de la membrane (m²) ;

S₀ : Surface de la membrane du test de MFI (17,34X10⁻⁴, m²).

Les valeurs de MFI-UF se situent de 2 000 à 13 300 s. L⁻² [6].

III.13 Le nettoyage des membranes :

Trois types de nettoyage sont de façon générale pratiqués :

III.13.1 Les rétro lavages :

Les rétro lavages consistent à inverser le sens d'écoulement au travers de la membrane et le gradient de pression de façon à envoyer le perméat au travers de la membrane et ainsi permettre l'évacuation du dépôt et des particules participant au blocage de pores.

Le succès d'une opération de filtration passe par une bonne efficacité des rétro lavages de façon à maintenir une productivité élevée. Ainsi, si les rétro lavages sont généralement réalisés à l'aide du perméat, il est aussi proposé d'utiliser de l'air et du perméat ou encore uniquement de l'air.

Les rétro lavages, quel que soit leur mode de mise en œuvre, ne permettent généralement pas d'assurer la restauration intégrale à long terme de la perméabilité des membranes [3].

III.13.2 Les nettoyages chimiques :

Le nettoyage chimique est presque toujours nécessaire si l'on veut que l'installation fonctionne suivant ses performances nominales.

La décision d'effectuer un nettoyage chimique d'un module d'osmose inverse peut être liée :

- ☞ Soit à une valeur de la perte de charge que l'on s'impose comme maximum à ne pas dépasser ;
- ☞ Soit à une valeur du débit de perméat lorsque la diminution atteint 20 à 25% par rapport au débit nominale ;

☞ Soit à un programme de nettoyage systématique prédéterminé. Ceci est utilisé lorsque l'on a une installation importante qui comporte un nombre élevé de modules. On peut ainsi avoir une partie des modules en nettoyage tandis que le reste assure la production [4].

III.13.3 Nettoyage enzymatique :

Ce type de nettoyage constitue une alternative aux traitements chimiques. Il peut être appliqué dans les cas de membranes sensibles aux réactifs chimiques, au pH ou à la température élevée, ainsi que dans les cas de colmatage avancé. Bien que peu énergivores et biodégradables, les enzymes requièrent des temps de traitement plus longs que les traitements chimiques et sont aussi plus coûteux. Pour ces raisons, ils sont peu souvent adoptés.

Bien entendu, ces nettoyages présentent plusieurs inconvénients de taille : arrêt de la production pour réaliser le nettoyage, consommation élevée en eau pour rincer l'installation, utilisation de produits chimiques néfastes pour l'environnement, traitement nécessaire des effluents de nettoyage, dégradation des propriétés mécaniques des membranes [3].

III.14 Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse:

a) Les avantages:

- ☒ Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ;
- ☒ Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5Kwh/m³) ;
- ☒ Une flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau ;
- ☒ Un coût d'investissement relativement bas ;
- ☒ Une durée de mise en œuvre réduite [1].
- ☒ Après l'osmose inverse on obtient une eau très pure possédant des mesures bioélectroniques parfaites pour la santé, pratiquement identiques qu'à celles des eaux de sources les plus naturelles :
- ☒ PH légèrement acide de 6.6 (idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments et rééquilibrage de pH du sang généralement trop toxique).
- ☒ Résistivité élevée 20000 à 30000 ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins [1].

b) Les inconvénients :

Malgré les avantages, il y a aussi des inconvénients comme:

- ☒ Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions ;
- ☒ Nécessité d'un personnel qualifié ;
- ☒ Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement ;

- ✗ Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent [5].
- ✗ La perte de cinq litres d'eau pour un litre d'eau osmosée car la membrane doit être continuellement nettoyée.
- ✗ Comme l'eau est déminéralisée, elle est agressive et corrosive pour les tuyauteries.
- ✗ L'eau perd tous ses minéraux y compris les minéraux bénéfiques comme certains alcalins, notamment le calcium et le magnésium. Il est donc préférable de reminéraliser l'eau avant de la boire [4].

III.15 Conclusion :

La déminéralisation de l'eau souterraine par osmose inverse est à l'heure actuelle un procédé majeur pour la production d'eau potable dans les pays souffrant d'une pénurie d'eau douce. L'objectif principal de cette technique est l'élimination des sels, des matières organiques et des microorganismes présents dans l'eau souterraine.

Les avantages de l'osmose inverse sont sa simplicité de mise en œuvre et son faible coût énergétique par rapport à la déminéralisation thermique [1].

Cependant, ce procédé possède encore des limitations. La principale limitation est due à la pression de travail qui doit être appliquée pour vaincre la pression osmotique. Cette pression osmotique est d'autant plus importante que la concentration en sels augmente ce qui limite les taux de conversion pouvant être obtenus avec l'osmose inverse.

De plus, bien que le phénomène de polarisation de concentration contribue à réduire les flux produits, le phénomène de colmatage rend le procédé très sensible à la qualité des prétraitements et le problème de concentrats qui sont rejetés sans traitement dans les oueds, modifie fortement l'équilibre et la biodiversité [4].

Partie 2

ETUDES EXPERIMENTALE



Chapitre VI

Matériels et méthodes

Matériels et méthodes

IV.1 Introduction

L'osmose inverse est une technique de séparation par membrane dense dont la force motrice est un gradient de pression. Ce procédé peut être défini comme un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane semi-perméable. L'intérêt de cette technique réside dans le fait qu'elle permet d'arrêter des molécules ou des ions et laisse passer les molécules d'eau.

La station de déminéralisation pour cette étude expérimentale est dotée par un système d'osmose inverse assurer le traitement des eaux. Les analyses ont été réalisées au laboratoire de station de déminéralisation d'El Meghaier sur des échantillons d'eaux brute de (cinq) forages et les eaux traitées.

IV.2 Objectifs

Les principaux objectifs fixés dans le cadre de ce travail de recherche est :

- ☞ L'évaluation des résultats d'analyses physico-chimique des ces échantillons de l'eau brut et l'eau osmose et l'eau sortie pour voir le rendement de fonctionnement des membranes d'osmose inverse.
- ☞ Démontrer L'efficacité de station de déminéralisation des eaux par le procède d'osmose inverse à partir de la discussion des résultats d'analyse physico-chimique des eaux traitée.

IV.3 La station de déminéralisation d'El Meghaier



Figure IV-1 : photos de la station de déminéralisation d'El Meghaier.

IV.3.1 Présentation de la station

La station de déminéralisation des eaux d'El Meghaier a mis en service en novembre 2018, avec un débit de 14200 m³/ jours, distribués sur 4 (quatre) châteaux d'eau, qui assurent l'alimentation en eau potable toute la ville.

Elle est réalisée par une société Algérienne s'appelle AMENHYD, cette dernière exploite la station durant 2 (deux) ans après la mise en service pour garantir les travaux.

Elle est équipée par un laboratoire d'analyse des eaux, administration, salle contrôle, et l'ensemble des appareils qui assurent le traitement des eaux par plusieurs étapes.

La source d'eau brute est assurée par (cinq) forages, dont 4 (quatre) externe, et un interne, avec débit total de 16000 m³/jours.

IV.3.2 Fonctionnement de la station

La station de déminéralisation d'El Meghaier est dotée de 2(deux) lignes d'une d'osmose inverse de capacité de production de 14200 m³ par jour, elle est alimentée en eau par 5(cinq) forages sédimentées (eau brute) préalablement traitée avant son passage a travers des filtres à sable, ce traitement consiste à injecter en permanence 1,5 à 2 mg/l du hypochlorite de sodium et ainsi de flocculent (TD – WASH 1) à l'aide des pompes doseuse.

