

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2020



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع...../2020

Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Thème

Suivi de la performance de la station de déminéralisation des eaux souterraines El Meghaier –W-El Oued-

Nom et Prénom de l'étudiant :
ZEGHIDI Abd Allah

Encadreur : Pr. YUCEF Leila

Année universitaire : 2019 - 2020

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier « Dieu » très clément et sa sainte miséricorde qui m'a donné la force et la patience et de m'avoir aidé à réaliser et à accomplir ce travail.

Je remercie en particulier Madame YUCEF Leila, Professeur à l'Université Mohamed Kheider - Biskra, qui a bien voulu assurer mon encadrement et qui m'a beaucoup apporté au cours de la réalisation de ce mémoire tant par ses qualités scientifiques qu'humaines et également pour son soutien, je tiens à lui exprimer tous mes respects.

Je tiens également à exprimé mes remerciements aux membres du jury pour avoir accepté de juger ce modeste travail.

Mes remerciements sont adressés également aux responsables et personnels de la station de El Meghaier, pour leur aide et pour leur accueil au niveau de la station.

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

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À Mes chers parents

À Mes Frères

À Mes sœurs

À Mes amis

À Ma famille

À toute la promotion 2019-2020

Résumé

Vu la rareté de la disponibilité des eaux douces dans le sud algérien, la technique de déminéralisation des eaux est devenue une solution pour résoudre le problème de la pénurie et de salinité des eaux souterraines, la seule source d'eau, et pour répondre à la demande croissante d'eau potable. L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la performance de la station de déminéralisation des eaux souterraines de la région d'El Meghaier – wilaya d'El Oued par osmose inverse. L'étude a été effectuée par le suivi de la qualité de l'eau au niveau de trois points de la filière de traitement. Le suivi de certains paramètres physico-chimiques (le pH, la conductivité électrique de l'eau, la turbidité, la salinité, le TDS et le TH ainsi que les concentrations en ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- et SO_4^{2-}) a montré que l'eau à la sortie de la station de traitement des eaux est de très bonne qualité en comparant les valeurs mesurées pour chaque paramètre aux normes de potabilité. Il en ressort de cette étude que la technique de déminéralisation des eaux souterraines par osmose inverse est une technique de choix qui nécessite une étude sérieuse pour la généralisée dans le territoire Algérien.

Mots clés : Eaux souterraines, déminéralisation, osmose inverse, qualité physico-chimique.

ملخص

نظرا لندرة وعدم توفر المياه العذبة في الجنوب الجزائري، تقنية تحلية المياه المالحة أصبحت حلا للتخلص من مشكل نقص وملوحة المياه الجوفية، المصدر الوحيد للمياه، ولتلبية الطلب المتزايد على مياه الشرب. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقدير مدى فعالية محطة تحلية المياه الجوفية لمنطقة المغير-ولاية وادي سوف عن طريق الأسبوز العكسي. تمت هذه الدراسة بمتابعة نوعية المياه على مستوى ثلاث مراحل مختلفة للمعالجة على مستوى المحطة. متابعة تغير بعض العناصر الفيزيائية والكيميائية للمياه (الأس الهيدروجيني، التوصيل الكهربائي للمياه، درجة العكارة، نسبة الملوحة، كمية الأملاح وTH كذا تركيز أيونات Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، NO_3^- و SO_4^{2-}) بين أن الماء الموجود عند مخرجه من محطة المعالجة ذو نوعية جيدة للغاية من خلال مقارنة القيم المقاسة لكل عنصر مع مقاييس المياه الصالحة للشرب. من خلال هذه الدراسة تبين أن تقنية تحلية المياه الجوفية عن طريق التناضح العكسي هي تقنية للاختيار والتي تتطلب دراسة جادة لتعميمها عبر كامل القطر الجزائري.

كلمات مفتاحية : مياه جوفية، تحلية المياه، الأسبوز العكسي، النوعية الفيزيائية والكيميائية.

Sommaire

Remerciements.....	
Dédicace.....	
Résumé	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Introduction générale.....	01

Partie bibliographique

Chapitre I : Techniques de déminéralisation des eaux

I.1. Introduction.....	03
I.2. Techniques de déminéralisation.....	03
I.2.1. Echanges d'ions	03
I.2.2. Microfiltration.....	03
I.2.3. Ultrafiltration	04
I.2.4. Nanofiltration	05
I.2.5. Électrodialyse (ED).....	06
I.2.6. Osmose inverse	07
I.2.6.1. Principe de l'osmose inverse	07
I.2.6.2. Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse	08
I.2.6.3. Pression osmotique	09
I.2.6.4. Le pompage haut pression	09
I.2.6.5. Durée de vie des membranes d'osmose inverse	10
I.2.6.6. Les modules d'osmose inverse	11
I.2.6.6.1. Définition des modules	11
I.2.6.6.2. Les types de modules	11
a) Modules spirales.....	11
b) Les modules tubulaires	11
c) Les modules à fibres creuses.....	12
d) Module plan ou filtre-presse.....	12
I.2.6.7. Type de membranes	13
I.2.6.7.1. Membranes organiques	13
I.2.6.7.2. Membranes minérales (inorganiques).....	13
I.2.6.7.3. Membranes composites.....	13

I.2.6.7.4. Membranes échangeuses d'ions (MEI).....	13
I.2.6.8. Phénomène de colmatage.....	14
I.2.6.9. Nettoyage des membranes	14
I.2.6.9.1. Les rétro lavages	14
I.2.6.9.2. Nettoyages chimiques	14
I.2.6.10. Durée de vie des membranes par OI.....	15
I.2.6.11. Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse.....	15
a) Les avantages de l'osmose inverse	15
b) Les inconvénients de l'osmose inverse	16
I.3. Conclusion	16

Chapitre II :Stations de déminéralisation des eaux dans le sud Algérien

par Osmose Inverse

II.1.Introduction	17
II.2. L'eau dans le sud Algérien	17
II.3. Stratégie pour augmenter le stockage de l'eau	18
II.4. Minéralisation des eaux souterraines du sud Algérien	20
II.5. Pratique de la déminéralisation des eaux souterraines en Algérie.....	20
II .6. Conclusion	24

Partie expérimentale

Chapitre I : Présentation de la station de déminéralisation

I.1. Introduction.....	25
I.2. Présentation de la zone d'étude.....	25
I.3. Objectifs de l'installation de la station de déminéralisation	26
I.4. Description de la filière de traitement.....	27
I.4.1. Les forages	27
I .4.2. Bassin d'eau brute.....	28
I .4.3. Les pompes d'alimentation des filtres à sables.....	28
I .4.4. Les filtres à sable	29
I .4.5. Bassin d'eau filtrée (prétraitée)	30
I .4.6. Pompe basse-pression	31
I .4.7. Filtres à cartouches 5 microns.....	31
I .4.8. Pompes haut-pression	32
I .4.9. Osmose inverse	33
I .4.10. Bassin d'eau de rejet	34
I .4.11. Bassin d'eau traitée (osmosée).....	35
I .4.12. Les pompes d'alimentation des châteaux d'eaux.....	36

I.4.13. Nettoyage de l'installation	37
I.4.14. Station de traitement chimique	37
I.4.14.1. Pompe doseuse de chlore	38
I.4.14.2. Pompe doseuse du séquestrant.....	39
I.5. Conclusion	39

*Chapitre II : Suivi des paramètres physico-chimiques des eaux
au niveau de la station de déminéralisation*

II.1. Introduction	40
II.2. Détermination des paramètres physico-chimiques	40
II.3. Résultats du suivi des paramètres physico-chimiques.....	42
II.3.1. Evolution du pH.....	42
II.3.2. Variation de la conductivité.....	43
II.3.3. Evolution de la salinité	44
II.3.4. Solides dissous totaux (TDS)	45
II.3.5. Evolution de la turbidité	46
II.3.6. Variation de la teneur des ions calcium (Ca^{2+}).....	46
II.3.7. Variation de la teneur des ions magnésium (Mg^{2+}).....	47
II.3.8. Variation de la dureté totale (TH).....	48
II.3.9. Variation de la teneur des ions sulfates (SO_4^{2-}).....	49
II.3.10. Variation de la teneur des ions nitrates (NO_3^-).....	50
II.4. Conclusion	52
Conclusion générale	53
Référence bibliographiques.....	54

Liste des figures

Partie bibliographique		
Chapitre I		
Figure 01	Schéma de principe de la microfiltration tangentielle	04
Figure 02	Schéma du principe de l'ultrafiltration	05
Figure 03	Schéma du principe de la nanofiltration	06
Figure 04	Principe de l'électrodialyse	07
Figure 05	Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse	08
Figure 06	Schéma simple du procédé d'osmose inverse	09
Figure 07	Pression osmotiques	09
Figure 08	Schéma du module de l'osmose inverse indiquant l'entrée de l'eau brute et la sortie du perméat et de la saumure	10
Figure 09	Module spiralé	11
Figure 10	Module à membrane tubulaire	12
Partie bibliographique		
Chapitre II		
Figure 11	Procédés d'augmentation de la capacité de stockage de l'eau en Algérie	19
Figure 12	Filière de traitement au niveau de la station de déminéralisation des eaux Tamanrasset-In Salah	23
Partie Expérimentale		
Chapitre I		
Figure 13	Situation géographique de la région d'El Meghaier	26
Figure 14	Bassin d'eau brute	28
Figure 15	Pompe d'alimentation des filtres à sables	29
Figure 16	Les filtres à sables	30
Figure 17	Les filtres à cartouches 5 microns	32
Figure 18	Les pompes à haut-pression	33
Figure 19	L'osmose inverse	34
Figure 20	Bassin des eaux de rejet	35
Figure 21	Bassin d'eau traitée	36

Figure 22	Station de pompage d'eau traitée	37
Figure 23	Postes de traitement chimique	38
Partie Expérimentale Chapitre II		
Figure 24	Laboratoire de la station de déminéralisation	40
Figure 25	Appareil de mesure portables (HQD40D)	41
Figure 26	Appareil de mesure de la turbidité (HACH 2100Q)	41
Figure 27	Spectrophotomètre de paillasse DR3900	42
Figure 28	Variation du pH des différentes eaux analysées	42
Figure 29	Variation de la conductivité des eaux en fonction du temps (Octobre - Décembre 2019)	43
Figure 30	Variation de la salinité des eaux en fonction du temps (Octobre-décembre 2019)	44
Figure 31	Variation de TDS des eaux en fonction du temps (Octobre-décembre 2019)	45
Figure 32	Variation de la turbidité des eaux en fonction du temps (Octobre - Novembre 2019)	46
Figure 33	Variation du (Ca ²⁺) dans l'eau traitée pour chaque mois (Octobre-novembre et décembre 2019)	47
Figure 34	Variation du (Mg ²⁺) dans l'eau traitée (Octobre-novembre et décembre 2019)	48
Figure 35	Variation du (TH) dans l'eau traitée (Octobre-novembre et décembre 2019)	49
Figure 36	Variation des ions sulfates dans l'eau traitée (Octobre- novembre et décembre 2019)	50
Figure 37	Variation de la teneur des ions NO ₃ ⁻ dans l'eau traitée (Octobre-novembre et décembre 2019)	51

Liste des tableaux

Partie bibliographique Chapitre II		
Tableau 01	Caractéristiques des stations de déminéralisation des eaux à Ouargla	21
Partie Expérimentale Chapitre I		
Tableau 02	Analyses physico-chimiques de l'eau brute alimentant la station de traitement	27
Tableau 03	Caractéristiques du bassin d'eau brute	28
Tableau 04	Caractéristiques des filtres à sable	30
Tableau 05	Caractéristiques du bassin d'eau prétraitée.	31
Tableau 06	Caractéristiques des pompes basse-pression	31
Tableau 07	Caractéristiques de la cartouche 5 microns	32
Tableau 08	Caractéristiques des pompes à haut-pression	33
Tableau 09	Caractéristiques d'osmose inverse	34
Tableau 10	Caractéristiques du bassin des eaux de rejet	35
Tableau 11	Les caractéristiques du bassin d'eau traitée	36
Tableau 12	Caractéristiques des pompes doseuses de chlore	38
Tableau 13	Caractéristiques des pompes doseuses de séquestrant	39

Introduction générale

Introduction générale

Dans notre planète, l'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ 1 million de km³. Mais, la répartition de cette eau est très inégale (Tahri et al, 2010).

En effet seulement 10 pays se partagent à eux seuls 60 % des réserves d'eau douce alors que 29 autres (principalement en Afrique et au Moyen-Orient) sont au contraire confrontés à des pénuries d'eau douce. Dans ces pays, 650 millions de personnes souffrent du manque d'eau. On estime qu'en 2050, 2,5 milliards de personnes souffriront du manque d'eau à cause de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations en eau (<http://dessalement.wordpress.com/>, s.d.).

EL- Meghaier- wilaya d'El Oued, située dans le sud de l'Algérie, possède des ressources en eau limitées et connaissent des sécheresses en raison de la rareté de la pluie. Les eaux souterraines sont considérées comme la seule ressource dans cette région, mais elles présentent une forte salinité car la composition de ces eaux est liée à la nature chimique des couches géologiques traversées. Pour résoudre le problème de la pénurie et de salinité d'eau et pour répondre à la demande croissante d'eau potable, le recours à des ressources en eau non conventionnelles telle que la déminéralisation des eaux salées semblent être la solution incontournable.

En dessalement le principal procédé membranaire est l'osmose inverse (OI) qui représente à l'heure actuelle 53 % des capacités mondiales d'eau produites par dessalement et a ainsi dépassé les procédés de distillation depuis 2001 (Zemali, 2004).

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est en développement (Amitouche, 2016 ; Bourouga, 2015 ; Lakhdari, 2019).

L'objectif de cette étude est d'observer l'efficacité de dessalement des eaux par la technique d'osmose inverse. Ceci par le suivi de la qualité physico-chimique des eaux brute et traitée au niveau de la station de déminéralisation des eaux de forage de la ville d'El Meghair à El Oued.

Le manuscrit se composera en deux parties principales .Chaque partie sera présentée en deux chapitres.

La première partie de ce travail sera relative à l'étude bibliographique, subdivisée en 2 chapitres :

- Chapitre I : sera consacré à la présentation d'une généralité sur les techniques existantes sur la déminéralisation des eaux y compris le procédé par osmose inverse.

- Chapitre II : Une étude bibliographique sur la pratique de la déminéralisation des eaux dans le sud algérien.

La deuxième partie du mémoire concerne l'étude expérimentale. Cette partie sera présentée en deux chapitres :

- Chapitre I : Description de la station de déminéralisation par OI.
- Chapitre II : sera commencé par une description de la procédure expérimentale suivie pour la réalisation des prélèvements et des analyses physico-chimiques au niveau du laboratoire de la station. A noté que vue le confinement à cause de la pandémie COVID 19, la visite à la station a été limitée à deux reprises et les données disponibles ont concerné seulement trois mois (Octobre, Novembre et Décembre) de l'année 2019. Le contenu du chapitre sera suivi par une présentation et discussion des résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines brutes et traitées par la station d'osmose inverse. Les résultats de cette étude vont nous permettre de contrôler la performance et de suivre l'efficacité de la déminéralisation des eaux par cette technique membranaire.

Partie bibliographique

Chapitre I :

Techniques de déminéralisation des eaux

I.1. Introduction

La déminéralisation des eaux saumâtres est un sujet très important actuellement. La déminéralisation de l'eau est un processus qui permet d'obtenir de l'eau potable ou de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou d'eau de mer. Il peut remédier à la pénurie d'eau et pourrait donc contribuer à remédier à son manque, qui fait obstacle à l'amélioration des niveaux de vie et au développement des secteurs qui en dépendent.

