

N°

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil

**Mémoire de Fin d'Etude**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :  
**Hydraulique**

Option : **Ressources Hydrauliques**

**Thème**

**Etude de conception de la station de  
dessalement de la base de vie 24 Février (Hassi  
Messaoud, W. d'Ouargla).**

**Présenté par : M<sup>lle</sup>. BEN GHELLAB. Imen**

**Devant le jury composé de :**

**Mr. HADDAD  
Mr. GHERNAOUT  
Mr. METAICHE**

**Samir  
Redhouane  
Mehdi**

**MCA  
MCA  
MCA**

**Président  
Examineur  
Encadreur**

**Année Universitaire 2022/2023**

# *Remerciements*

*Merci à notre bon **Dieu**, notre guide, notre force, notre bonheur, et la raison de notre existance. C'est lui qui nous a fait comprendre le but de cette vie, et qui nous a donné le pouvoir d'apprécier les choses. Merci d'être là dans les moments les plus difficiles.*

*Tout d'abord, je remercie Monsieur **Mehdi METAICHE** de m'avoir fait l'honneur d'être mon promoteur. Je suis reconnaissante pour sa disponibilité, pour son écoute, ainsi que pour sa confiance pour bien mener ce travail.*

*Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au sein de l'entreprise **AMENHYD SPA** dont je remercie mon encadreur Madame **Leila Fethia BERRAHAL** d'avoir été disponible pour les difficultés rencontrées ainsi que son encouragement dans le travail et surtout les moments d'écoutes et de besoins.*

*Je tiens aussi à remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation en hydraulique, de m'avoir donné la chance d'apprendre, et de me faire partager leurs savoirs.*

*Je remercie aussi toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail de près ou de loin.*

*B. imen*

# *Dédicace*

*Avant tout à mes chers parents, aucune dédicace ne  
Saurait être assez éloquente pour exprimer ce que Vous  
méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez Cessé  
de me donner depuis ma naissance, durant mon  
Enfance et même à l'âge adulte.*

*A mes frères Moncef et Haithem et Chouaib qui sont  
ma force dans la vie.*

*A toute la famille.*

*A ma deuxième famille et mes amies Fatima, Leila,  
Fadoua et Chaima et Selwa, Ferial et Kenza et  
Soumia*

*A tous les employés de la résidence universitaire  
Baanoun Youssef.*

*Amen*



## Résumé

L'eau est un élément indispensable pour la propre vie, et pour toute action socio-économique.

L'insuffisance des ressources en eau dans une région donnée ; en matière de quantité ou de qualité pose des sérieux problèmes. Pour certains endroits ; les deux problèmes se posent en même temps comme notre région d'étude (Hassi Messaoud ; W. de Ouargla) où : la région est désertique reconnue par des pluies très rares (donc une rareté des ressources superficielles) ; et par des eaux souterraines de qualité dégradée (TDS >1500 ppm).

Cette étude vise à concevoir et dimensionner une station de dessalement pour la cité du 24 Février à Hassi Messaoud afin d'améliorer la qualité de l'eau des puits.

## Mots clés

Dessalement, membrane, osmose inverse, eau saumâtre.

## ملخص

الماء عنصر أساسي للحياة نفسها ولأي عمل اجتماعي واقتصادي. موارد مائية غير كافية في منطقة معينة ؛ من حيث الكمية أو النوعية ، يطرح مشاكل خطيرة. لبعض الأماكن تنشأ المشكلتان في نفس الوقت مثل منطقتنا الدراسة (حاسي مسعود ؛ و. ورقلة) حيث: المنطقة عبارة عن صحراء تعرف عليها أمطار نادرة جداً (وبالتالي ندرة الموارد السطحية) ؛ والمياه الجوفية ذات الجودة المتدهورة. تهدف هذه الدراسة إلى تصميم محطة تحلية لمدينة 24 فبراير في حاسي مسعود من أجل تحسين جودة مياه الآبار

الكلمات المفتاحية

تحلية المياه ، الغشاء ، التناضح العكسي ، المياه قليلة الملوحة

## Abstract

Water is an indispensable element for water: for life itself, and for any socio-economic action.

Insufficient water resources in a given region; in terms of quantity or quality poses serious problems.

For some places; the two problems arise at the same time like our region of study (Hassi Messaoud; W. de Ouargla) where: the region is desert recognized by very rare rains (therefore a scarcity of surface resources); and by groundwater of degraded quality (TDS >1500 ppm).

This study aims to design and size a desalination station for the city of February 24 in Hassi Messaoud in order to improve the quality of well water.

**Key words:**

Desalination, membrane, reverse osmosis, brackish water.