L'eau pré traitée est collectée dans un réservoir de 150 m³, ensuite passe par un système de vannes et parallèlement reçoit une dose de métabiosulfite de sodium et du séquestrant TD – ASCAL (annexe), puis l'eau pré traitée traverse les filtres à cartouches ayant un seuil de coupure de 5 µm.

L'eau filtrée parcourt le 1er étage de l'osmoseur sous pression de l'ordre de 13 bars exercés par 3 pompes géantes à haute pression.

Le perméat (eau osmosée) est stocké dans un bac de 400 m³, et les rejets de 1er sont introduits dans le 2eme étage de l'osmoseur sous une pression de 10 bars.

L'alimentation en eau potable, est mélange de 80 % d'eau traitée et 20 % d'eau filtrée.

La chloration de l'eau se fait au niveau de la station.

Le processus général de traitement de l'eau par osmose inverse est schématisé dans la figure IV-2.

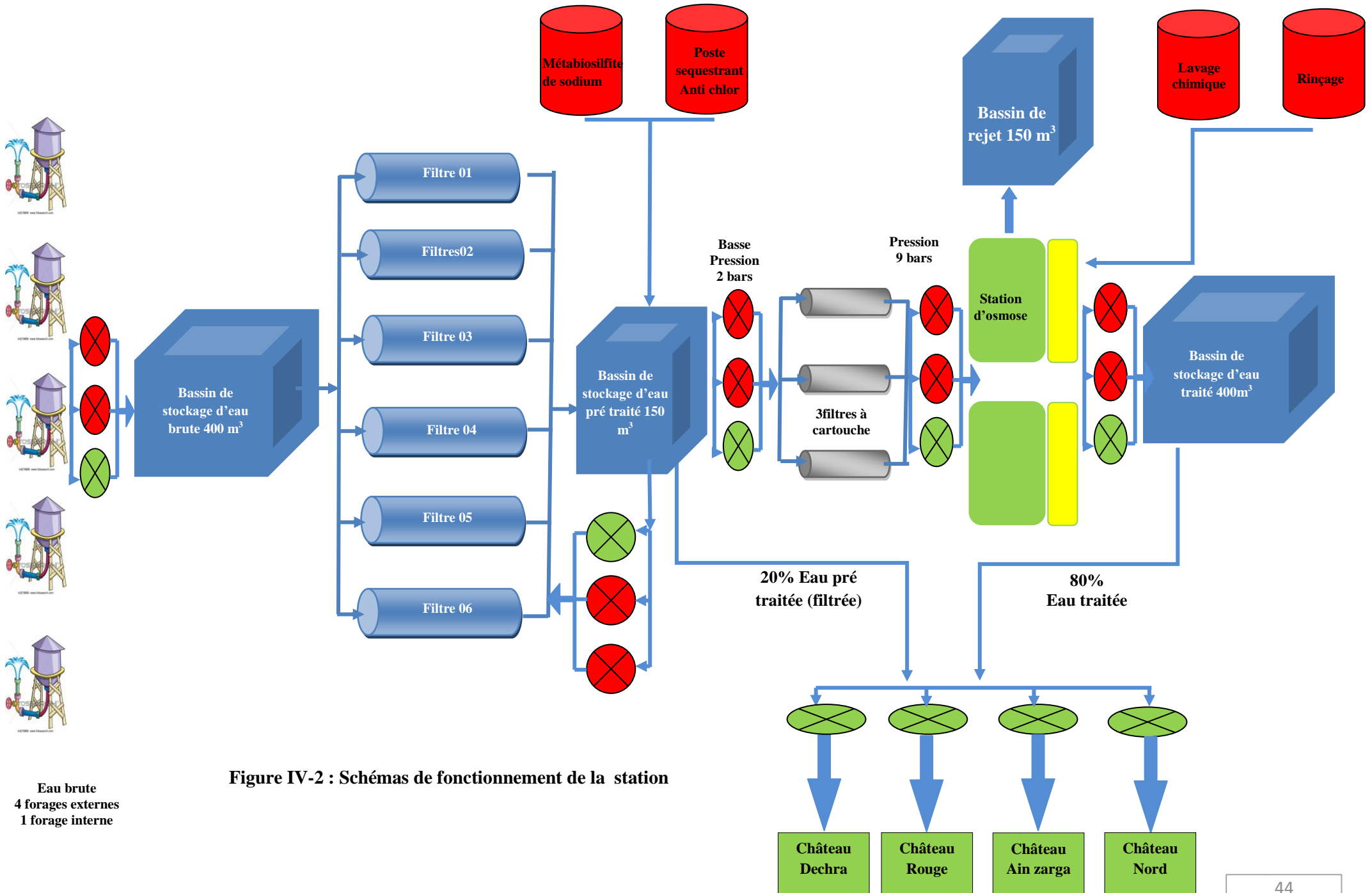


Figure IV-2 : Schémas de fonctionnement de la station

Eau brute
4 forages externes
1 forage interne

IV.3.3 Les composants de la station

IV.3.3.1 Les forages

Ce sont 5(cinq) forages, avec un débit moyen de 130 m³/heure.

IV.3.3.2 Bassin de stockage d'eau brute

Le bassin a un volume de 400 m³, réalisé en béton armé de forme rectangulaire, le nettoyage de bassin est fait périodiquement si nécessaire.



Figure IV-3 : Bassin de stockage des eaux brutes

IV.3.3.3 Pompe d'alimentation des filtres à sable

Trois pompes d'eau de haute pression fonctionnent alternativement, une en service et deux en veille, pour assurer la continuité de service.



Figure IV-4 : Pompe d'alimentation des filtres.

IV.3.3.4 Filtres a sable

Le filtre à sable va servir de prétraitement afin d'éliminer les éventuelles matières en suspension qui pourraient entraîner un colmatage rapide des membranes de filtration qui constituent l'étape principale de la filière envisagée. Le média filtrant est constitué de particules de nature et de granulométrie à déterminer en fonction de l'objectif de filtration.

La phase de rétro lavage consiste à fluidiser le lit de sable par l'injection d'eau filtrée et d'air à contre-courant. La fluidisation entraîne l'expansion du média filtrant et donc la séparation des particules et l'augmentation de la porosité du milieu. Les petites particules retenues dans le média filtrant durant la phase de filtration ayant une vitesse de sédimentation (ou vitesse terminale de chute libre) inférieure à celle des grains de sable sont emportées à la surface. L'eau de lavage chargée de ces particules en suspension est récupérée par une goulotte située au dessus du lit de sable.

Ils sont 6 (six) filtres avec de capacité de 7.5 m^3 .



Figure IV-5 : les filtres à sable

IV.3.3.5 Bassin d'eau prétraitée (filtrée)

Le bassin de capacité de 150 m³, il reçoit l'eau à partir des filtres à sable, l'eau est sans MES, au niveau de ce bassin se fait l'ajout de métabiosulfite de sodium (anti oxydant), et un séquestrant (anti chlore), pour protéger les membranes d'osmose contre les sels minéraux et calcaire.

IV.3.3.6 Sonde de lecture

Elles sont reliées avec les canalisations entre le bassin d'eau filtrée et les filtres à cartouche pour lire les valeurs de PH, conductivité, chlore et turbidité, les valeurs sont lues à distance dans la salle contrôle.

IV.3.3.7 Pompe d'alimentation des filtres à cartouches

Trois pompes d'eau de basse pression (2 à 3 bars), fonctionnent alternativement, une en service et deux en veille, pour assurer la continuité de service.

IV.3.3.8 Les filtres à cartouches

Ils permettent de stopper les fines particules qui sont passés par les filtres à sable, son rôle est pour éviter le colmatage de membrane d'osmose, ils sont équipés par un indicateur de colmatage, lire la différence de pression en amont et en aval de filtre, cette valeur ne doit pas dépasser 1 bar ($\Delta P < 1$ bar), les cartouches sont changeables et non lavables si $\Delta P > 1$.