Parmi toutes les technologies de dessalement, l'osmose inverse est la technologie la plus répandue au niveau international. L'objectif de ce chapitre est de présenter et d'expliquer le principe des différentes techniques de la déminéralisation des eaux y compris l'osmose inverse.

I.2. Techniques de déminéralisation

Les procédés de déminéralisation des eaux font partie des nouvelles technologies qui peuvent jouer un rôle environnemental important. Ces procédés permettent la production d'eaux destinée soit à la consommation humaine soit aux industries qui consomment de l'eau de pureté contrôlée dans leur chaîne de la production (industries agroalimentaires, industrie pharmaceutique, ...). L'utilisation des techniques déminéralisations connaît une croissance rapide, en raison notamment de la multiplication des domaines d'application. Parmi ces procédés en site.

I.2.1. Echanges d'ions

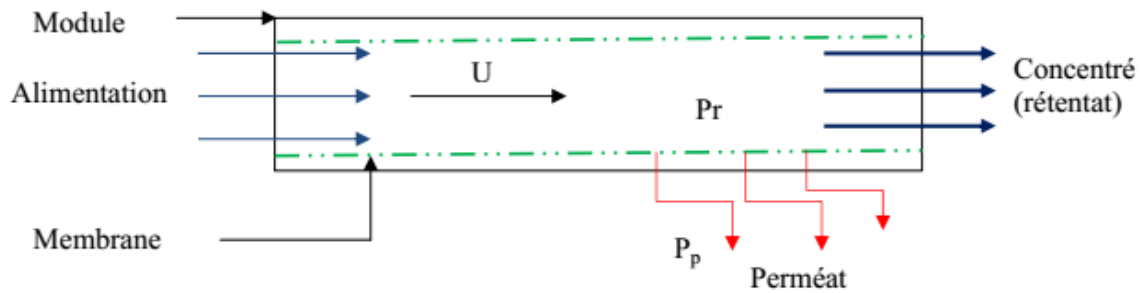
Certaines résines, insolubles, ont la propriété d'échanger certains de leurs ions avec ceux des sels dissous dans la solution (eau saumâtre) avec laquelle on met ces résines en contact. On utilise les résines anioniques pour échanger les anions de la solution par des ions OH⁻ et les résines cationiques qui permettent de remplacer les cations Na⁺ par des ions H⁺. Ce procédé est plutôt utile pour déminéraliser l'eau de faible teneur en sel ([Lamine et Harikencheikh, 2017](#)).

I.2.2. Microfiltration

C'est un procédé de séparation solide-liquide à travers des membranes poreuses (Figure 1) dont le diamètre des pores est compris entre 0,1 et 10 µ m. Elle utilise une différence de

pression comme force motrice et permet la rétention des bactéries et des particules en suspension (Allgeier, 2001).

La microfiltration est le procédé de séparation membranaire le plus utilisé actuellement à l'échelle industrielle (en étape finale ou en pré-traitement). La MF peut aussi servir de prétraitement pour la NF et l'OI (Soro, 2012).



1 000 200 (U : vitesse tangentielle, P_r : pression du rétentat, P_p : pression du perméat,).

Figure 1 : Schéma de principe de la microfiltration tangentielle (Soro, 2012).

I.2.3. Ultrafiltration

L'ultrafiltration est une filtration où le liquide traverse une membrane semi-perméable grâce à une différence de pression. Les particules en solution ou en suspension de haut poids moléculaire sont retenues tandis que l'eau et les molécules de faible poids moléculaire passent à travers la membrane. Elle utilise des membranes dont les diamètres des pores sont compris entre 1 et 100 nm. Ce processus de séparation est utilisé dans l'industrie pour purifier et/ou concentrer des solutions de macromolécules (10³-10⁶ gr/mol) notamment les protéines (Allgeier, 2001).

Les molécules de taille supérieure à la taille des pores de la membrane vont être retenues par cette dernière, alors que les petites molécules (et le solvant) vont pouvoir librement traverser la membrane (Figure 2).

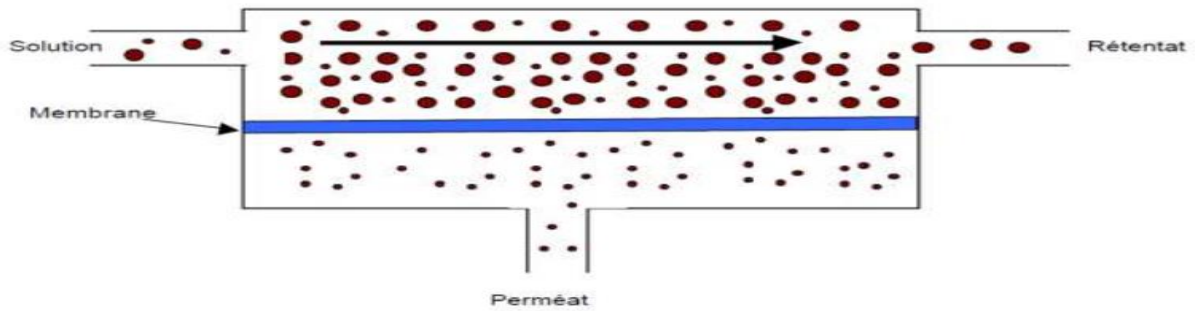


Figure 2: Schéma du principe de l'ultrafiltration (Aoufi,2016)

Le flux de solvant à travers la membrane est directement proportionnel à la pression appliquée, qui est généralement comprise entre 1 et 10 bars.

L'efficacité d'une membrane d'UF est en général caractérisée par son seuil de coupure, qui correspond à une rétention pratiquement totale (90% le plus souvent) d'une macromolécule déterminée par le fabricant.

I.2.4. Nanofiltration

La nanofiltration est un procédé de séparation effectué sur une membrane semi-perméable par l'application d'une différence de pression qui est la force motrice. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre d'où son nom. Elle a été surtout utilisée dans l'adoucissement de l'eau (enlèvement des ions bivalents, en l'occurrence le calcium et le magnésium responsables de la dureté).

En outre, les membranes de nanofiltration vont retenir beaucoup plus les ions multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) que les ions monovalents : elles sont donc sélectives (Figure 3).

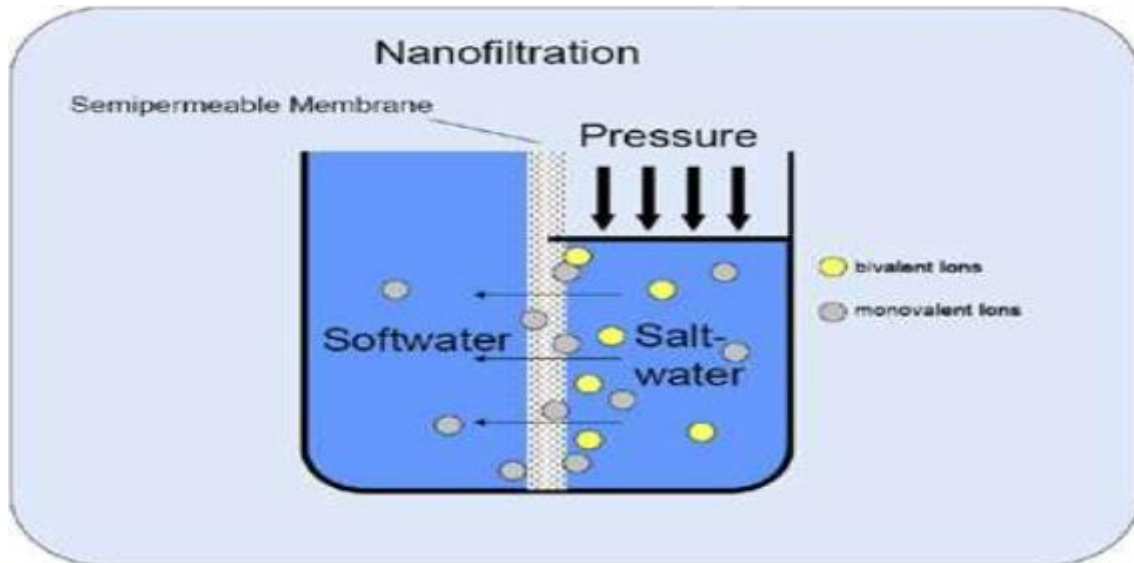


Figure 3: Schéma du principe de la nanofiltration

[http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane processes/Nanofiltration/](http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane%20processes/Nanofiltration/).

I.2. 5. Électrodialyse (ED)

L'ED est un procédé qui utilise la mobilité des ions d'un électrolyte soumis à un champ électrique, le dessalement étant assuré par des membranes qui éliminent sélectivement les sels, ce qui permet d'obtenir de l'eau douce. L'ED a été introduite sur le marché au début des années 1960. L'unité ED de base se compose de plusieurs centaines de cellules reliées entre elles par des électrodes à un bloc extérieur qui constitue la pile. L'eau d'alimentation passe simultanément à travers toutes les cellules en fournissant un courant continu d'eau dessalée et de saumure concentrée qui dépend de la conception du système (Violleau, 1999) (Figure 4).

En raison de la sélectivité des membranes ; c'est à dire les ions Na^+ peuvent uniquement traverser les membranes cationiques et les ions Cl^- les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments. Des produits chimiques peuvent être ajoutés au circuit pour réduire le pouvoir d'entartrage (Violleau, 1999).

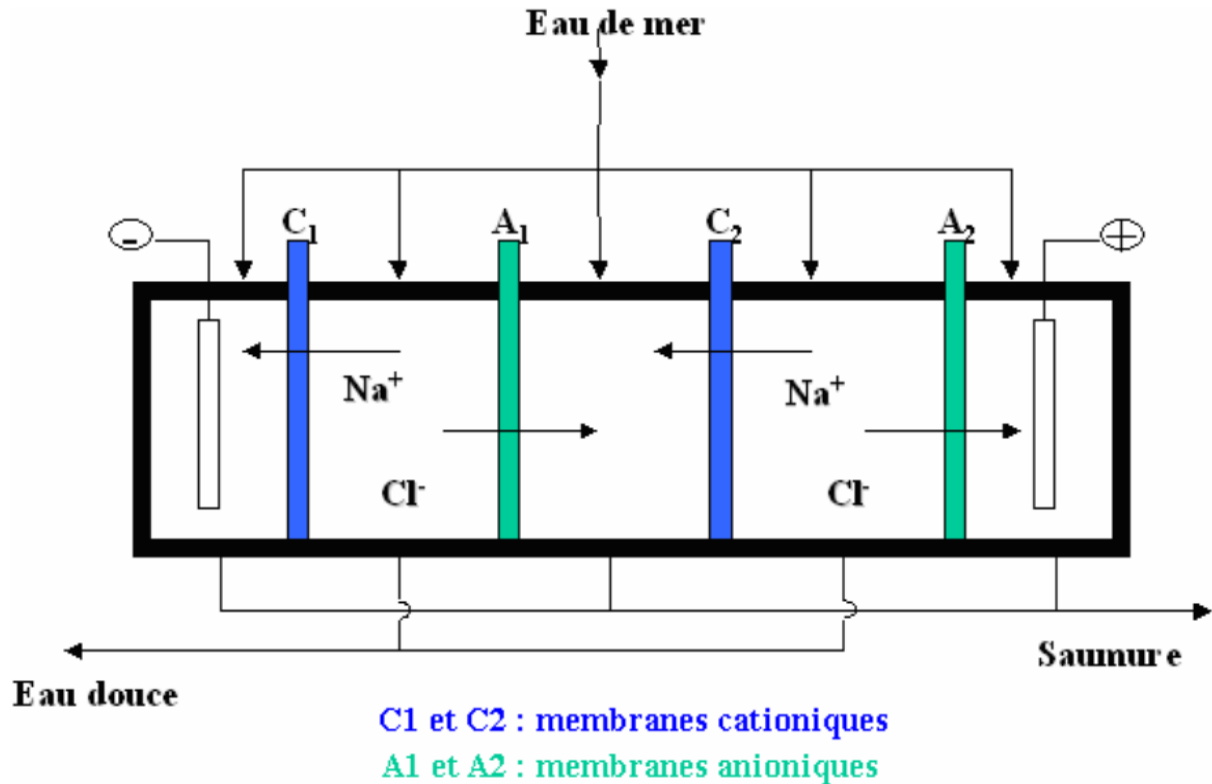


Figure 4 : Principe de l'électrodialyse (Noureddine, 2008)

I.2.6. Osmose inverse

L'osmose inverse (OI) : Typiquement utilisée pour le dessalement de l'eau de mer ou la déminéralisation des eaux saumâtres. L'osmose inverse est la plus ancienne des techniques de séparation par membrane. Elle utilise des membranes denses pour retenir la majorité des solutés et ne laisser passer que le solvant (l'eau, en général) (Romdhane, 2014).

I.2.6.1. Principe de l'osmose inverse

L'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. C'est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires.

Le phénomène d'osmose se traduit par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler.

Si pour simplifier, on suppose que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (Figure 5), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée ; c'est le phénomène d'osmose inverse (Atallah, 2014).

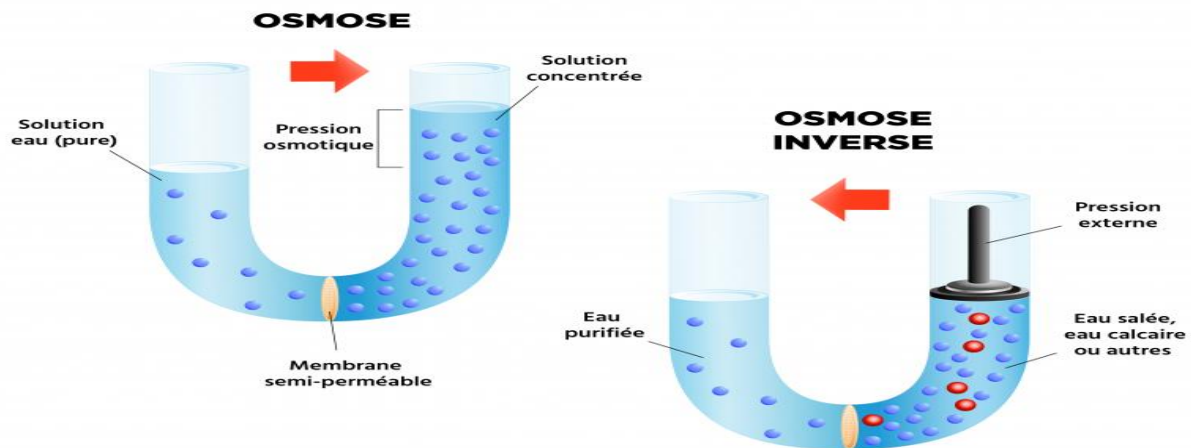


Figure 5 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse

(http://perso.wanadoo.fr/jose.braun/separation/uf_et_oi.htm)

Le procédé OI (Osmose inverse) consiste à séparer les substances dissoutes d'une solution salée pressurisée en la faisant diffuser à travers une membrane. En pratique, l'eau d'alimentation est pompée dans une cuve étanche où elle est pressurée contre la membrane. À mesure qu'une fraction de l'eau diffuse à travers la membrane, la teneur en sels de la fraction restante augmente. Dans le même temps, une partie de cette eau d'alimentation est rejetée, sans diffuser à travers la membrane. Sans ce rejet régulateur, l'eau d'alimentation pressurisée continuerait à accroître sa concentration en sels, ce qui engendrerait des problèmes tels que la précipitation des sels sursaturés et une pression osmotique accrue à travers la membrane (Romdhane, 2014).