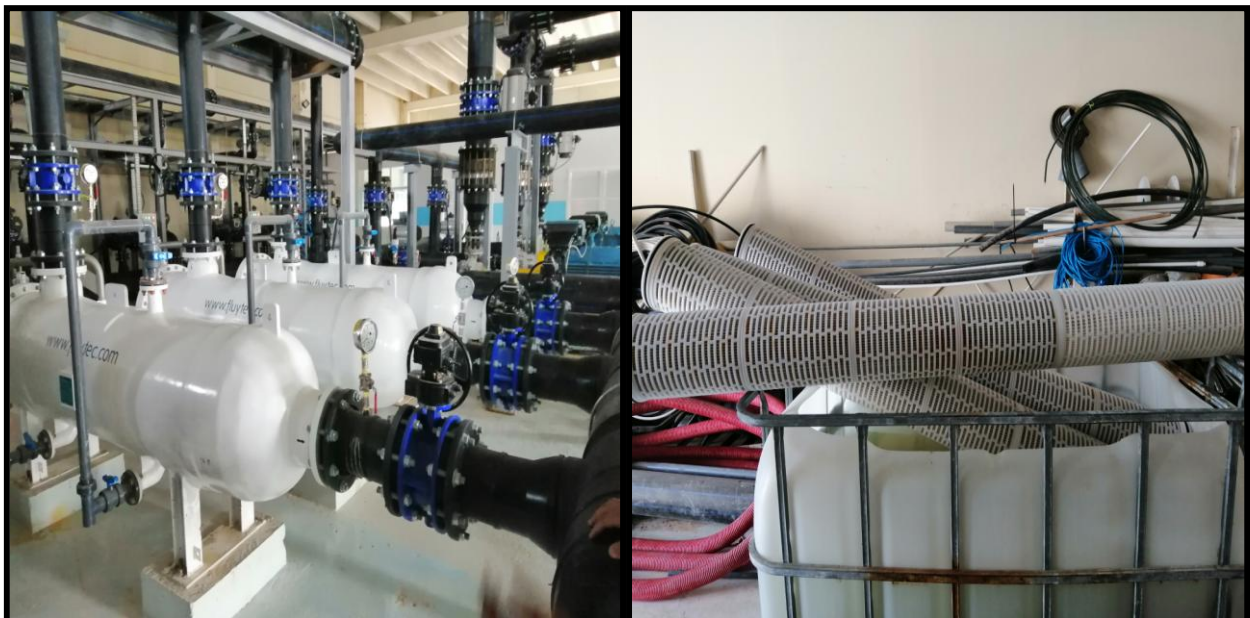


Figure IV-6 : les filtres à cartouche et ses cartouches

IV.3.3.9 Pompe d'alimentation les osmoseurs

Trois pompes d'eau de haute pression (9 à 13 bars) fonctionnent alternativement, une en service et deux en veille, pour assurer la continuité de service.

IV.3.3.10 Les osmoseurs

On trouve deux lignes d'osmose inverse, de membrane de type organique, dans chaque ligne l'eau passe par deux étapes de traitement, après la deuxième étape l'eau non traitée évacue vers le bassin de rejet.



Figure IV-7 : photo d'osmoseurs.

IV.3.3.11 Station de lavage et rinçage

Le rôle de cette station est de nettoyer quotidiennement et automatiquement toute les éléments de station, par l'eau traitée, et de nettoyer aussi périodiquement les osmoseurs par un acide ou une base.

IV.3.3.12 Bassin de stockage des eaux traitées

Le bassin assure le stockage de 400 m³ d'eau traitée, réalisé en béton armé de forme rectangulaire, le nettoyage de bassin est fait périodiquement si nécessaire.

IV.3.3.13 Pompes d'alimentation des châteaux d'eau

Assurent l'alimentation en eau traitée les 4 (quatre) châteaux, avec un débit atteint jusqu'à 360 m³ /heure.

IV.3.3.14 Pompe doseuse de chlore

Assure la chloration de l'eau destinée à la distribution publique.



Figure IV-8 : pompe doseuse de chlore

IV.3.3.15 Bassin de rejet

Avec une capacité de 150 m³, reçoit tout le rejet de station, et refoule l'eau vers l'oued.

IV.3.3.16 Système anti retour de l'eau

Empêche le retour de l'eau de château d'eau a le bassin de stockage d'eau traité.

IV.4 Laboratoire d'analyse

Au niveau de laboratoire le technicien fait tous les analyses physico-chimique et chimique de l'eau brute, l'eau traitée et par fois l'eau filtré.

Il est équipé par un appareil spectrophotomètre pour les analyse chimique, un un appareil de mesure multi paramètres (Appareils de mesure portables HQD40D) pour les paramètres physico-chimique, et un turbidimètre pour mesurer la turbidité.



Figure IV-9 : Laboratoire d'analyse des eaux.

IV.5 Les appareils d'analyse

IV.5.1 Turbidimètre

Turbidimètre conforme à la norme USEPA 180.1. Le turbidimètre est très facile à utiliser et nous offre une précision inégalée.

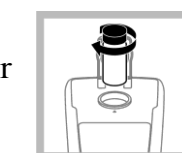
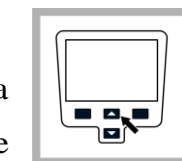
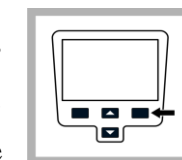
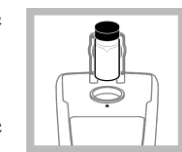
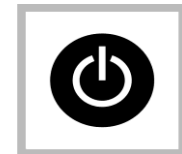
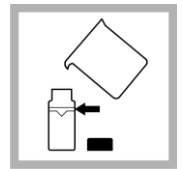
Les turbidimètres portatifs de Hach sont fournis avec quatre piles alcalines AA, une mallette de transport avec insert, des étalons primaires StablCal dans des fioles scellées de 1 pouce (20, 100, 800 NTU), un étalon primaire de vérification de 10 NTU, 6 cuves de mesure avec des couvercles vissés.



Figure IV-10 : Photo de Turbidimètre marque HACH 2100Q

IV.5.1.1 Mode opératoire

1. Remplir la cuve à échantillon d'eau jusqu'à la ligne et boucher immédiatement. Laisser dégazer la cuve à échantillon pendant au moins cinq minutes.
2. Essuyer avec un chiffon non pelucheux. Appliquer un film mince d'huile de silicone (Appliquer l'huile de silicone à une cuve à échantillon)
3. Appuyez sur la touche POWER pour mettre en route l'appareil de mesure. Placer l'instrument sur un plan de travail robuste.
Remarque : Ne pas toucher à l'instrument pendant les mesures
4. Insérer la cuve à échantillon dans le compartiment de cuve de l'instrument avec le losange ou le repère d'orientation toujours aligné sur le repère en relief à l'avant du compartiment. Fermer le couvercle.
5. Appuyer sur les touches HAUT et BAS pour accéder aux Options de mesure puis sélectionner Indexation cuve d'échantillon.
Remarque : L'instrument reste toujours dans le dernier mode de mesure sélectionné.
6. Appuyer sur Mesure. L'affichage indique Stabilisation puis la turbidité en NTU. Enregistrer la position de la cuve dans le compartiment et le résultat de mesure
7. Retirer la cuver, la faire tourner d'environ $\frac{1}{8}$ de tour et la réinsérer



dans le compartiment. Fermer le couvercle.

8. Appuyer sur Mesure. Enregistrer la position de la cuve dans le compartiment et le résultat de mesure.



9. Répéter l'étape 6 jusqu'à obtenir la mesure la plus faible. Faire un repère d'orientation sur la bande de marquage près du haut de la cuve pour pouvoir l'insérer de façon répétitive dans la position donnant la mesure la plus faible.



IV.5.2 Appareils de mesure portables HQD40D

Un système de mesure et de capteurs à la pointe de la technique, offrant simplicité et flexibilité grâce à ses capteurs interchangeable. Idéal pour les installations où plusieurs utilisateurs ont besoin de conduire différents tests.

Tous les appareils de mesure HQD bénéficient d'une interface utilisateur avancée mais intuitive, utilisable aisément sans manuel ou formation préalable. Les appareils HQD se connectent aux capteurs intelligents Intellical et reconnaissent automatiquement le paramètre de test, l'historique d'étalonnage et les paramètres de méthode, de manière à minimiser les erreurs et le temps de configuration. Résistant, cet appareil portable et ses robustes capteurs en option sont conçus pour résister à de nombreuses années d'utilisation sur le terrain.

4 modèles sont proposés, dont la version HQ40D à double entrée et la version HQ30D à entrée unique. Ces appareils de mesure multi-paramètres offrent le plus haut degré actuel de polyvalence : inutile avec eux de disposer de plusieurs appareils de mesure.

Les paramètres a mesuré sont :

- ☞ PH
- ☞ Température
- ☞ Connectivité
- ☞ Salinité
- ☞ Résidus sec à 105 °C
- ☞ TDS(Les solides dissous totaux)



Figure IV-11 : Appareils de mesure portables HQD40D

IV.5.2.1 Mode opératoire

1. On choisi sur l'appareil le paramètre a mesuré ;
2. Remplir la cuve à échantillon d'eau ;
3. Mettre la sonde dans la cuve ;
4. Lire le résultat sur l'appareil.

IV.5.3 Spectrophotomètre de paillasse DR3900 pour l'analyse de l'eau

Ce système est conçu pour fournir des résultats précis en assistant l'opérateur pour chacune des étapes nécessaires à son analyse :

1. Préparation d'échantillons : réduction du temps de manipulation, et dosage précis
2. Analyse d'échantillons tests : reconnaissance automatique des tests, numéro de lot et date d'expiration enregistrés etc.
3. Résultats documentés : gestion de données souple, cartes de contrôle

Le spectrophotomètre DR3900 permet pour chacune de nos analyses de routine, d'optimiser nos processus de gestion et de rendre des rapports significatifs. Il permet le contrôle de l'ammonium, de la DCO, du phosphate, du Nitrate et de nombreux autres paramètres tout aussi simplement. La manipulation des tests et le spectrophotomètre sont conçus afin d'éviter tout risque d'erreur lors de vos analyses de l'eau.

Les paramètres a mesuré sont :

- ✂ *Nitrate NO₃-*
- ✂ *Nitrite NO₂ -*
- ✂ *Ammonium NH₄ +*
- ✂ *Plomb*
- ✂ *Zinc*
- ✂ *Sulfate SO₄ -*
- ✂ *Dureté totale TH*
- ✂ *Titre alcalin*
- ✂ *Titre alcalin complète*



Figure IV-12: photos Spectrophotomètre de paillasse DR3900

IV.5.4 Tests en cuve LCK

IV.5.4.1 LCK - Précision et manipulation exceptionnelles

Nos tests en cuve couvrent toutes les applications d'analyse de l'eau. Ils exécutent les tâches les plus exigeantes, telles que le contrôle des limites autorisées, comme alternative aux méthodes de référence laborieuses. Le code à barres 2D comporte désormais le numéro de lot et la date limite d'utilisation des réactifs. Le certificat d'analyse est disponible directement sur l'étiquette RFID apposée sur l'emballage.



Figure IV-13 : photos Tests en cuve LCK

L'analyse de chaque paramètre se fait à l'aide d'une explication schématisé sur chaque test LCK, la figure ci-dessous montre une explication pour un test LCK (Test LCK 327 de Dureté de l'eau) :



Figure IV-14 : photo de Test LCK 327 de Dureté de l'eau

Les résultats des analyses s'affichent sur l'appareil (Spectrophotomètre de paillasse DR3900), comme on peut imprimer nos résultats.



Chapitre V

Résultats et discussion

Résultats et discussions

V.1 Résultats et interprétations des paramètres physico-chimiques

Pour une analyse large de 30 jours, pendant le mois d'avril, des résultats trouvés, enregistrés dans les tableaux (Annexe), et pour savoir plus sur la qualité de l'eau à travers les différentes étapes de traitement, ainsi sur l'efficacité du procédé d'osmose inverse, on a tracé les nuage au points déterminants les différents paramètres de ce traitement.

Les tableaux récapitulent les paramètres ainsi que les moyens des résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau de forage avant et après le traitement.

V.1.1 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Les mesures du pH des différentes eaux analysées sont montrées dans la figure suivante :

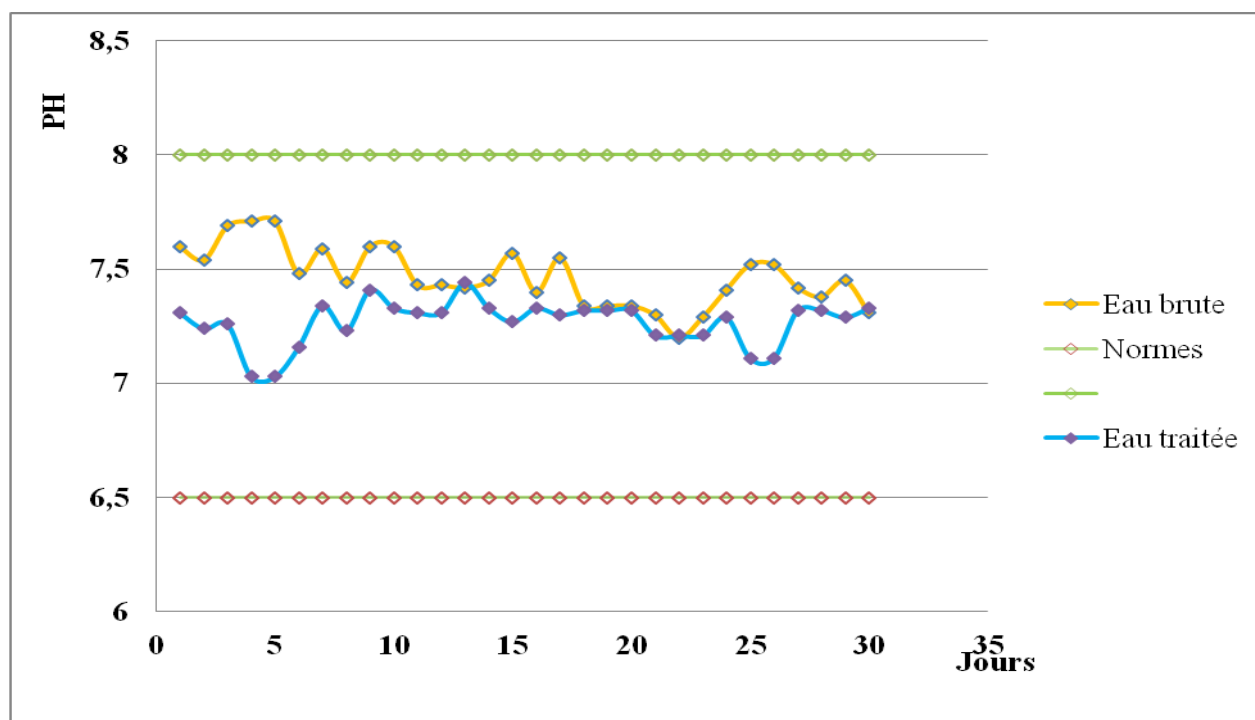


Figure V-1 : pH des différentes eaux analysées.