I.2.6.2. Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Un système OI se compose des éléments de base suivants (Figure 6) :

- a) Pré-traitement
- b) Pompes à haute pression
- C) Unité d'osmose inverse
- D) Post-traitement

Les unités d'osmose inverse comportent principalement en plus des modules les éléments suivants:

- Une pompe à haute pression (40 à 80 bars) pour l'osmose inverse.
- Un échangeur de chaleur pour maintenir les liquides aux températures souhaitées.
- Une étape d'élimination préalable des plus grosses particules est toujours nécessaire. (Filtre Multimédia, Cartouche 20 microns, Cartouche 5 microns) (Noureddine, 2008)



Figure 6 : Schéma simple du procédé d'osmose inverse (Amitouche, 2016).

I.2.6.3. Pression osmotique

La pression osmotique (Figure 7) peut être calculée par la loi de Van't Hoff 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 (Benaïssa, 2013).

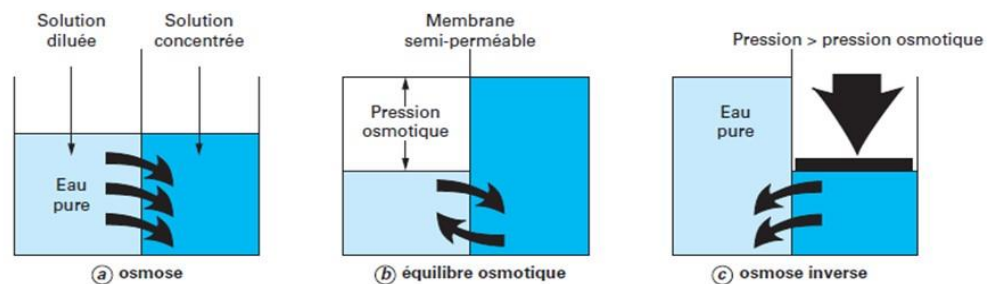


Figure 7 : Pression osmotiques (Benaïssa, 2013)

I.2.6.4. 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.

(<http://www.luisid.com/Brochure/WaterTreatment/Engineering/Memotec37Dessalement>, s.d.)

I.2.6.5. Durée de vie des membranes d'osmose inverse

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 et 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 (Figure 8) 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 (Benaissa,2013).

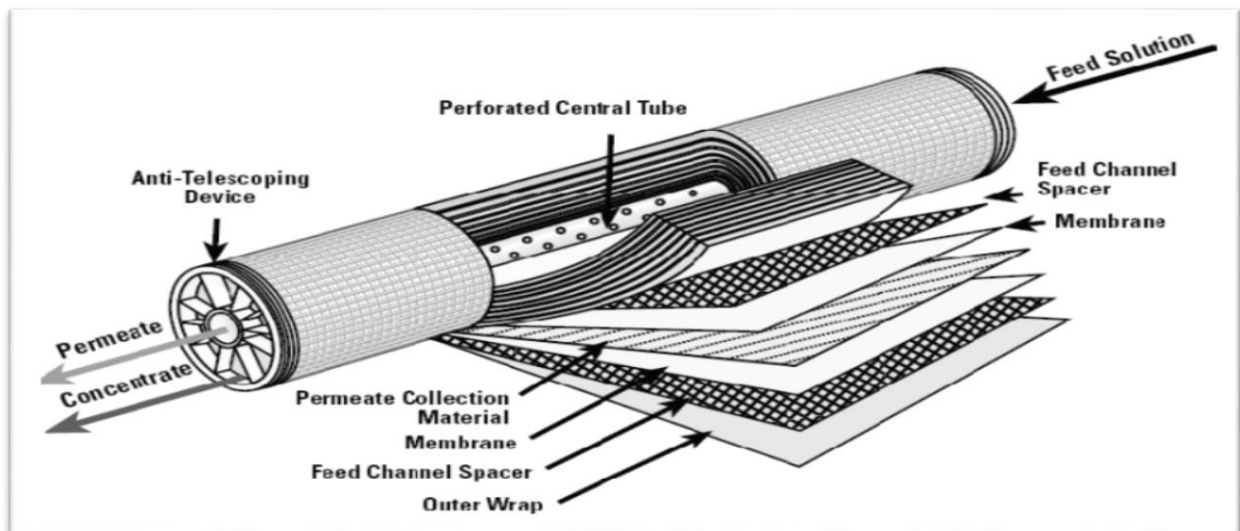


Figure 8 : Schéma du module de l'osmose inverse indiquant l'entrée de l'eau brute et la sortie du perméat et de la saumure (Metaiche,2014)

I.2.6.6. Les modules d'osmose inverse

I.2.6.6.1. 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 la 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) (Benaissa, 2013).

I.2.6.6.2. Les types de modules

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

a) Modules spirales

Les modules de type spirales (Figure 9) sont constitués d'une membrane plane et des espaceurs qui sont enroulés sur un tube destiné à recueillir le perméat, de manière à former des canaux permettant l'écoulement du perméat et de la solution (Lamine et Harikencheikh, 2017).

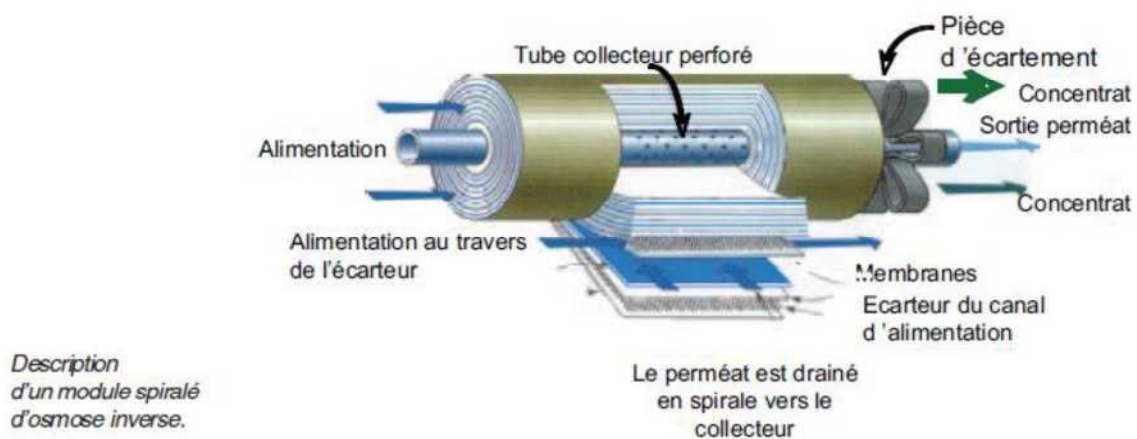


Figure 9 : Module spirale.

b) 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 (Figure 10). 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 (Takabait, 2012).

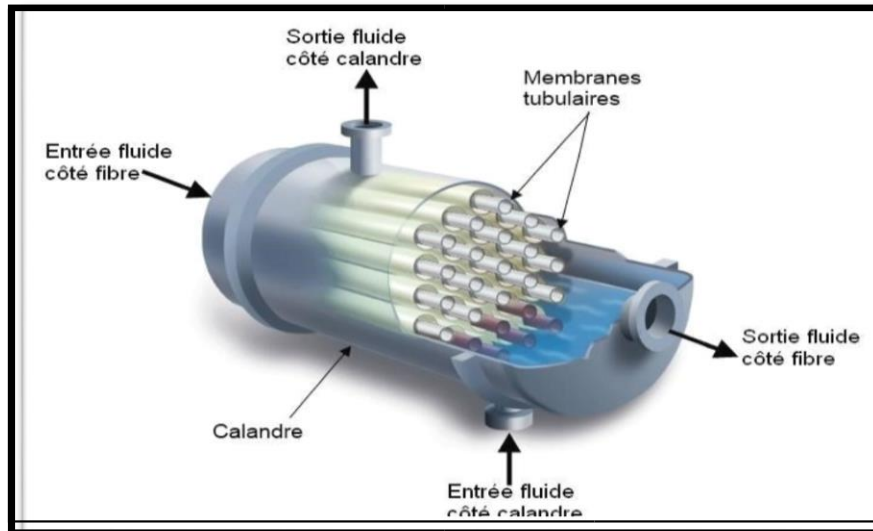


Figure 10 : Module à membrane tubulaire (Degaa et Tercha, 2019).

c) 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 mm . 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 .
- 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 (Alam et Kerroum, 2008).

d) Module plan ou filtre-presse

Cette configuration dérivée des filtres presses est constituée d'un empilement de membranes sous forme de feuilles. Les membranes sont disposées parallèlement les unes aux autres et sont séparées par des grilles ou support (Takabait, 2012).

I.2.6.7. Type de membranes

I.2.6.7.1. 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, Poly sulfone, Aramide, Poly acrylonitrile, 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 (Lachhabe, 2004).

I.2.6.7.2. Membranes minérales (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 (Alfa, 2008).

I.2.6.7.3. Membranes composites

Elles sont caractérisées par une structure asymétrique 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. Elles peuvent être organiques, organo-minérales ou minérales (Maxime, 2008).

I.2.6.7.4. Membranes échangeuses d'ions (MEI)

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

I.2.6.8. Phénomène de 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 (Benaïssa, 2013).

Les conséquences du colmatage sont la diminution accentuée du flux de perméat, à cause de la résistance supplémentaire à la filtration, provenant des dépôts résultant d'une augmentation de la concentration (Gâter, 2012).

I.2.6.9. Nettoyage des membranes

I.2.6.9.1. 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 (<http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/22074/ch02.html#d0e2079>, 2013.).

I.2.6.9.2. 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 (<http://www.lenntech.fr/index.htm>, s.d.)

I.2.6.10. Durée de vie des membranes par OI

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 (Benaïssa, 2013).

I.2.6.11. Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse

a) Les avantages (Si Mohammed, 2013)

- Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ;
- Une flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau ;
- Une durée de mise en œuvre réduite.
- 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 rééquilibre de pH du sang généralement trop toxique).
- Résistivité élevée 20000 à 30000 Ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins.

b) Les inconvénients (Hamdaoui, 2016 ; Benaïssa, 2013)

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.
- 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 parfois 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.

I.3. Conclusion

Les procédés membranaires classiques et l'osmose inverse connaissent un essor important dans la déminéralisation des eaux saumâtres. Toutefois, quelle que soit le procédé, il constituera un élément dans une chaîne d'opération de traitement. Par ailleurs, comme nous l'avons précisé chaque industrie est un cas particulier. La synthèse bibliographique que nous avons réalisée montre que ces techniques membranaires offrent de nombreuses possibilités d'emploi et une qualité du perméat conforme aux normes.

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.

Chapitre II :

Stations de déminéralisation des eaux dans le sud Algérien par Osmose Inverse

II.1.Introduction

En Algérie, la problématique de l'eau est indissociable du développement durable. La pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des politiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau. En vue d'assurer une sécurité future en matière de mobilisation de l'eau et faire face à la rareté de la ressource devant le phénomène de changement climatique, l'Algérie c'est orientée vers les eaux non conventionnelles comme le dessalement des eaux de mère et la déminéralisation des eaux souterraines saumâtres.

L'expérience algérienne dans le domaine de la déminéralisation des eaux en vue d'un usage destiné exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est en développement.

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter une synthèse sur les données existantes sur les ressources hydriques et les stations de déminéralisation des eaux dans le sud Algérien.

II.2. L'eau dans le sud Algérien

Le sud de l'Algérie couvre 85 % du territoire global du pays, avec une superficie d'environ 2 156 000 Km³, et une population qui a dépassé aujourd'hui les 03 millions d'habitants. Considérée comme une zone désertique, où les précipitations sont quasi nulles, les crues sont violentes et dévastatrices, le charriage est considérable et l'érosion des berges participe au transport solide dans les cours d'eau avec un débit appréciable.

Le sud Algérien est constitué des wilayas suivantes : Adrar, Laghouat, Biskra, Béchar, Tamanrasset, Ouargla, Illizi, El Oued, Ghardaïa, El Bayadh, Naama et Tindouf.

Pour ce grand espace, l'essentiel de ces ressources en eau est localisé dans deux grands systèmes aquifères ; la nappe du Continental Intercalaire qui est un grand réservoir d'eau fossile qui s'étend sur tout la Sahara Septentrional et la nappe du Complexe Terminal qui est un aquifère peu profond. Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) est exploité par près de 8800 points d'eau, foggaras et sources : 3500 au continental intercalaire et 5300 au complexe terminal. Par pays, ces points sont répartis entre les 03 pays (l'Algérie : 6500, la Tunisie : 1200 et la Libye : 1100)

Ces eaux ne sont pas renouvelables à un rythme correspondant aux besoins. Le temps de renouvellement de la nappe albienne est estimé à 70000 ans. Cependant, l'exploitation de ces eaux est limitée par les facteurs suivants :

- Les ergs et les dunes occupent une bonne partie de l'espace saharien ;
- La profondeur des captages ;
- La salinité des eaux (Fezzani, 2003).

II .3. Stratégie pour augmenter le stockage de l'eau

Pour éviter de répercuter fatalement le déficit en eau d'ici l'an 2025, il faut mobiliser le maximum des ressources superficielles et souterraines, cherchant de nouvelles ressources, lutter contre les pertes et améliorer la qualité des eaux disponibles. C'est la qualité de l'eau qui est devenue un problème crucial, car depuis une trentaine d'années, cette qualité est menacée par les activités humaines. L'augmentation des besoins d'une région dans les trois grandes catégories (industrie, agriculture, particuliers) demande une planification innovatrice des ressources hydriques. Il est clair que l'Algérie enregistre d'un côté un manque énorme en ressources, au même moment où les besoins augmentent, et de l'autre côté le volume d'eau mobilisable est en diminution, et ceci est dû aux différents problèmes naturels ou humains qui touchent les sites susceptibles de capter les eaux.

Partant de ce constat, Remini (2010) a proposé une série de suggestions dans le but de sauvegarder nos ressources mobilisées actuellement, tout en tentant de les augmenter au maximum, dans la mesure du possible, qui aura pour effet la baisse du déficit et le relèvement du taux de satisfaction, en ce sens que, le but est l'amélioration de la situation actuelle et future afin d'arriver au stade d'équilibre. Lakhdari (2019) a essayé de résumer les propositions de Remini (2010) dans le diagramme suivant (Figure 11).

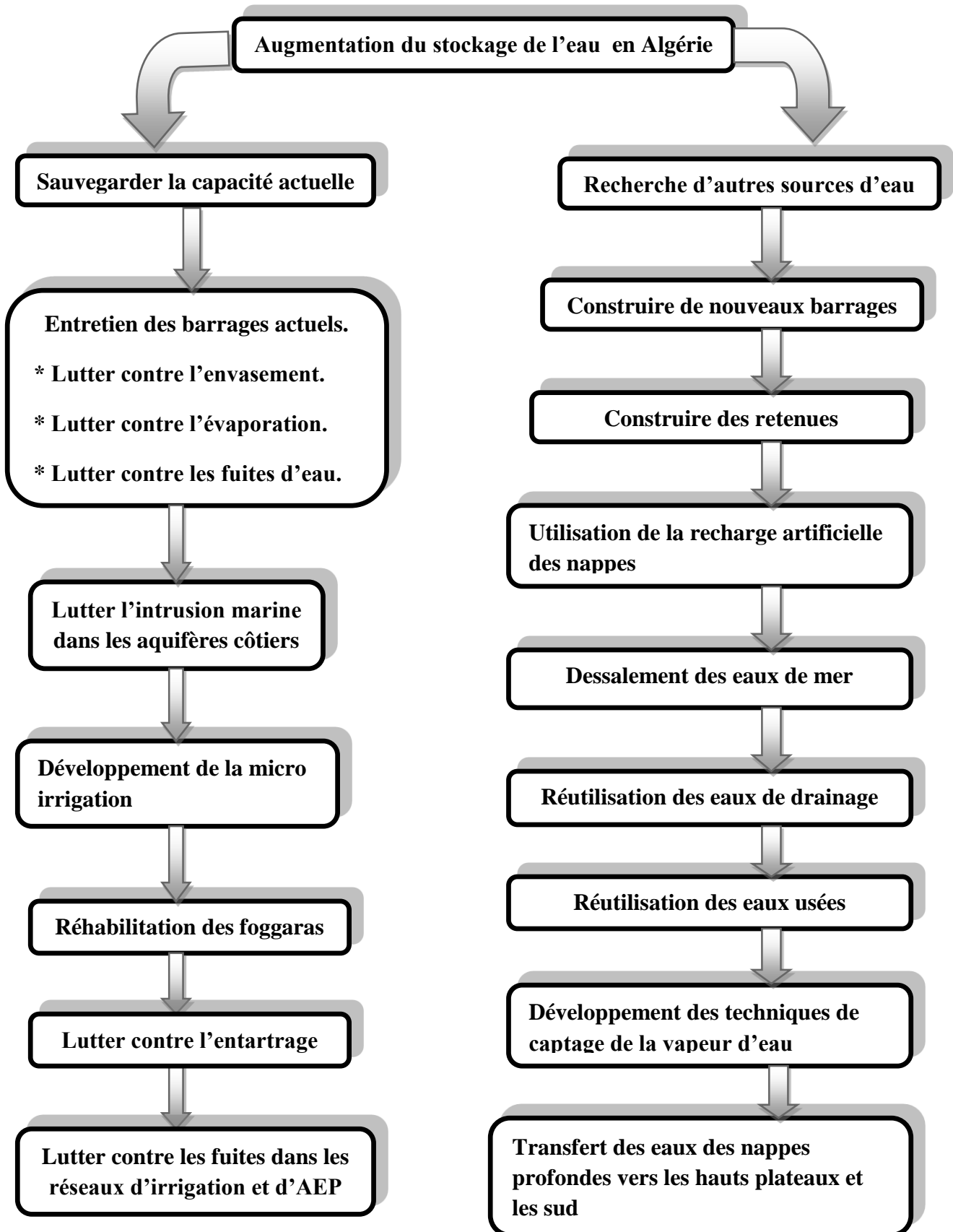


Figure 11 : Procédés d'augmentation de la capacité de stockage de l'eau en Algérie (Digramme résumé par [Lakhdari \(2019\)](#) à partir du document [Remini \(2010\)](#)).

11.4. Minéralisation des eaux souterraines du sud Algérien

La minéralisation correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau. Elle peut être présentée par la conductivité. Selon [Tabouche et Achour \(2004\)](#), toutes les valeurs mesurées de la conductivité des eaux du sud Algérien (dans la région orientale) indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. De plus, elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M.S ; soit 1500 mg/l.

L'eau du Sud contient une charge importante de minéraux dépassant les normes requises, ce qui la rend lourde et non mousseuse. La mission de l'Etablissement Public « Algérienne des Eaux » (E.P-ADE) est de diminuer le taux de sels minéraux pour obtenir un liquide à la limite de l'eau minérale (www.elmoudjahid.com/).

Les eaux de la nappe de l'Albien sont modérément minéralisées, les concentrations en sels varient entre 1,73 g/l (Albien Tamerna) à Touggourt et 3,01 (Albien Ouled Djellal) à Biskra. Une progression de la minéralisation a été observé et se fait du Sud- Ouest (à Ouargla) vers le Nord- Est (à Biskra), cette évolution se fait de 2 à 3 g/l (de substances minérales dissoutes dans l'eau). Pour la nappe du miopliocène de la région d'Ouargla, les concentrations varient entre une valeur minimale de 2,07 g/l et une valeur maximale de 5,19g/l.

11.5. Pratique de la déminéralisation des eaux souterraines en Algérie

Dans le sud Algérien, la capacité globale des stations de déminéralisation des eaux saumâtres (SDES) est de 91,5 hm^3/an . Le débit global mobilisé en amont dépasse les 428,9 hm^3/an . La situation se présente comme suit ([Bourouga, 2015](#)) :

- En étude : 06 stations (Tamanrasset 4. El Oued 2) dont 04 SDES dont les études sont achevées (El Oued 2 et Tamanrasset 2).
- Etude et réalisation : **01** station (Béchar).
- En travaux : 12 stations (Ouargla 10, El Oued et Tamanrasset (ADE)).
- Travaux en cours de lancement : **02** station à l'indicatif de l'ADE (Tindouf et Illizi).
- Installation de SDES Monoblocs : **15** stations (El Oued) dont : **01** station achevée et mise en service et **14** stations en cours d'installation.

Selon la documentation disponible on détail à titre d'exemple quelques données dans la région de Ouargla et de Tamanrasset :

1. Quelques données sur les stations de déminéralisation de l'eau potable à **Ouargla** :

La wilaya d'Ouargla est alimentée en eau potable exclusivement des nappes aquifères. Elle compte également 138 forages, dont 116 en service destinés à l'AEP en plus de 93 réservoirs d'une capacité de stockage de 56.590 m³.

Les 9 stations concernées par le projet de la ville de Ouargla sont actuellement alimentées en eau brutes à partir de 27 forages exploités, dont 2 forages Albiens (Tableau 01).

Le projet consiste à améliorer la qualité de l'eau potable actuellement distribuée à Ouargla et d'en réduire la salinité qui est actuellement de 3 à 6 g/l pour la ramenée après désalinisation à 0,8 g/l. Les différentes stations permettront de traiter 70500m³/J pour fournir 75% d'eau déminéralisée, soit environ 53 000 m³/j (www.ade.dz).

Tableau 01: Caractéristiques des stations de déminéralisation des eaux à Ouargla
(Algérienne des Eaux)

Nom de la station	Capacité d'eaux brutes (m ³ /j)	Objectif d'eaux traitées (m ³ /j)	nbre d'habitant servie moyenne de 150 l/J.hab	Forages
GHARBOUZ (S1)	3 000	2250	15000	2
AIN EL KHEIR (S2)	9 000	6750	45000	5
HAI BOUZID (S3)	4 500	3375	22500	3
MEKHADMA (S4)	3 000	2250	15000	3
IFRI-GARA (S5)	10500	7850	52333	4
ZYAYNA (S6)	3 000	2250	15000	2 (1 Albien)
EL KHAFDI (S7)	7 500	5625	37500	3
BAMENDIL VILLAGE (S8)	3 000	2250	15000	2
EL HADEB (S9)	27 000	20250	135000	3 (Albiens)

2. Quelques données sur la station de déminéralisation par osmose inverse, destinée à l'approvisionnement en eau potable de la ville de Tamanrasset et In Salah (Figure 12) (Lakhdari, 2019). Cette Station, occupe une superficie Totale de 81831,00 m².

- Superficies Bâtie: 6298, 00 m².
- Superficies non Bâtie : 75633, 00 m².
- Superficies des Bassin d'évaporation (14 Bassin) : 60 hectares.

La station est l'un des composants principaux d'un système d'alimentation en eau potable envisage pour la ville de Tamanrasset et de la ville d'in Salah qui est située à environ 700 km en direction sud-est dans la région saharienne de l'Algérie.

Le système est prévu à répondre au besoin en eau dans l'agglomération de la ville de Tamanrasset ainsi que des communautés situées le long de la route d'approvisionnement jusqu'à l'année 2050.

Les données Relatives à la mise en Service et Exploitation de la Station de déminéralisation sont les suivantes :

- Démarrage des travaux : 10 Mai 2015.
- Mis en service semi- industrielle et essais : 19 Juillet 2017.
- Réception provisoire partielle de la station de déminéralisation : 01 Novembre 2017.
- Production actuelle (selon besoin) :
 - Eau brute : Entre 33000 m³/jours et 34 000 m³.
 - Eau traitée : Entre 29000 m³/jours et 30 000 m³.
- La minéralisation mesurée : A la sortie de la station : 0,6 g/l. A Tamanrasset : 0,8g/l.
- Cout du mètre cube d'eau traitée : 36,48 DA en TTC.

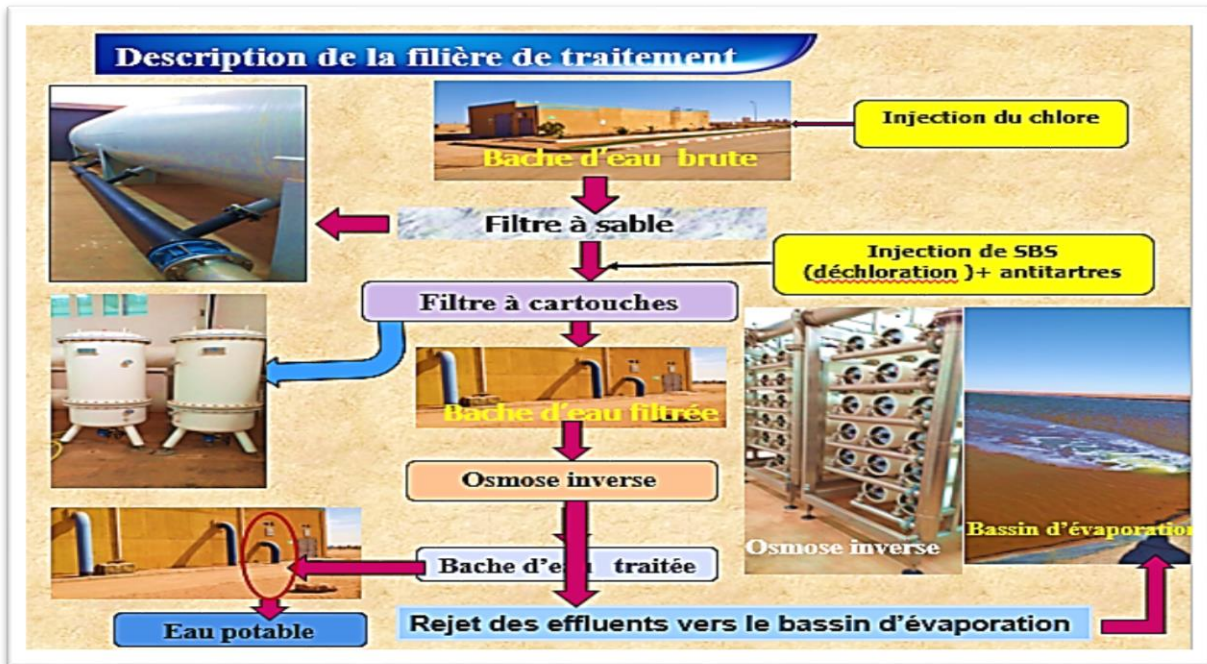


Figure 12 : Filière de traitement au niveau de la station de déminéralisation des eaux
Tamanrasset-In Salah (Lakhdari, 2019)

II .6. Conclusion

Selon la synthèse bibliographique que nous avons réalisé, il semble évident que notre pays a une bonne expérience dans le domaine de déminéralisation des eaux souterraines fortement minéralisées par adaptation de la technique de l'osmose inverse. Malgré les difficultés que peut causer cette technique (coût et entretien), la forte demande d'une eau de consommation douce incite les autorités à l'orientation vers les eaux non conventionnelles.

Partie expérimentale

Chapitre I :

Présentation de la station de déminéralisation

I.1. Introduction

Ce présent chapitre a pour but de donner une description générale sur la station de déminéralisation. Cette station est dotée d'un système d'osmose inverse assurant la déminéralisation des eaux. Cette station est destinée à l'approvisionnement en eau potable de la ville d'El Meghaier située dans la wilaya d'El-Oued. Nous allons commencer le chapitre par une présentation de la zone d'étude puis une description des différentes étapes de déminéralisation des eaux au niveau de la station.

I.2. Présentation de la zone d'étude

La ville d'El Meghaier est située dans une vallée appelée « Oued Righ ». La vallée d'Oued Righ est la plus vaste palmeraie de la partie septentrionale du Sahara algérien. Elle est située géographiquement entre latitude $23^{\circ} 54'$ Nord et $34^{\circ} 9'$ Sud avec une longitude moyenne de 6° Est (ANRH, 2020).

- La région d'étude (Figure 13) concerne le Nord de l'Oued Righ, précisément EL- Meghaïer entre les coordonnées $33^{\circ} 57' 2''$ Nord, $5^{\circ} 55' 27''$ Est. avec superficie de 153200 hectares.

Limitée par :

- Au Nord : la commune d'Oum Thyour;
- A l'Est : la commune de Hamraia;
- Au Sud : la commune de Sidi khilil ;
- A l'Ouest : la wilaya de Biskra.

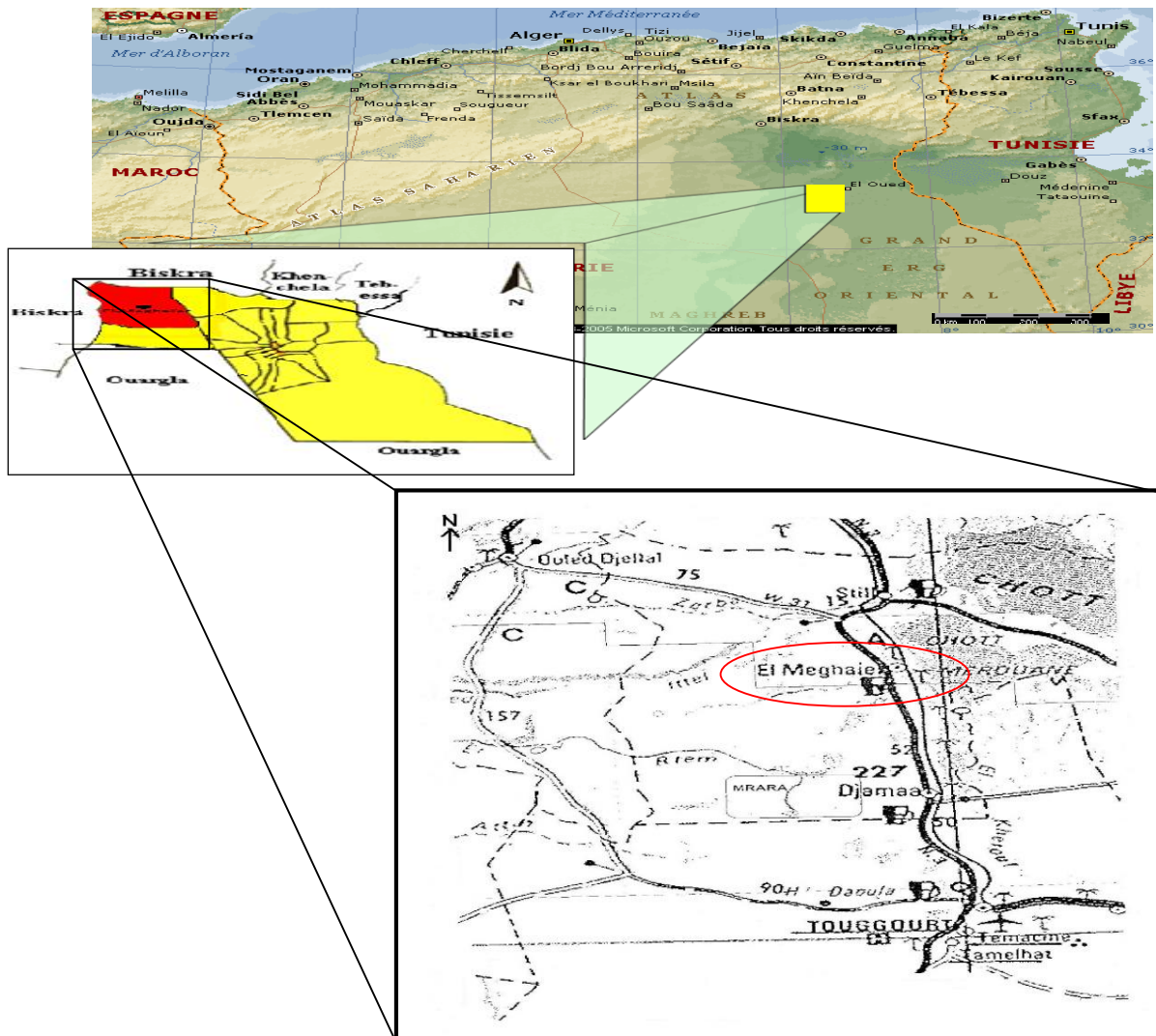


Figure 13 : Situation géographique de la région d'El Meghaier (Ramita, 2018).