Selon les données concernant le pH, il est constaté que l'eau de forage est relativement neutre. En effet, les pH obtenus varient entre 7 et 8.

A la sortie de station, une réduction de pH est enregistrée, elle est de l'ordre de $\Delta\text{pH} = 0.1$ à 0.3 . Cette variation est due principalement à la déminéralisation de l'eau, car les membranes d'Osmose Inverse retiennent les sels minéraux et compris

les ions hydrogénocarbonate.

Une eau traitée de pH 7,4 environ est conforme à la norme qui correspondant entre 6.5 et 8.

V.1.2 La conductivité

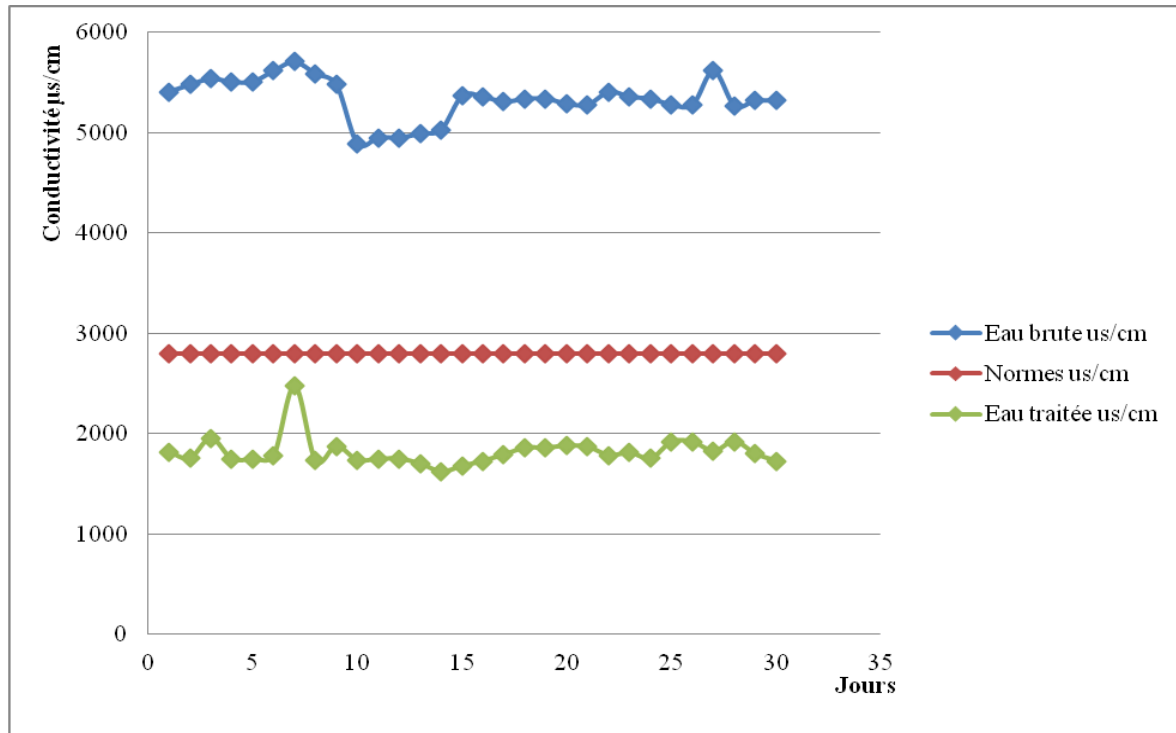


Figure V-2 : la conductivité des eaux brute et eaux traitées.

D'après le graphique, on constate que la station de déminéralisation a éliminé la quasi-totalité des ions présentés dans l'eau d'alimentation, cette rétention a fait baisser la conductivité moyenne dans l'eau traitée.

Ces résultats confirment effectivement le rôle important que jouent les membranes d'OI ainsi que leurs efficacités dans la séparation des particules de l'eau.

V.1.3 Turbidité

Le turbidimètre a nous donné les résultats ci-dessous :

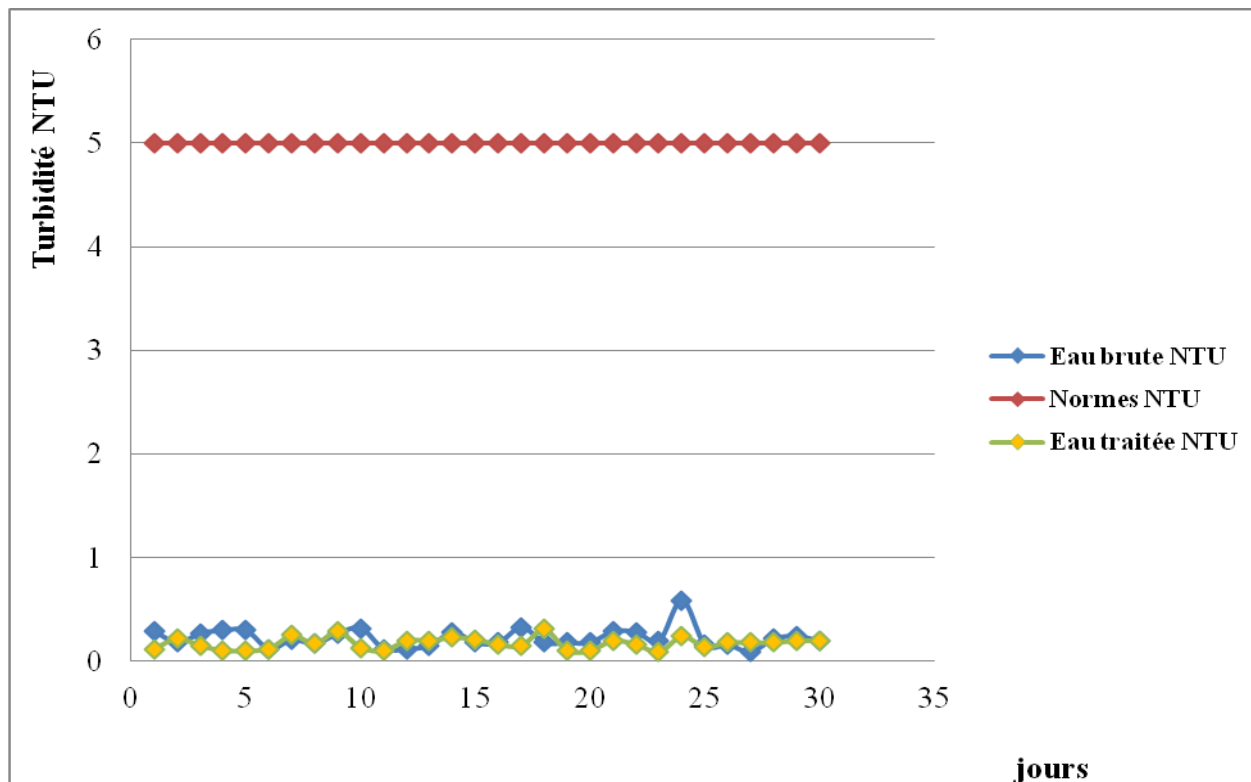


Figure V-3 : la turbidité des eaux brute et eaux traitées

La turbidité de l'eau brute est réduite aux normes ou seuils acceptables (5 NTU) (voir la section Normes et recommandations ainsi que le tableau de l'annexe) par diverses techniques employées dans la station de traitement d'El Meghaier. On peut aussi éliminer quelques MES, soit par filtration, (filtre à sable et filtre à cartouche), soit par produits chimiques (coagulant).