I.3. Objectifs de l'installation de la station de déminéralisation

L'eau brute arrive à la station par cinq forages, quatre forages externes et un interne par différents collecteurs dédiés à chaque forage. L'eau ensuite est récupérée dans une bête d'eau brute.

Cette eau est considérée comme eau de salinité élevée, fortes teneurs en sulfate, en calcium et tés riche en ions chlorure et sodium (Tableau 2), d'où la nécessité d'un traitement préalable. De ce faite elle est acheminée vers le réservoir d'eau brute à partir duquel commence la chaine de traitement par osmose inverse.

Tableau 2 : Analyses physico-chimiques de l'eau brute alimentant la station de traitement.

Paramètre	Concentration moyenne dans l'eau brute	Norme de potabilité (JORA, 2014)
pH	7,52	6,5-9,5
Conductivité (µS/cm)	1458,98	2800
Calcium (mg/l)	316,13	200
Magnésium (mg/l)	85,65	-
TH (mg/l en CaCO ₃)	1147,2	500
Sodium (mg/l)	653,51	200
Potassium (mg/l)	23,69	20
Ammonium (mg/l)	0,02	0,5
Baryum (mg/l)	0,03	1
Sulfates (mg/l)	1191,53	400
Chlorures (mg/l)	657,38	500
fluorures (mg/l)	1,60	1,5
Nitrates (mg/l)	39,52	50
Silicate (mg/l)	6,11	
Résidu sec (mg/l à 105 °C)	3547,89	2000

La station de déminéralisation des eaux concerne le sud de El Meghaier, Elle est réalisée dans le cadre du renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville, cette station est réalisée par la société « AMNHYD », qui l'a mis en service en novembre 2018.

La station alimente la ville 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 permet de garantir une alimentation en eau potable de la population de la ville d'El Meghaier qui dépasse 45000 habitants.

I.4. Description de la filière de traitement

I.4.1. Les forages

La station de déminéralisation est alimentée à partir de 5 forages (4 forages externes et un interne) avec un débit moyen horaire de 130 m³/h.

I .4.2. Bassin d'eau brute

Les eaux provenant des cinq forages arrivent à la station dans un bassin d'eau brute (Figure 14) à un volume de 400 m³. Le nettoyage du bassin est fait périodiquement si nécessaire. Les caractéristiques du bassin sont regroupées dans le tableau 3.



Figure 14 : Bassin d'eau brute

Tableau 3 : Caractéristiques du bassin d'eau brute

Paramètre	Unité	Valeur
Débit d'eau brute à stocker	m ³ /h	776
Temps de séjour	min	30
Volume du bassin d'eau brute théorique	m ³	388
Volume retenu	m ³	400
Longueur	m	11,7
Largeur	m	11,4

I .4.3. Les pompes d'alimentation des filtres à sables

A la sortie du bassin d'eau brute on dispose de trois pompes d'eau de haute pression fonctionnant alternativement (Figure 15). Une pompe principale et deux de secours.



Figure 15 : Pompe d'alimentation des filtres à sables.

I .4.4. Les filtres à sable

Après le bassin d'eau brute, l'eau est transférée vers des six filtres à sable (Figure 16). Le filtre sable est la première étape de traitement dans la station.

Ce filtre est composé d'un mélange de sable, gravier et anthracite pour éliminer les particules en suspension ayant une taille supérieure à 20-30 microns.

Ces filtres sont lavés à l'eau prétraitée en équipant les filtres de vannes papillon pneumatiques pour automatiser les étapes de rinçage et d'inversion, les caractéristiques des filtres à sables dans le tableau 4.



Figure 16 : Les filtres à sables

Tableau 4 : Caractéristiques des filtres à sable.

Paramètre	Unité	Valeur
Type	–	Métallique fermé horizontal
Nombre totale de filtre	–	6
Débit nominale de filtre	m ³ /h	129,3
Diamètre	m	3
Longueur du filtre	m	5
Surface de filtration (sans fond GRC)	m ²	15
Longueur totale du filtre	m	6,27
Vitesse en filtration	m/h	8,6
Vitesse lors du lavage d'un filtre	m/h	10,3
Hauteur de la couche filtrante	m	1,2

I.4.5. Bassin d'eau filtrée (prétraitée)

L'eau sortant des filtres est transférée directement dans un bassin de volume 150 m³. Les caractéristiques de ce bassin sont regroupées dans le (Tableau 5).

Tableau 5 : Caractéristiques du bassin d'eau prétraitée.

Paramètre	Unité	Valeur
Besoins en eau pour le lavage d'un filtre	m ³	72
Volume totale retenu	m ³	150
Longueur	m	9
Largeur	m	4,5
Hauteur en eau	m	3,8

I.4.6. Pompe basse-pression

Après le bassin d'eau prétraitée, l'eau est transférée vers les filtres cartouche par trois pompes de basse-pression (2 à 3 bar), une en service et deux secours (en veille). Les caractéristiques de ces pompes sont représentées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques des pompes basse-pression

Paramètre	Unité	Valeur
Débit total d'eau à déminéraliser	m ³ /h	670,9
Nombre de pompes	–	1 en service 2 en secours
Débit unitaire retenu	m ³ /h	335,5
HMT correspondante	m	35

I.4.7. Filtres à cartouches 5 microns

Dans cette étape, il y a trois filtres cartouches (Figure 17) dont le rôle est d'éliminer toutes les particules qui peuvent rester en suspension, ayant une dimension supérieures à 5 microns. Cette étape est subordonnée par l'injection du métabiosilfite, qui est indispensable à la réduction du chlore qui peut endommager le polyéthylène constituant principal des membranes d'osmose inverse, les caractéristiques de cette cartouche sont regroupées dans le tableau 7.



Figure 17 : Les filtres à cartouches 5 microns

Tableau 7 : Caractéristiques de la cartouche 5 microns

Paramètre	Unité	Valeur
Type de cartouche	–	Plissée-polypropylène
Diamètre	mm	152,4
Longueur	mm	1524
Surface de filtration	m ²	7,9
Nombre de microfiltres	–	3
Débit nominal par microfiltre	m ³ . h ⁻¹	223,59

I.4.8. Pompes haut-pression

Avant d'entrer dans les membranes d'osmose inverse, il y a trois pompes à haut-pression (9 à 13bar) fonctionnant alternativement (Figure 18), une en service et 2 en secours. Les caractéristiques sont présentées dans le tableau 8.



Figure 18 : Les pompes à haut-pression

Tableau 8 : Caractéristiques des pompes à haut-pression

Paramètre	Unité	Valeur
Nombre de pompes	–	1 en service 2 en secours
Débit unitaire	m ³ . h ⁻¹	335,5
Pression différentielle maxi à fournir par la pompe HP	bar	15

I.4.9. Osmose inverse

En utilise les pompes à haut-pression pour accentuer la pression coté eau salée. Dans la station en trouve deux lignes d'osmose inverse (Figure 19), la première ligne pour enlever et séparer les sels de l'eau. L'eau de rejet qui sorts de la première ligne est transférée vers la deuxième ligne pour éliminer un maximum de sel afin de rendre l'eau agréable et faire diminuer toutes les impuretés solubles. Après la deuxième ligne, l'eau non traitée (rejet) est évacuée vers le bassin rejet. Les caractéristiques de l'osmose inverse dans le tableau 9.



Figure 19 : L'osmose inverse

Tableau 9 : Caractéristiques d'osmose inverse

Paramètre	Unité	Valeur
Nombre de trains	–	2
Débit d'eau osmosée par train	m ³ /h	335,5
Nombre de passe	–	1
Nombre d'étages	–	2
Nombre d'élément par corps de pression	–	7
Nombre de corps de pression par train	1 ^{er} étage	27
Nombre de modules par train	–	252
Nombre total de modules	–	504
Température de l'eau d'alimentation	°C	25
Augmentation du passage en sels	% /an	10
Pression minimum en sortie du premier étage du perméat	bar	3,5

I.4.10. Bassin d'eau de rejet

Est un bassin de volume de 150 m³. L'eau de rejet de la station est recueillie dans ce bassin (Figure 20) puis drainée dans l'oued. Les caractéristiques du bassin sont regroupées dans le tableau 10



Figure 20 : Bassin des eaux de rejet.

Tableau 10 : Caractéristiques du bassin des eaux de rejet.

Paramètre	Unité	Valeur
Débit de rejets	m ³ /h	167,7
Volume total retenu	m ³	150
Longueur	m	11
Largeur	m	6
Hauteur en eau	m	3
Nombre de pompes alimentant le bassin	–	1 + 1

I.4.11. Bassin d'eau traitée (osmosée)

L'eau osmosée est stockée dans un bassin (Figure 21) de capacité 400 m³. Les caractéristiques du bassin sont regroupées dans le tableau 11. Cette eau est mélangée avec l'eau prétraitée (80 % eau traitée et 20% eau prétraitée) parce que la salinité dans l'eau osmosée (prétraitée) est très faible, puis distribuée vers les châteaux d'eau potable conformément aux normes algériennes.



Figure 21 : Bassin d'eau traitée

Tableau 11 : Les caractéristiques du bassin d'eau traitée

Paramètre	Unité	Valeur
Débit d'eau traitée	m ³ /h	592
Volume du réservoir de pompage de l'eau traitée	m ³	400
Longueur	m	16
Largeur	m	9,4
Hauteur en eau	m	3

I.4.12. Les pompes d'alimentation des châteaux d'eaux

La station de pompage des eaux traitées (Figure 22) est composée de 8 pompes (4 en fonctionnement et 4 en secours installées), avec un débit 360 m³/h. Ces pompes aspirent dans le bassin et refoulent vers chacun des quatre châteaux d'eau.



Figure 22 : Station de pompage d'eau traitée

I .4.13. Nettoyage de l'installation

Périodiquement, et automatiquement tous les ouvrages de la station de déminéralisation de l'eau et essentiellement les membranes d'osmose inverse doivent être nettoyées par l'acide ou la base pour les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à diminuer les performances qualitatives et quantitatives du système

I .4.14. Station de traitement chimique

Cette station contient des postes de traitement chimique (Figure 23), chacun ayant son rôle et ses caractéristiques.



Figure 23 : Postes de traitement chimique

I.4.14.1. Pompe doseuse de chlore

Dans le poste il y a trois pompes de doseuse de chlore (un en service et deux en secours). les caractéristiques du poste sont présentées dans le tableau 12. Le but de ce traitement a pour objectif l'inactivation des micro-organismes (bactéries principalement) qui sont à l'origine d'un colmatage important des membranes appelés biofouling.

Tableau 12 : Caractéristiques des pompes doseuses de chlore

Paramètre	Unité	Valeur
Lieu d'injection	–	Arrivée de l'eau brute à la station
Débit maximum à traiter	m ³ /h	776
Dosage maximum produit pur	g/ m ³	25
Nombre de pompes doseuse en service	–	1 en service 2 en secours
Volume de stockage	m ³	25

I.4.14.2. Pompe doseuse du séquestrant

Dans le poste il y a trois pompe doseuse du séquestrant (une en service et deux en secours), la dose de séquestrant peut varier en fonction du type de membrane, du taux de conversion adopté, du fournisseur de séquestrant retenu. Les caractéristiques des doseuses de séquestrant sont regroupée dans le tableau 13.

Tableau 13 : Caractéristiques des pompes doseuses de séquestrant.

Paramètre	Unité	Valeur
Lieu d'injection	–	En amont des microfiltres
Débit maximum à traiter	m ³ /h	670,9
Dosage nominal produit pur	g/ m ³	1,5
Nombre de pompes doseuse en service	–	1 en service 2 en secours
Surface de Stockage	m ²	4

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fournis une description générale de la station de déminéralisation. L'eau brute passe par plusieurs étapes pour atteindre l'osmose inverse, où elle passe d'abord par les filtres à sables puis les filtres à cartouches. Après ajout des produits chimiques (chlore et séquestrant) l'eau arrive à l'étape d'osmose inverse pour séparer et retenir les sels de l'eau, ensuite l'eau à la sortie est mélangée avec l'eau prétraiter, pour atteindre les consommateurs selon les normes de potabilité.

Chapitre II :

Suivi des paramètres physico-chimiques des eaux au niveau de la station de déminéralisation

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter un suivi des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la station en faisant une comparaison entre l'eau brute avec l'eau filtrée (pré traitée) et l'eau après l'étape d'osmose inverse (traitée). Le suivi de la qualité de ces eaux nous permettra d'avoir une idée sur la performance et l'efficacité de la station de déminéralisation.

II.2. Détermination des paramètres physico-chimiques

La détermination des valeurs des paramètres physico chimiques est nécessaire pour comparer la qualité de l'eau adaptée aux normes de potabilité avant de la distribuer aux consommateurs. Au niveau de la station de déminéralisation il existe un laboratoire dédié à l'analyse quotidienne de l'eau (Figure 24).

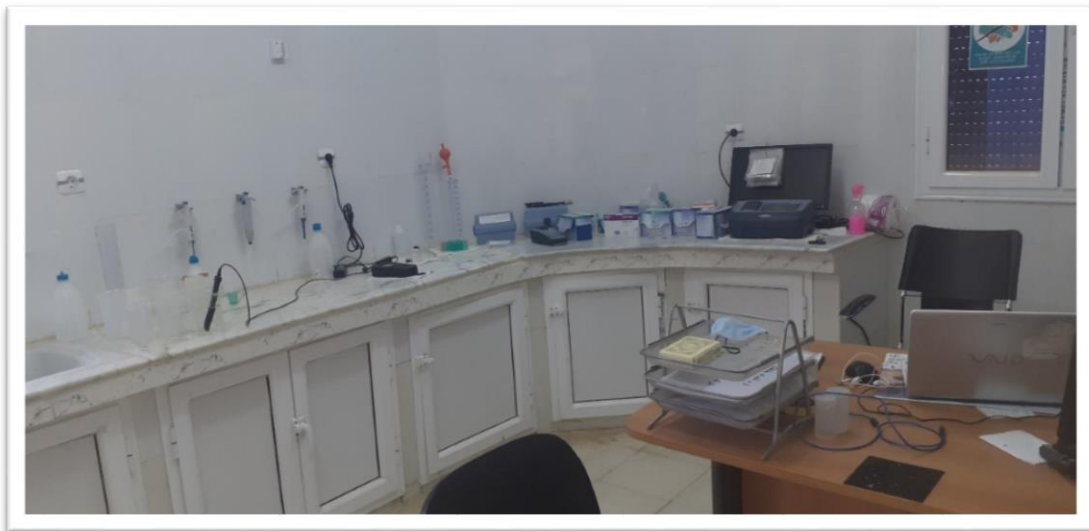


Figure 24 : Laboratoire de la station de déminéralisation

A noter que, au niveau de cette station, les paramètres physico-chimiques suivants : pH, conductivité, salinité, TDS et turbidité sont analysés à chaque étape. Mais, il y a des paramètres physico-chimiques (calcium, magnésium, TH, sulfates et nitrates) qui ne sont analysés qu'à l'étape de l'eau traitée. Ceci est due au fait qu'il y a une pénurie de matériel analytique et parce que les produits chimiques utilisés pour les analyses sont un peu coûteux et la station est toujours sous la supervision et la tutelle d'une société privée (AMNHYD) et elle n'est pas encore été livrée à l'ADE.

- Le pH, conductivité, salinité et TDS (Les solides dissous totaux) des solutions sont mesuré avec un appareil de mesure multi-paramètres portables (HQD40D) (Figure 25).



Figure 25 : Appareil de mesure portables (HQD40D)

- La turbidité de l'eau est mesurée à l'aide d'un Turbidimètre marque HACH 2100Q (Figure 26).



Figure 26 : Appareil de mesure de la turbidité (HACH 2100Q)

- Pour la mesure des sulfates (SO_4^{2-}) de la dureté totale (TH) ainsi que des nitrates (NO_3^-) on utilise un appareil de mesure spectrophotomètre de paillasse DR3900 (Figure 27).



Figure 27 : Spectrophotomètre de paillasse DR3900

- La détermination de la teneur des ions calcium et magnésium est faite par complexométrie à l'EDTA (Rodier, 2009)

II.3. Résultats du suivi des paramètres physico-chimiques

II.3.1. Evolution du pH

Les mesures du pH des différentes eaux analysées pendant les trois mois octobre, novembre et décembre 2019 sont montrés dans la figure suivante.

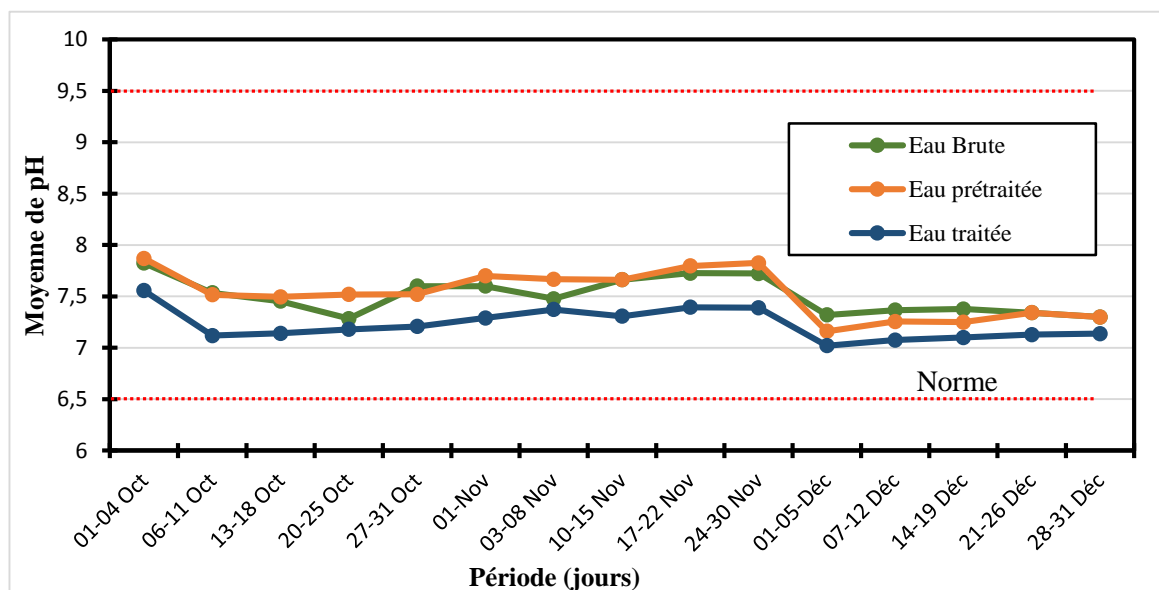


Figure 28: Variation du pH des différentes eaux analysées
(Octobre - Décembre 2019)

Selon les résultats présentés par la figure 28, nous pouvons constater que le pH de l'eau brute est relativement proche de la neutralité, les valeurs du pH obtenues varient entre 7,16 et 7,87 puis commence à diminuer après avoir traversé les différentes étapes déminéralisation.

A la sortie d'osmoseurs, une réduction de pH est enregistrée. Cette variation est due principalement à la déminéralisation de l'eau, car les membranes d'osmose Inverse retiennent les sels minéraux y compris les ions hydrogénocarbonate.

Le pH de l'eau osmosée varie entre 7,02 et 7,55 environ et est conforme à la norme qui correspond entre 6,5 et 9,5 (JORA, 2014).

II.3.2. Variation de la conductivité

La conductivité électrique (CE) désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, la conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau (Rejsek, 2002).

Les mesures de la conductivité des différentes eaux analysées pendant les trois mois octobre, novembre et décembre 2019 sont montrées dans la figure suivante :

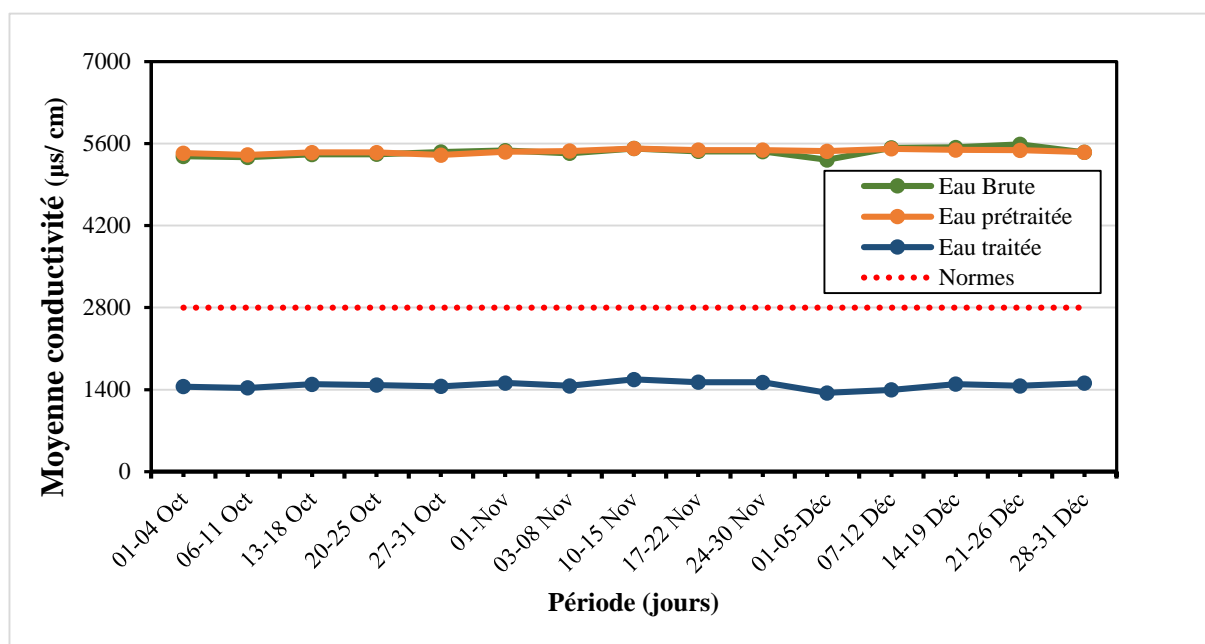


Figure 29 : Variation de la conductivité des eaux en fonction du temps
(Octobre - Décembre 2019)

Le suivi de l'évolution de la conductivité électrique de l'eau (Figure) a permis de constater que la conductivité est élevée et dépasse la norme de potabilité ($2800 \mu\text{S}/\text{cm}$) pour l'eau brute, et après l'étape de filtre à sable, elle reste presque inchangeable. Après le passage par les membranes de l'osmose inverse, la conductivité de cette eau varie entre $1343,2$ et $1574,75 \mu\text{S}/\text{cm}$. C'est une valeur qui est largement inférieure à la norme de potabilité ($2800 \mu\text{S}/\text{cm}$) (JORA, 2014).

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

II.3.3. Evolution de la salinité

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide, notamment l'eau qui est un puissant solvant pour de nombreux minéraux (Wikipidia.org).

Les mesures de la salinité des différentes eaux analysées pendant les trois mois octobre, novembre et décembre 2019 sont présentées dans la figure 30.

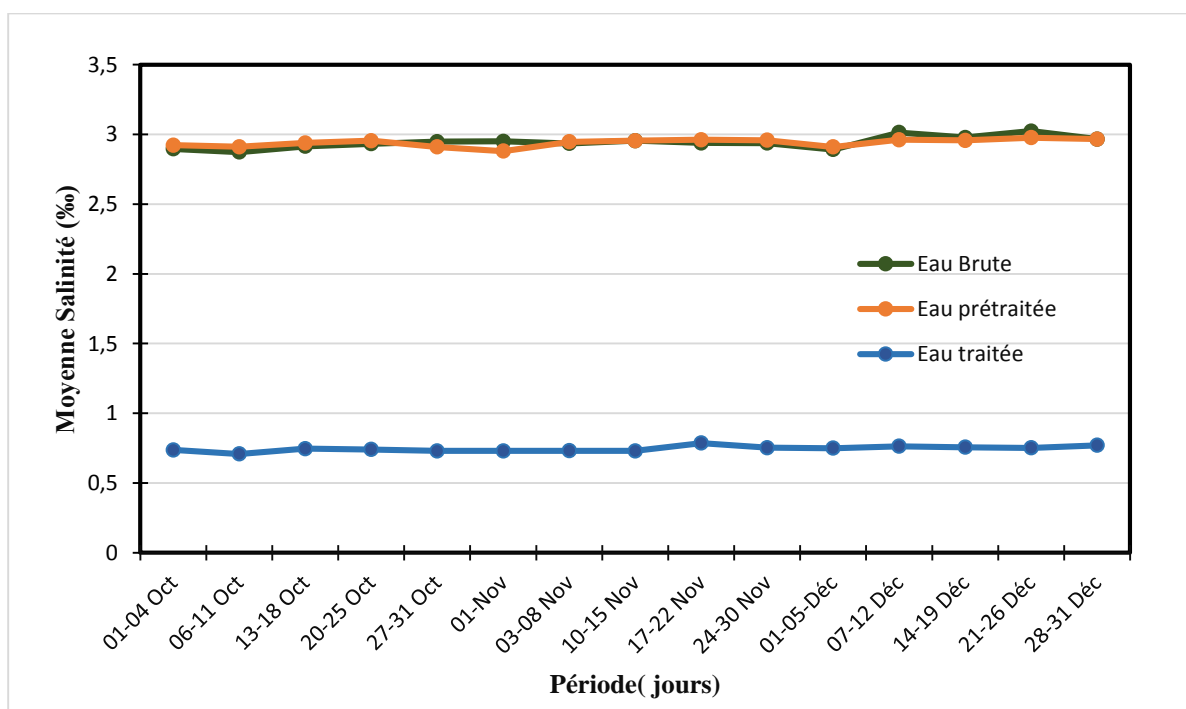


Figure 30 : Variation de la salinité des eaux en fonction du temps
(Octobre-décembre 2019)

Les résultats obtenus montrent des valeurs élevées de la salinité dans l'eau brute, et après l'étape d'osmose inverse elle a subi une diminution remarquable. On peut conclure de cela que la performance de la membrane d'osmose inverse, qui sépare les molécules des sels de l'eau, dans la station est très efficace.

II.3.4. Solides dissous totaux (TDS)

Total des solides dissous (TDS) est une mesure de la teneur combinée en solution de tous les substances minérales et organiques présentes dans un liquide que ce soit moléculaire, ionisée ou micro-granulaire (Solides totaux dissous, 2019)

Les mesures de TDS des différentes eaux analysées pendant les trois mois de suivi sont montrées dans la figure suivante :

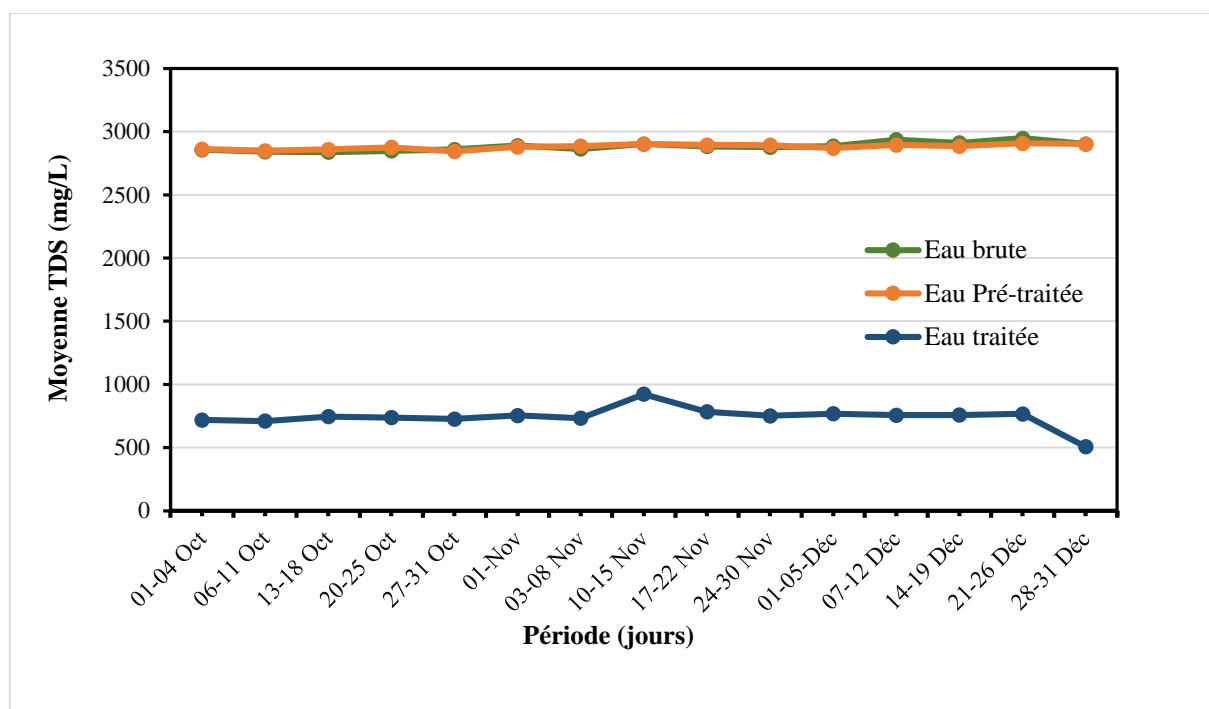


Figure 31 : Variation de TDS des eaux en fonction du temps
(Octobre-décembre 2019)

D'après le graphique, on constate que la station de déminéralisation à purifier presque la quasi-totalité de minéraux et solides dissous dans l'eau après avoir traversé les membranes d'osmose inverse, parce que ces derniers sont responsables de la forte concentration de TDS. On conclut que l'osmose inverse a un grand rôle dans l'enlèvement de TDS.

II.3.5. Evolution de la turbidité

La turbidité est la propriété la plus importante que l'on puisse observé à l'œil nu. Elle est définie comme l'inverse de la limpidité ou de la transparence (Tardat et Beaudry, 1984)

Les mesures de la turbidité des différentes eaux analysées pendant les mois d'octobre et novembre 2019 sont présentées dans la figure 32.