V.1.4 Salinité

Le graphique ci-dessous représente la différence de salinité entre l'eau brute et l'eau traitée

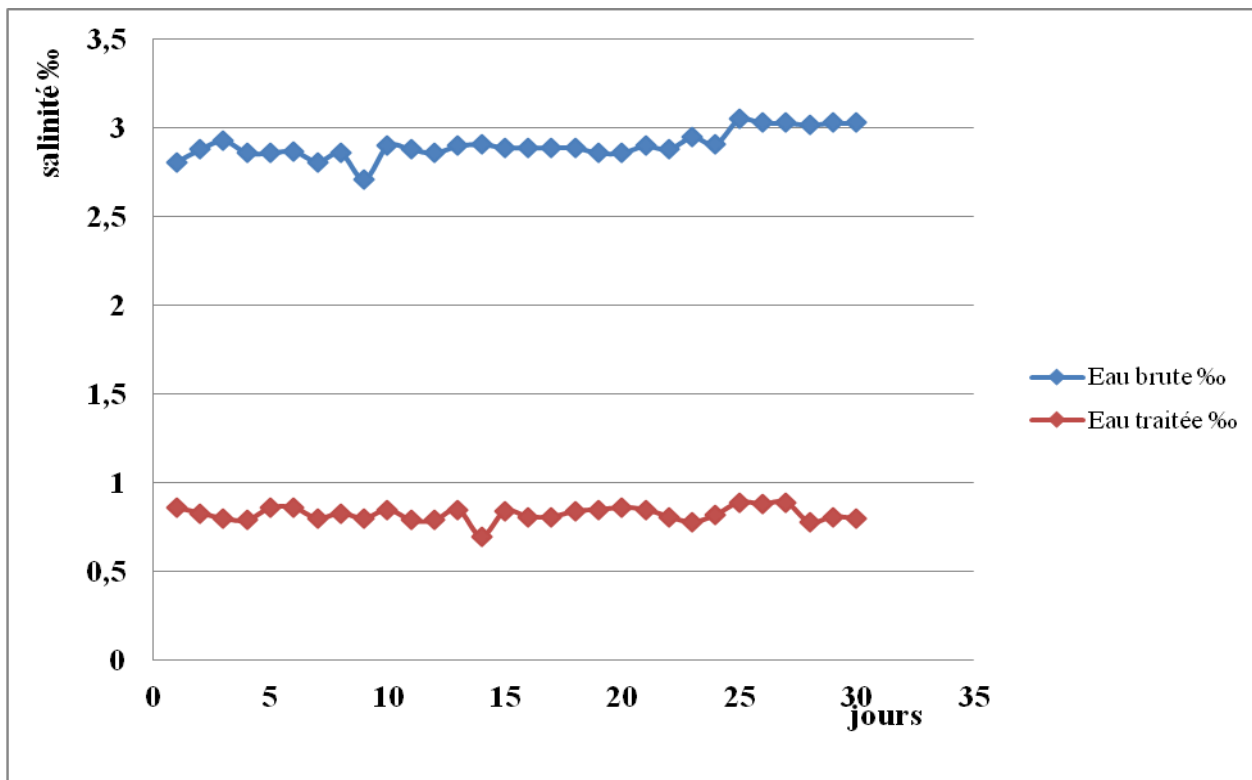


Figure V-4 : la différence de salinité entre l'eau brute et l'eau traitée

D'après les données des analyses on remarque que le taux de salinité de l'eau brute est élevé, après la déminéralisation, le taux est diminué, jusqu'à $\Delta S=2\%$, cette importante valeur confirme la performance de membrane d'osmose inverse, qui sépare les molécules des sels de l'eau.

V.1.5 STD (solides dissous totaux) ou TDS

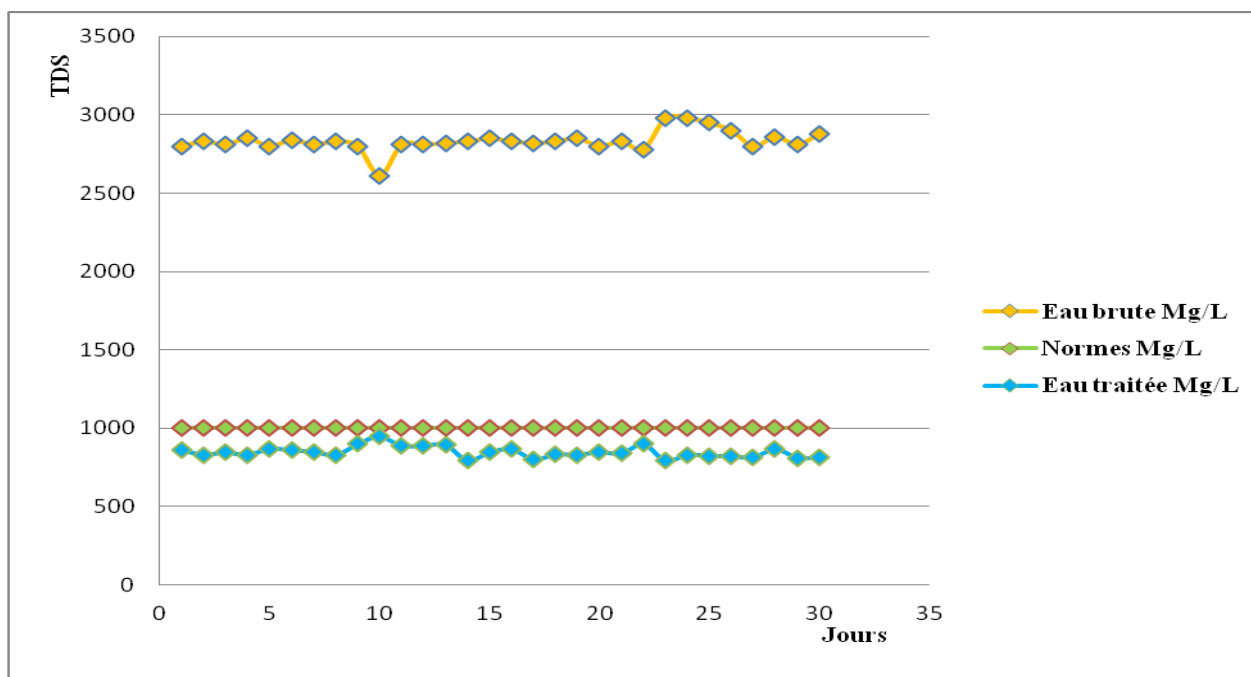


Figure V-5 : la différence de solides dissous totaux

Les équipements pour enlever les solides dissouts présents dans l'eau est le traitement d'osmose inverse car ils sont responsables de la forte concentration de TDS. Le traitement d'osmose inverse enlève pratiquement toutes les substances dissoutes et beaucoup de substances nuisibles.

Les résultats montrent que l'OI, est performant dans la diminution de STD.