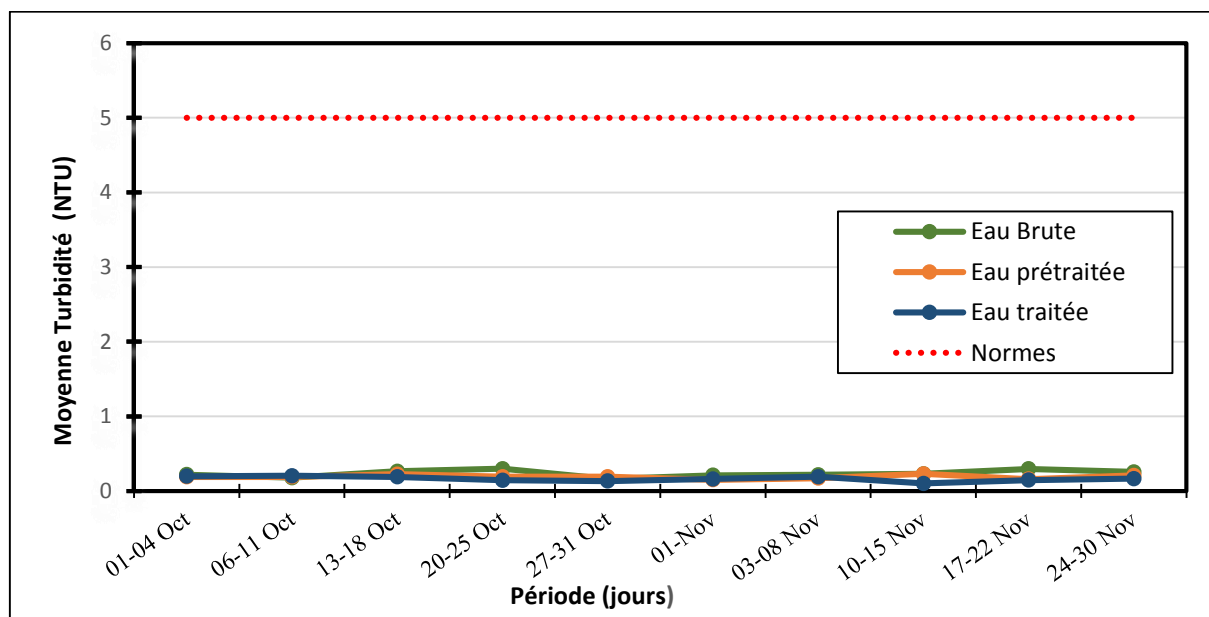


Figure 32 : Variation de la turbidité des eaux en fonction du temps
(Octobre - Novembre 2019)

Selon les résultats d'analyse (Figure 32) la turbidité de l'eau brute, filtrée (sur filtre à sable puis sur filtre à cartouches) et traitée par osmose inverse est conforme à la norme de potabilité (JORA, 2014) et est largement inférieure à 5 NTU. On peut observer que les valeurs de la turbidité fluctuent considérablement autour de deux valeurs extrêmes estimées à 0,1 et 0,51 NTU.

II.3.6. Variation de la teneur des ions calcium (Ca^{2+})

C'est un composant majeur de la dureté de l'eau (TH). Sa teneur varie essentiellement selon la nature des terrains traversés. Le calcium est trouvé en fortes concentration dans les eaux qui ont traversé des roches calcaires (Rodier, 1984).

Les mesures de la concentration des ions calcium (Ca^{2+}) des eaux traitées analysées pour chaque mois (octobre, novembre et décembre 2019) sont montrées dans la figure 33.

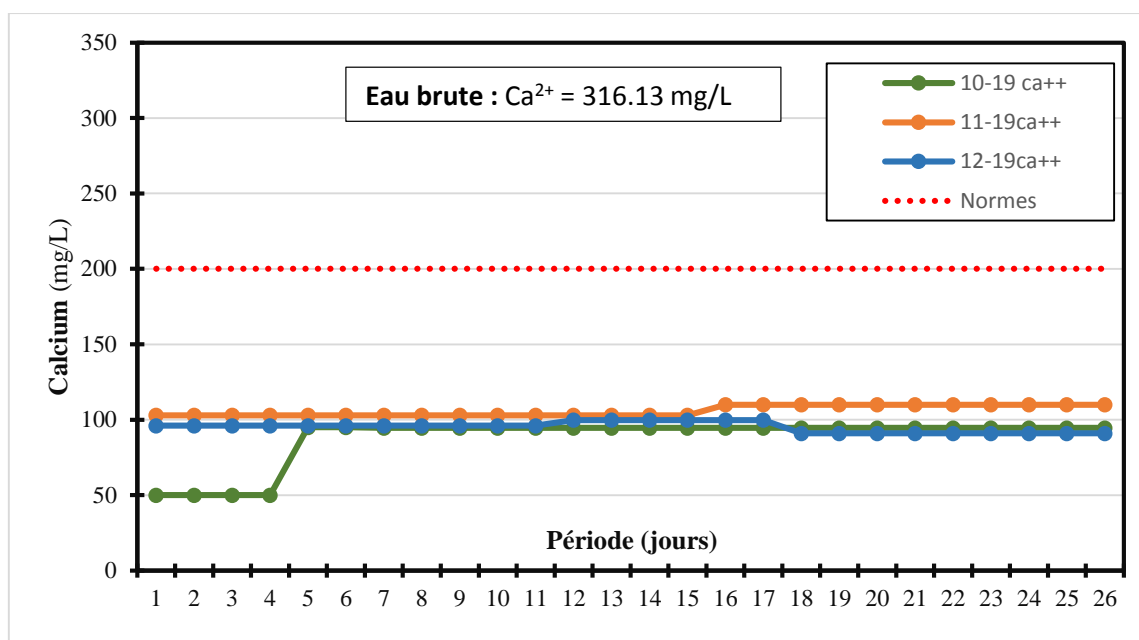


Figure 33 : Variation du (Ca^{2+}) dans l'eau traitée pour chaque mois
(Octobre-novembre et décembre 2019)

À l'entrée de la station, la concentration de calcium dans l'eau brute atteint 316,13 mg/L. Le suivi de cette teneur à la sortie de l'OI montre que le traitement entraîne un abaissement de la concentration en calcium < 200 mg/L ($<$ norme de potabilité) (JORA, 2014).

On remarque sur le graphique que les trois courbes sont proches en valeur, ce qui signifie que l'observation au cours des trois mois fonctionne au même rythme, c'est-à-dire qu'elle est précise et organisée, et qu'il y a un contrôle qui assure et régulière performance de la station pour maintenir la distribution d'eau aux consommateurs dans les normes de potabilité .

II.3.7. Variation de la teneur des ions magnésium (Mg^{2+})

L'ion magnésium (Mg^{2+}) constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, à partir d'une concentration de 100 mg/L et il donne un goût désagréable à l'eau. Sa teneur dans l'eau dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, magnésite et dolomite (Bremond et Vuichard, 1973).

Les mesures du magnésium (Mg^{2+}) des eaux traitées analysées pour chaque mois, octobre et novembre et décembre 2019 sont montrées dans la figure 34.

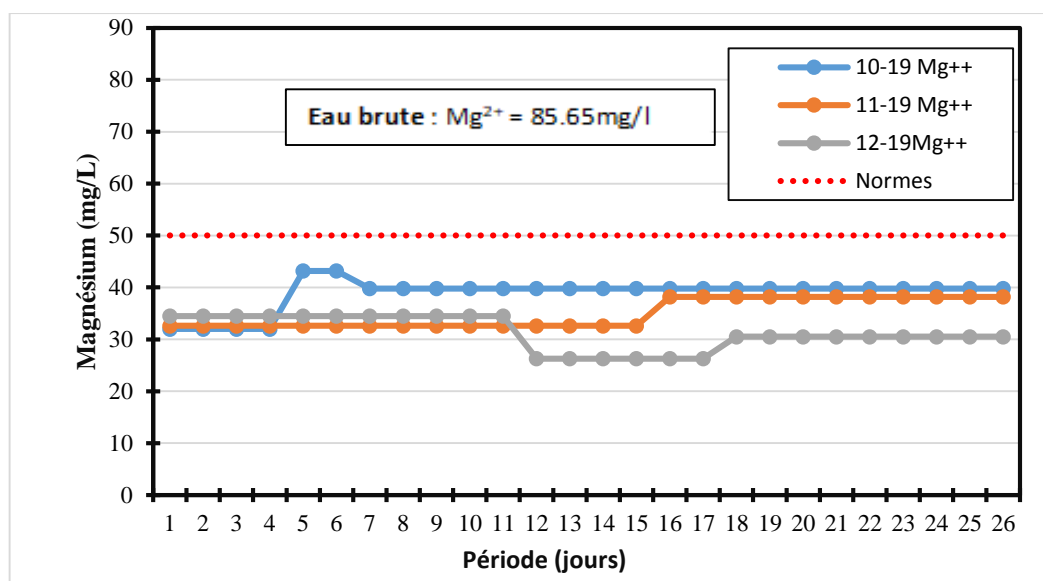


Figure 34 : Variation du (Mg^{2+}) dans l'eau traitée
(Octobre-novembre et décembre 2019)

À l'entrée de la station, la concentration de magnésium dans l'eau brute atteint (85,65 mg/L). Il n'existe pas une norme concernant cet élément dans le [JORA \(2014\)](#) ainsi dans le tableau de valeurs indiquées par l'OMS. La comparaison de ces teneurs mesurées avec la concentration maximale admissible en magnésium (50 mg/L) selon la [CEE \(1975\)](#) montre que cette eau présente des concentrations largement supérieures à la concentration maximale admissible de potabilité, qui est de 50 mg/L.

À la sortie de la station, les teneurs en magnésium pour les trois mois varient entre 26,3 et 43,2 mg/L. Donc elles sont inférieures à 50 mg/L et devenues conforme à la norme de potabilité. On conclut de cela que la performance de la station de déminéralisation est très efficace.

II.3.8. Variation de la dureté totale (TH)

La dureté totale (TH) dépend principalement de la somme de la concentration des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). La dureté de l'eau dépend essentiellement du contexte géologique. Les eaux des régions calcaires sont dures, celles des régions granitiques sont douces ([Tardat et Beaudry, 1984](#)). Les mesures de la dureté totale (TH) des eaux traitées analysées sont montrées dans la figure 35.

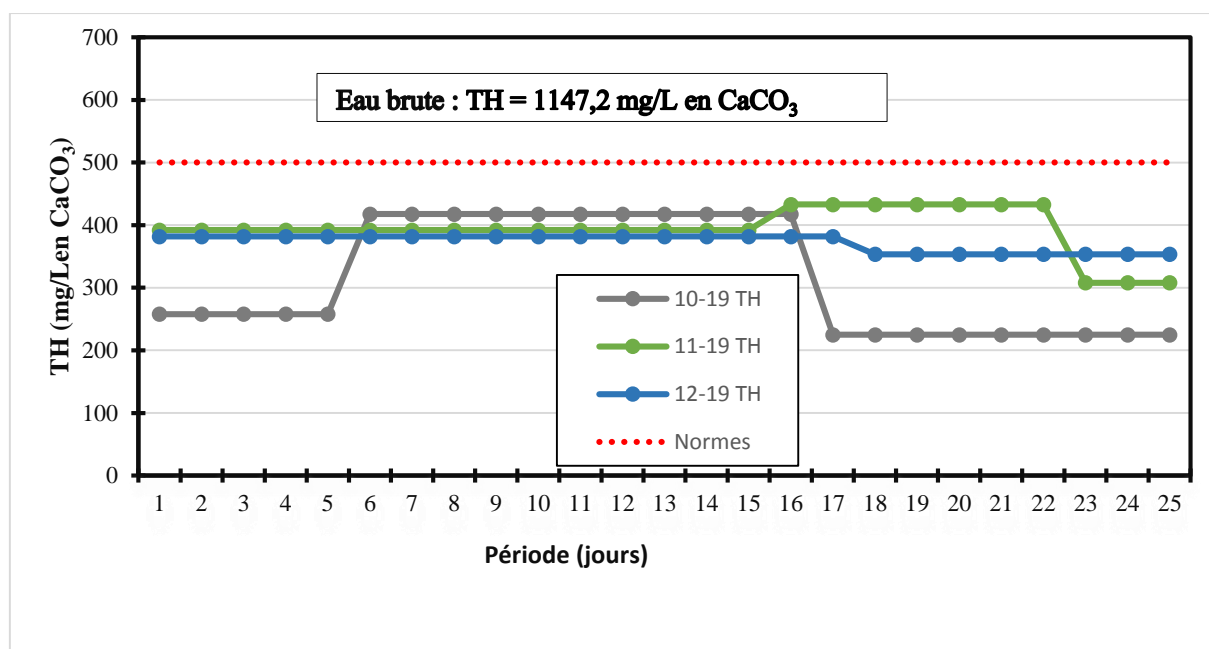


Figure 35 : Variation du (TH) dans l'eau traitée
(Octobre-novembre et décembre 2019)

À l'entrée de la station, la valeur de la dureté totale dans l'eau brute atteint (1147,2 mg/L en CaCO₃), Cette lecture est largement supérieure à la dureté admissible pour les eaux potables (500 mg/L) (JORA, 2014). À partir des données des eaux analysées, nous constatons que les taux de dureté totale diminuent progressivement dans la station de traitement jusqu'à une valeur aux alentours de 225 à 433 mg/L en CaCO₃ pour l'eau à la sortie de la station (eau traitée) (< norme de potabilité (500 mg/L en CaCO₃)). Il semble que l'élimination de la dureté dans la station par osmose inverse est très efficace.

II.3.9. Variation de la teneur des ions sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates sont des composés naturels des eaux, ils sont liés aux cations majeurs : calcium, potassium et sodium. Ils proviennent essentiellement de la dissolution du gypse (CaSO₄, 2H₂O) où les sulfures entraînés s'oxydent au contact de l'air en sulfates (Bremond et Vuichard, 1973). Les mesures des sulfates (SO₄²⁻) dans les eaux traitées sont présentées dans la figure 36.

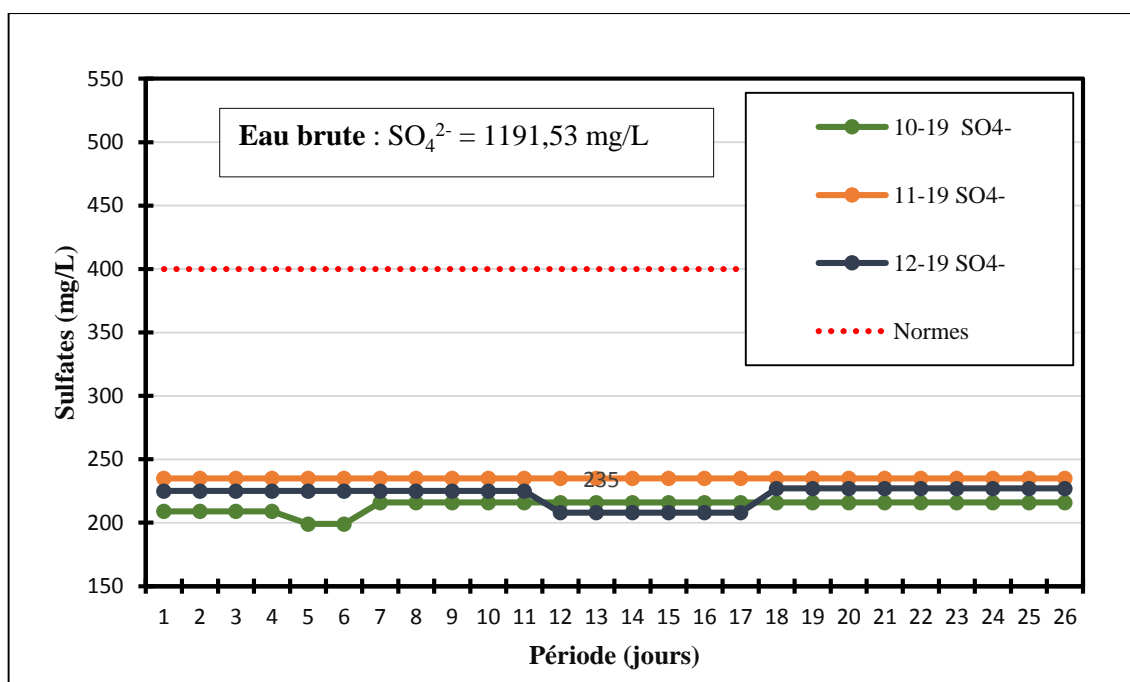


Figure 36 : Variation des ions sulfates dans l'eau traitée
(Octobre-novembre et décembre 2019)

A partir des résultats présentés dans la figure 36, nous pouvons constater que la teneur en sulfates est élevée dans l'eau brute (1191,53 mg/L). Cette teneur est largement supérieure à la concentration admissible pour les eaux potables (400 mg/L) (JORA, 2014). Par ailleurs, les résultats présentés dans la figure 36 montrent qu'après traitement de ces eaux on arrive à éliminer une forte teneur des ions sulfates. Ainsi, on peut dire que le procédé d'osmose inverse est très efficace et aboutit à des teneurs résiduelles en sulfate très faibles (< 240 mg-SO₄²⁻/L) et conformes à la norme de potabilité.