V.2 Résultats et interprétations des paramètres de pollution

V.2.1 Nitrate NO_3^-

Les résultats obtenus concernant le nitrate des différents échantillons analysés sont présentés dans la figure ci-dessous :

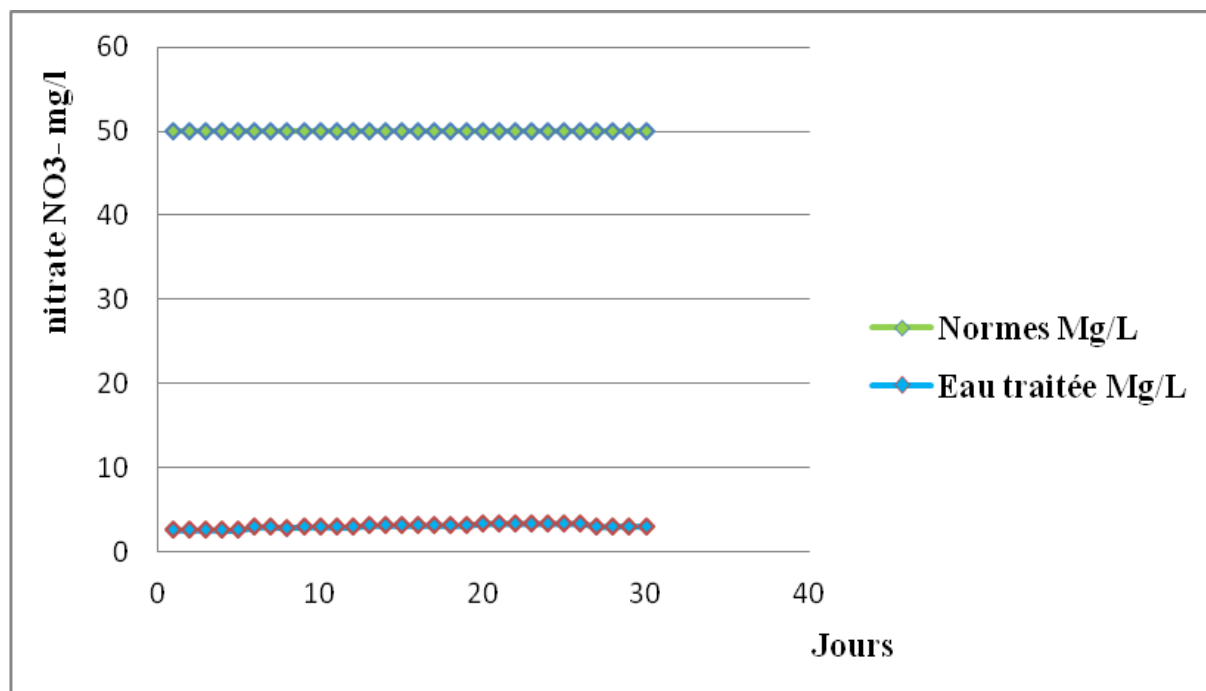


Figure V-6 : la concentration de nitrate dans l'eau traité

La présence d'un excès de nitrates dissouts dans l'eau est un indice de pollution, il ne doit pas dépasser 50mg/l, dans notre station les valeurs de nitrate ne dépasse jamais 4 mg/l, qui s'explique le bon fonctionnement de station.

V.2.2 Nitrite NO_2^-

Le graphique suivant présente les résultats d'analyse :

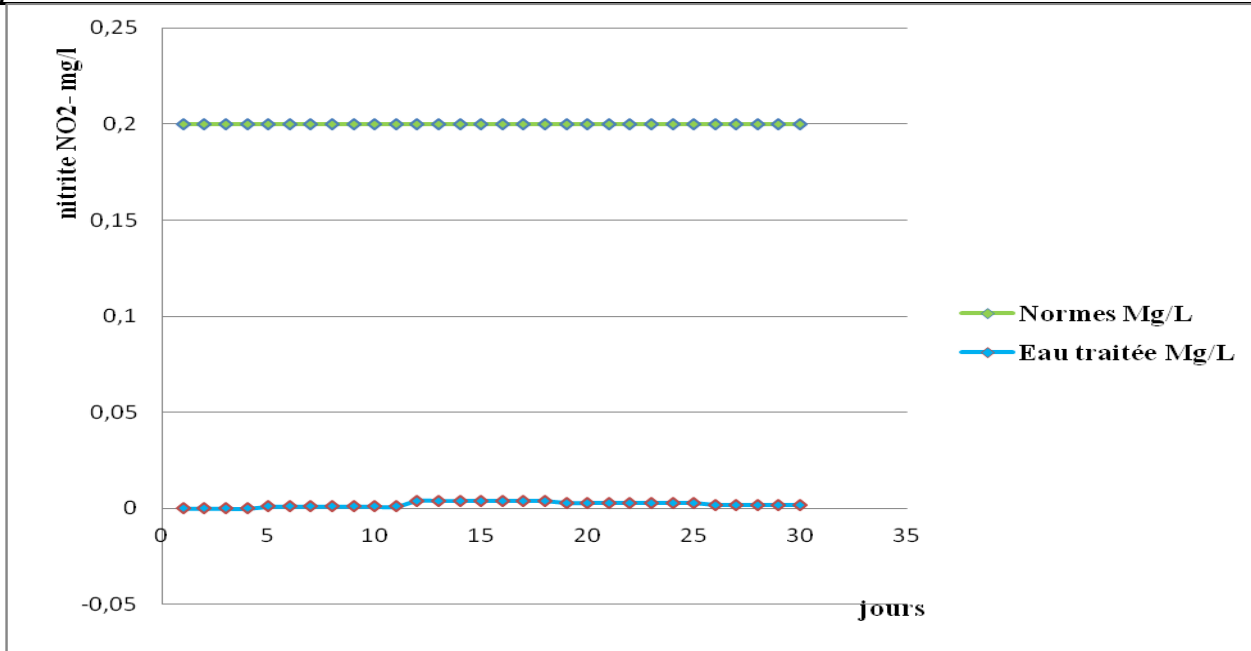


Figure V-7 : la concentration de nitrite dans l'eau traité

Les nitrites sont considérée comme polluant très nuisible à la santé de l'être humain et au animaux (le taux de NO₂ devient nocif quand il dépasse 0.5 mg/l).

Le taux de nitrite dans l'eau traitée est presque nul, qui s'explique l'efficacité de déminéralisation des eaux.

V.3 Résultats et interprétations des paramètres de minéralisation

V.3.1 La dureté

La dureté d'une eau, ou titre hydrotimétrique, dépend de la quantité de sels de calcium et de magnésium qu'elle contient.

Le spectrophotomètre a nous donnés une valeur de 23.3 °dh, si on le converse cette valeur en mg/l CaCO₃ a l'aide un convertisseur (Hardness of water), la dureté est égale : 415.86 mg/l CaCO₃.