II.3.10. Variation de la teneur des ions nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates, composés oxygénés de l'azote, sont présents dans les rejets d'eaux usées et dans les engrais. Ils sont le témoin de la dégradation de la qualité de l'eau (Queneau et Habert, 2009). Les nitrates dans l'eau de boisson présentent des risques à la santé suite à l'ingestion des ions nitrates/nitrites tels que la méthémoglobinémie du nourrisson due à l'action des nitrites ainsi que des risques potentiels de cancérogénicité via la formation de composés N-nitrosés (Levallois et Phaneuf, 1992). L'évolution des teneurs des eaux traitées en nitrates pendant la période d'étude est représentée dans la figure 37.

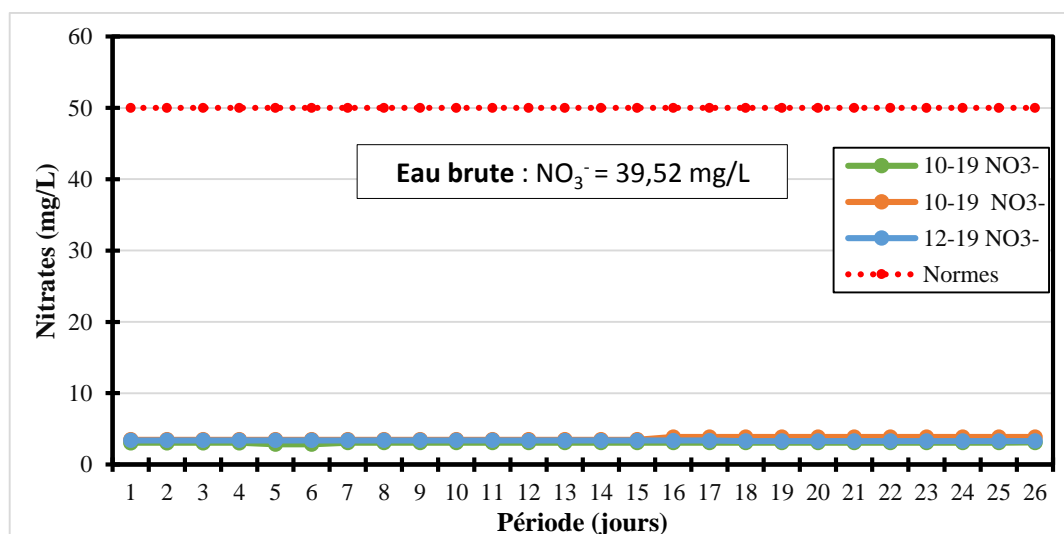


Figure 37: Variation de la teneur des ions NO₃⁻ dans l'eau traitée
(Octobre-novembre et décembre 2019)

À l'entrée de la station, la concentration des nitrates pour les trois mois dans l'eau brute atteint (39,52 mg/L). C'est une valeur inférieure à la norme de potabilité (JORA, 2014). Les résultats présentés dans la figure 37 montrent que le procédé adopté pour la déminéralisation de cette eau arrive à éliminer la quasi-totalité des nitrates. On peut dire que l'osmose inverse est très efficace et aboutit à des teneurs résiduelles en nitrates très faibles (< 50 mgNO₃⁻/L) et conformes à la norme de potabilité.

II.4. Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre est d'évaluer la performance de la station de déminéralisation des eaux des forages de la station de d'osmose inverse située à El Meghaier. Cette étude a été possible par le suivi de l'évolution des différents paramètres de qualité physico-chimique des eaux de deux étapes de traitement.

Le suivi de certains paramètres physico-chimiques (le potentiel d'hydrogène pH, la conductivité électrique (CE), la salinité, les Solides dissous totaux (TDS) et la turbidité de l'eau. Ainsi que les concentrations en Ca^{2+} , Mg^{2+} , TH, SO_4^{2-} et en NO_3^-) a montré que l'eau à la sortie de la station de traitement des eaux est de très bonne qualité en comparant les valeurs mesurées pour chaque paramètre aux normes de potabilité.

La technique de déminéralisation des eaux souterraines par osmose inverse est une technique de choix qui nécessite une étude sérieuse pour la généralisée dans le territoire Algérien.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de cette étude a été d'observer l'efficacité de déminéralisation des eaux par la technique d'osmose inverse. Ceci par le suivi de la qualité physico-chimique des eaux brutes et traitées au niveau de la station de déminéralisation des eaux de forage de la ville d'El Meghaier-Wilaya d'El Oued.

L'étude bibliographique a été présentée en deux chapitres. Cette partie a permis de donner une synthèse bibliographique sur les techniques de déminéralisation des eaux et sur le pratique de déminéralisation des eaux souterraines dans le sud algérien par osmose inverse.

Il en ressort que la filtration sur membrane est une technique de séparation qui fait intervenir une membrane semi-perméable et sélective sous l'effet d'une force motrice. Cette force motrice peut être soit un gradient de pression (cas de l'osmose inverse (OI), de la nanofiltration (NF), de l'ultrafiltration (UF) et de la microfiltration (MF)). Le procédé d'osmose inverse est une technique de filtration membranaire. Il est utilisé pour le dessalement des eaux de mer, des eaux saumâtres. Il en ressort également que la déminéralisation des eaux saumâtres est un sujet préoccupant actuellement, et penser à réaliser des unités de déminéralisation devient jour après jour une nécessité car elles permettent la satisfaction des besoins des consommateurs en eau potable dans les régions qui souffrent du problème de la pénurie et de salinité des disponibles, le cas du sud algérien. Il semble également que notre pays a une bonne expérience dans le domaine de déminéralisation des eaux souterraines (eaux saumâtres) par adaptation de la technique de l'osmose inverse.

L'étude expérimentale que nous avons réalisée a été structurée en deux chapitres. Nous avons commencé par la description des différentes étapes de traitement au niveau de la station de déminéralisation des eaux de la ville d'El Meghaier à El Oued. Ensuite nous avons donné une idée sur le mode opératoire pour la détermination des paramètres physico-chimiques des échantillons prélevés après différentes étapes de traitement. Les résultats des essais analyses physico-chimiques a permis de faire les conclusions suivantes:

- Le suivi de certains paramètres physico-chimiques (le potentiel d'hydrogène pH, la conductivité électrique (CE), la salinité, les Solides dissous totaux (TDS) et la turbidité de l'eau. Ainsi que les concentrations en Ca^{2+} , Mg^{2+} , TH, SO_4^{2-} et en NO_3^-) a montré que l'eau à la sortie de la station de traitement des eaux est de très bonne qualité en comparant les valeurs mesurées pour chaque paramètre aux normes de potabilité.
- La technique de dessalement des eaux souterraines par osmose inverse est une technique de choix qui nécessite une étude sérieuse pour la généralisée dans le territoire Algérien.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Alam I., Kerroum A. (2008).** Optimisation de fonctionnement d'une unité de traitement des eaux a IN SALAH. Mémoire pour l'obtention du Diplôme DEUA en Hydraulique Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- Alfa A. (2008).** Revue de littérature, Procédés de séparation membranaires et leur application dans l'industrie alimentaire. Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc. 642-RVL-0508, Rang Lainesse Saint-Norbert d'Arthabaska Québec.
- Allgeier S. (2001).** Overview of regulatory issues facing microfiltration and ultrafiltration, Proceedings of the 2001 Membrane Technology Conference of the American Water Works Association, San-Antonio, Texas, USA.
- Amitouche M. (2016).** Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur, Thèse de doctorat en Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra.
- Aoufi B. (2016).** Extraction par nanofiltration du cuivre (II) et fer (III) et leurs mélanges, Mémoire de Master en chimie, Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen. <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/8818>
- Atallah A. (2014).** Procède de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de honaine, Mémoire de Master en Biologie, Université Abou bekr belkaid –Tlemcen
- Benaissa F.Z. (2013).** Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, Mémoire de master master en Hydraulique, option : Technologies de Traitement des Eaux, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen.
- Bourouga M. (2015).** Déminéralisation des eaux de forage de la région d'Ouled Abbes et son impact sur l'environnement (Souk Ahras, extrême nord-est algérien), Mémoire de Magister Ressources en Eau et Pollution, Université Badji Mokhtar-Annaba.
- CEE (1975).** Normes européennes de potabilité des eaux CEE, Web Site : [\[https://hydrologie.org/MISC/gest/norpotab.htm\]](https://hydrologie.org/MISC/gest/norpotab.htm).
- Degaa A., Tercha H. (2019).** Etude de la déminéralisation des eaux souterrain par osmose inverse dans la sud-est algerien -cas de la station d'El Meghaier, Mémoire de master en hudraulique Urbaine. Université Mohamed Kheider-Biskra:
- Fezzani Ch (2003).** Système Aquifère du Sahara Septentrional, gestion commune d'un bassin transfrontière, 1^{er} édition, rapport de synthèse- janvier 2003, observatoire du Sahara et du sahel(OSS), ISBN : 9973-856-03-1
- Gâter S. (2012).** Etude des performances du procédé de dessalement de l'eau de mer de la station de Tizirt,mémoire de master en Chimie de l'Environnement. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

- Hamdaoui T. (2016).** Suivi du mode de fonctionnement des ouvrages de la station de traitement par osmose inverse (Cas de l'usine Tissage, Finissage de Biskra (TIFIB)), Mémoire de Master en hydraulique, Université Mohamed Kheider – Biskra.
- JORA.** (Journal Officiel de la République Algérienne)(**2014**). Paramètres de la qualité de l'eau de consommation humaine. décret exécutif N°13 du 7 Jomada El Oula 1435 9 mars 2014.
- Lachhabe A. (2004).** Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de faibles concentrations en sel. Diplôme d'Ingénieur Etat en Hydraulique, Université Aboubakr Belkaid -Tlemcen-.
- Lakhdari H. (2019).** Suivi qualitatif de la station de traitement des eaux par osmose inverse - IN SALAH – Tamanrasset, Mémoire de Master en Hydraulique Urbaine, Département de Génie civil et hydraulique, Université de Biskra.
- Lamine N., Harikencheikh I. (2017).** Diagnostique et amélioration du fonctionnement de la station de dessalement de Tizirt. Mémoire de master en sciences agronomique, option : Traitement Et Valorisation Des Ressources Hydriques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. <https://dl.ummtto.dz/handle/ummtto/9422>
- Levallois P., Phaneuf D. (1992).** Risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates, Réseau de la santé publique du Québec, Bulletin d'information en santé environnementale, Vol.3, Iss.3, pp. 1-3.
- Metaiche M. (2014).** Cours sur la Technologie Membranaire, Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées, Université de Bouira. www.univ-bouira.dz/.../cours/.../750-Génie%20de%20procédés?...Technologie%20M
- Noureddine N. (2008).** Etude d'impact des rejets des déminéralisations de Brédeah sur L'environnement, Mémoire de Master en Sécurité Industrielle et Environnement, Université Es-Sénia –Oran, Algérie. <https://ds.univ-oran2.dz:8443/jspui/handle/123456789/2900>
- Queneau P., Hubert J. (2009).** Place des eaux minérales dans l'alimentation. Rapport de l'académie national de médecine. Société française de l'hydrologie et climatologie médicale. France, pp.175- 220.
- Ramita, R. (2018).** développement de la plasticulture de la wilaya d'Oued Rhir (cas d'El Meghaier mémoire Master . Universite Mohamed kheider Biskra:
- Remini B (2010).** La Problématique de L'eau en Algérie du Nord, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010.
- Rejsek, F. (2002).** Analyse des eaux. Aspects réglementaire et techniques, collection biologie Technique , Série sciences et techniques de l'environnement. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine .
- Rodier , J. (1984).** L'analyse de l'eau eaux naturelles, eaux résiduaires. 7^{ème} édition,Ed.Dunod-Paris.

- Rodier , J. (2009).** L'analyse de l'eau eaux naturelles, eaux résiduaires. 9^{ème} édition, Ed.Dunod-Paris.
- Romdhane A. (2014).** Procédés de séparation membranaire pour la production en continu de nanocristaux de polysaccharides : approche expérimentale et modélisation, Thèse de doctorat en Mécanique des Fluides, Énergétique, Procédés. Université de Grenoble.
- Si Mohammed F. (2013).** Etude expérimentale de l'efficacité d'une membrane en film mince de type spirale pour le dessalement des eaux saumâtres, Mémoire de projet de fin d'Etudes, Mémoire de master en Hydraulique, Option : Technologies de Traitement des Eaux, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen.
- Soro D. (2012).** Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits, Thèse de doctorat en Génie des procédés, Université De Montpellier SupAgro.
- Tabouche N., Achour S. (2004).** Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien, LARHYSS Journal, N° 03, pp.99-113.
- Tahri T., Bettahar A., Douani M., AbdulWaha S., AlHinai H., AlMulla Y. (2010).** Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole. https://iwra.org/member/congress/resource/abs946_article.pdf
- Takabait, F. (2012).** Traitement de l'Eau de Forage par Osmose Inverse au Niveau du Complexe Agroalimentaire Cevital. Mémoire de master en chimie, option analyse, Université A. MIRA - Bejaïa .
- Tardat H., Beaudry. (1984).** Chimie des eaux, Ed le Griffon d'argile. INC Canada.
- Violleau V. (1999).** Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant application au lactosérum, Thèse de doctorat en Sciences des Agroressources, Université de Toulouse.
- Zemali S (2004).** Comparaison entre l'osmose inverse et ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de forte concentration en sel, Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen

Liens :

- <http://www.elmoudjahid.com/fr/actualites/78898>.
- [http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane processes/Nanofiltration/](http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane%20processes/Nanofiltration/)
- <http://www.lenntech.fr/index.htm>. (s.d.).
- <http://www.luisid.com/Brochure/WaterTreatment/Engineering/Memotec37Dessalement>. (s.d.).
- <http://dessalement.wordpress.com/>. (s.d.).

- http://perso.wanadoo.fr/jose.braun/separation/uf_et_oi.htm
- <https://www.ade.dz/index.php/projets-2/projets-ade/6-projets>
- <http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/22074/ch02.html#d0e2079>.
- *Solides totaux dissous*. (2019). Récupéré sur https://en.wikipedia.org/wiki/Total_dissolved_solids
- Maxime , P. (2008). *La nano filtration pour un dessalement sélectif*. Récupéré sur http://www.info.univ-angers.fr/~gh/Tools/gap/dessalementCFM_M._Pontie.pdf