Figure V-8 : convertisseur en ligne de dureté de dh° a mg/l CaCO₃

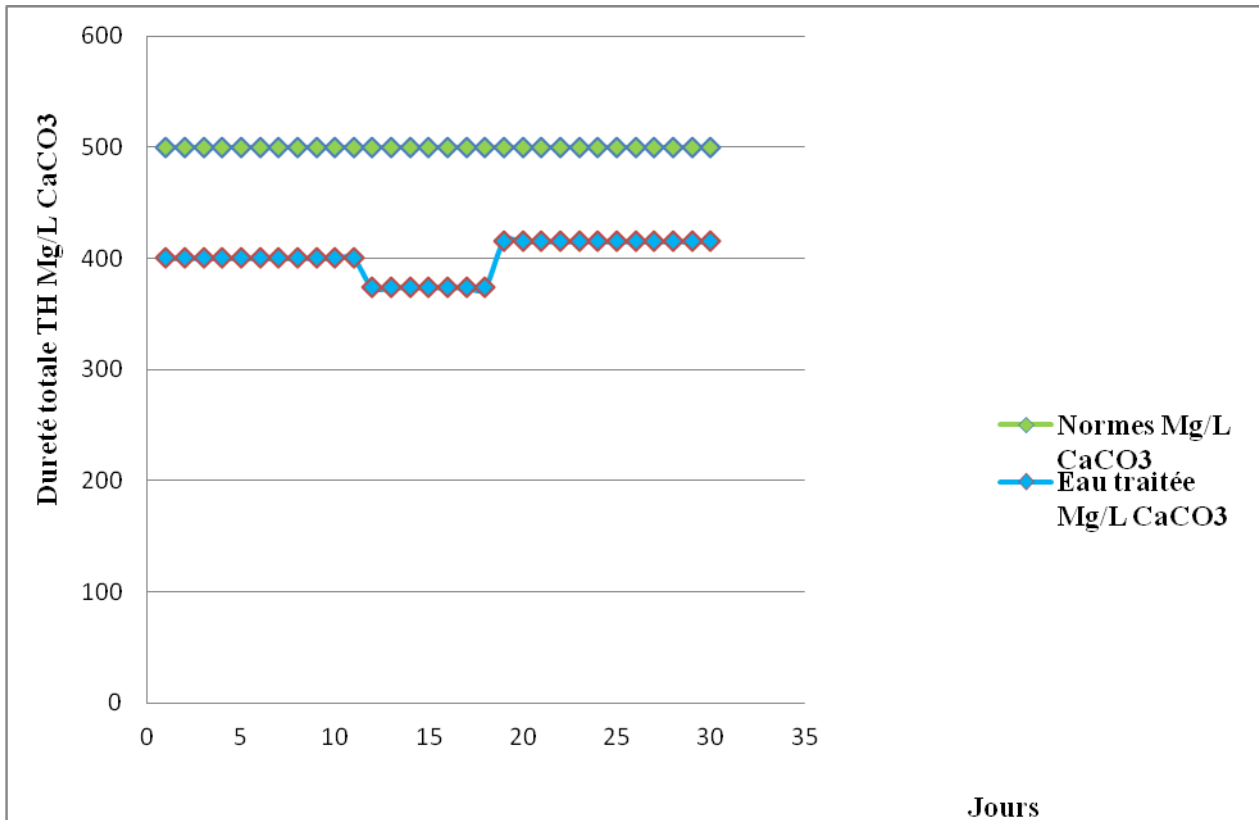



Figure V-9 : la dureté de l'eau traitée par rapport les normes.

Les normes de dureté chez la société est fixé a 500mg CaCO3 , tout valeur supérieure a 500 l'eau sera dure.

L'eau traité est jamais dépassée cette valeur, qui s'explique l'efficacité de membrane d'osmose inverse qui élimine les sels minéraux.



Conclusion générale

Conclusion générale

Selon les résultats obtenus par les différentes analyses effectuées au cours du stage pratique, la station de déminéralisation d'El Meghaier produit une eau traitée très satisfaisante. En effet, les valeurs de pH, conductivité ainsi TAC, TH, sont excellentes et conformes aux normes.

Les résultats de la présente étude font preuve de la bonne qualité de l'eau traitée produite. Pour les analyses physico-chimiques, les résultats des paramètres étudiés sont tous conforme aux normes, ceci prouve l'efficacité des traitements effectués à chaque étape.

Les bons résultats obtenus sont révélés par l'évaluation de la performance de station de déminéralisation d'El Meghaier, en effet un TC de 75 – 85 % a été calculés pour la station, cela s'explique par :

L'efficacité de l'OI et le bon fonctionnement des modules.

Le système de prétraitement appliqué.

L'entretien et le nettoyage permanent de l'installation. Les bonnes conditions techniques d'exercices.

La mise en service d'une série de filtres à sables, leurs but est de protéger les filtres a cartouches contre le colmatage et d'usures et par conséquence la protection des membranes d'osmose inverse.

En fin, la station de déminéralisation d'El Meghaier a pu atteindre ses objectifs qui sont :

- ☞ Production d'environ 14200 m³/Jour d'eau traitée;
- ☞ Couvrir ses besoins en eau de bonne qualité.

Référence bibliographique

[1] BENAÏSSA Fatima Zohra 2013 ; « Étude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres ». Mémoire de projet de fin d'Études Pour l'obtention du Diplôme de master en Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.

[2] TAKABAÏT Fatah 2012 ; « Traitement de l'Eau de Forage par Osmose Inverse au Niveau du Complexe Agroalimentaire Cevital ». Mémoire de projet de fin d'Études Pour l'obtention du Diplôme de master en chimie, Université A. MIRA - Béjaïa -

[3] ZEMALI Sofiane (2004) : « Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de fortes concentrations en sel ». Mémoire de Projet de Fin d'Étude Pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique, université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.

[4] BOUTRIAA Abdelouahab (2009) : « Effet des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un distillateur solaire ». Mémoire présentée pour obtenir le diplôme de Magister en Physique, université MENTOURI de CONSTANTINE.

[5] RICH Anouar (2011) : « Dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide : aspect thermodynamique et influence des conditions opératoires ». Thèse de DOCTORAT préparée en cotutelle avec l'université CLAUDE BERNARD LYON 1- France. Université MOHAMMED V – AGDAL faculté des sciences Rabat, Maroc.

[6] 2. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Fiche 2 Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement

[7] Groupe scientifique sur l'eau (2003) : « Turbidité ». Dans *Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*. Institut national de santé publique du Québec.

[8] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/eau-proprietes-qualite-valeurs-d-usage-42506210/caracteristiques-et-proprietes-des-eaux-w110/> consulté le 26/02/2019.

[9] BELKSIER Mohamed salah (2009) ; « hydrogéologie et hydrochimie de la nappe superficielle dans la région de l'oued righ et l'évaluation de sa vulnérabilité ». mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister, université badji mokhtar-annaba.

[10] NEZLI Amel 2017 ; « Étude de stations de déminéralisation de la ville de Ouargla: cas des stations Gharbouz , Ziaina et Bamandil ». Mémoire de projet de fin d'Études Pour l'obtention du Diplôme de master en Hydraulique, université Kasdi Merbah Ouargla.

[11] Encyclopédie énergie (2006).

[12] <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/separation-par-membranes/les-modules-disponibles-leur-geometrie/modules-tubulaires/>consulté le 26/02/2019.



Annexes

Résumé

La qualité de l'eau potable distribuée au consommateur dépend de la qualité des eaux superficielles ou des nappes souterraines de lesquelles elles sont prélevées et des traitements effectués après prélèvement.

Dans la région d'Oued righ l'eau potable est prélevée des nappes souterraines, sa qualité est en générale de goût salé, légèrement saumâtre et médiocre à mauvaise. Cette eau en plus de sa qualité désagréable, elle influe négativement sur la santé des consommateurs.

Cette situation alarmant est à l'origine de la réalisation d'une station de déminéralisation par procédé d'Osiose Inverse dans cette région pour l'obtention d'une eau de bonne qualité avec une faible salinité, et un pH neutre donc une eau douce et agréable.

Mots clés : Oued righ, salinité, douce, Eau, Déminéralisation, Osiose Inverse.

Abstract

The quality of the drinking water distributed to the consumer depends on the quality of the surface water or groundwater from which it is drawn and the treatments carried out after it has been drawn.

In the oued righ region, drinking waters extracted from groundwater, its quality is generally salty, slightly brackish and poor to poor. In addition to its unpleasant quality, this water has a negative impact on the health of consumers.

This alarm situation is at the origin of the construction of a demineralization station by Reverse Osmosis process in this region to obtain good quality water with low salinity, and a neutral pH and therefore fresh and pleasant water.

Keywords: Oued righ, salinity, freshness, Water, Demineralization, Reverse Osmosis.

ملخص

نوعية مياه الشرب الموزعة على المستهلك تتعلق بنوعية المياه السطحية أو المياه الجوفية التي يتم أخذ منها والمعالجة التي تتم بعد أخذ العينات.

في منطقة وادي ريف، يتم الحصول على مياه الشرب من المياه الجوفية، ونوعيتها مالحة بشكل عام هذه المياه بالإضافة إلى جودتها غير محبوبة، لها تأثير سلبي على صحة المستهلكين.

هذا الموقف المثير للقلق هو في أصل في إنجاز محطة تحلية بعملية التناضح العكسي في هذه المنطقة للحصول على مياه ذات نوعية جيدة مع انخفاض الملوحة، ودرجة الحموضة محايدة وبالتالي المياه العذبة.

الكلمات المفتاحية: وادي ريف، الملوحة، العذبة، الماء، إزالة المعادن، التناضح العكسي.