## Liste de figure

|  |    |
|--|----|
| Figure I. 1 : Localisation de la région d'étude.....                           | 3  |
| Figure I. 2: Carte de situation géographique Hassi Messaoud .....              | 4  |
| Figure I. 3 : Température moyenne maximale et minimale à Hassi Messaoud.....   | 7  |
| Figure I. 4 : Direction de vent à Hassi Messaoud. ....                         | 8  |
| Figure I. 5 : Probabilité de précipitation à Hassi Messaoud .....              | 8  |
| Figure II.1: Schéma de techniques de dessalement.....                          | 9  |
| Figure II. 2: Distillation à simple effet.....                                 | 10 |
| Figure II. 3 : Distillation à multiples effets.....                            | 10 |
| Figure II. 4 : La distillation Multi-Flash (MSF).....                          | 11 |
| Figure II. 5 : Principe d'unité d'évaporation avec compression de vapeur.....  | 11 |
| Figure II. 6 : Phénomène de l'osmose.....                                      | 13 |
| Figure II. 7 : Schéma de l'osmose inverse.....                                 | 14 |
| Figure II. 8 : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.....             | 15 |
| Figure II. 9 : Schéma d'échangeur d'ions.....                                  | 17 |
| Figure III. 1:schéma du projet.....  | 26 |
| Figure III. 2: Filtre sous pression prise le 17/05/2023.....                   | 28 |
| Figure III. 3 : Schéma de filtre à sable. ....                                 | 29 |
| Figure III. 4:Schéma de filtre à charbon.....                                  | 29 |
| Figure III. 5:Schéma d'un osmoseur. ....                                       | 30 |
| Figure III. 6:Pompe centrifuge haute pression Prise le 17/05/2023.....         | 31 |
| Figure III. 7: Filtre à cartouche prise le 17/05/2023. ....                    | 31 |
| Figure III. 8: Schéma de fonctionnement de désinfection par UV.....            | 32 |
| Figure III. 9:Séries de membrane Vontron selon leurs utilisations. ....        | 33 |
| Figure III. 10 : Membrane vontron modèle 8040. ....                            | 34 |
| Figure III. 11:La membrane Vontron modèle 4040.....                            | 35 |
| Figure III. 12 : Membrane Vontron modèle 4041.....                             | 36 |
| Figure III. 13:Symbole de logiciel AutoCAD.....                                | 37 |
| Figure III. 14: Logiciel Diagramme. ....                                       | 38 |
| Figure III. 15: Logiciel Vontron .....   | 38 |
| Figure III. 16: Diagramme de SchoelerBerkaloff.....                            | 42 |
| Figure III. 17: PID de partie prétraitement. ....                              | 48 |
| Figure III. 18: PID de filtre à cartouche. ....                                | 51 |
| Figure III. 19 : La première étape de simulation dans logiciel Wave. ....      | 55 |
| Figure III. 20: Etape d'analyse de l'eau de simulation par logiciel Wave. .... | 56 |
| Figure III. 21:Etape de désigne par logiciel Wave. ....                        | 57 |
| Figure III. 22 : Avertissement simulateur Wave. ....                           | 60 |
| Figure III. 23 : Avertissement simulateur Vontron.....                         | 60 |
| Figure III. 24 : PID d'osmoseur.....   | 63 |
| Figure III. 25 : Légende de PID osmoseur.....                                  | 64 |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau I. 1 : Présintation des données climatiques de 2008 à2018.....                           | 6  |
| Tableau II. 1 : Liste des avantages et inconvénients de distillation.....                        | 13 |
| Tableau II. 2: Avantages et inconvénients de dessalement par congélation.....                    | 14 |
| Tableau II. 3 : Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse.....                      | 16 |
| Tableau II. 4 : Liste des avantages et inconvénient de l'électrodialyse.....                     | 19 |
| Tableau II. 5 : Les avantages et les inconvénients d'échangeur d'ions.....                       | 21 |
| Tableau II. 6 : Les avantages et les inconvénients d'extraction par solvants.....                | 22 |
| Tableau II. 7: Norme algérienne et OMS.....  | 24 |
| Tableau III. 1 : Conditions d'essai pour modèles 8040.....                                       | 33 |
| Tableau III. 2: Caractéristiques techniques de modèle 8040.....                                  | 33 |
| Tableau III. 3: Limite de travail de modèle 8040.....  | 34 |
| Tableau III. 4: Conditions d'essai pour les modèles 4040.....                                    | 34 |
| Tableau III. 5:Caractéristique techniques de modèle 4040.....                                    | 35 |
| Tableau III. 6:Limites de travail de modèle 4040.....  | 35 |
| Tableau III. 7: Limites de travail de modèle 4041.....   | 36 |
| Tableau III. 8 : Conditions d'essai de modèle 4041.....  | 36 |
| Tableau III. 9 : Les analyses chimiques pour les forage H17, H18 et H19.....                     | 40 |
| Tableau III. 10 : Caractéristiques de pompe de gavage.....                                       | 43 |
| Tableau III. 11: Les données de filtre à sable.....  | 44 |
| Tableau III. 12: Résultats de dimensionnement de filtre à sable.....                             | 44 |
| Tableau III. 13: Les données pour dimensionner le filtre à charbon.....                          | 45 |
| Tableau III. 14: Résultats de dimensionnement de filtre à charbon.....                           | 46 |
| Tableau III. 15: Caractéristiques de retro lavage.....   | 47 |
| Tableau III. 16 : Les donné pour dimensionner le filtre à cartouche.....                         | 50 |
| Tableau III. 17: Résultat de dimensionnement de filtre à cartouche.....                          | 50 |
| Tableau III. 18: Tableau de fiches techniques des membranes.....                                 | 51 |
| Tableau III. 19:Tableau de calcule de nombre des membranes.....                                  | 52 |
| Tableau III. 20 : Résultats de simulation par logiciel Vontron.....                              | 54 |
| Tableau III. 21: Résultats de simulation par logiciel Wave.....                                  | 57 |
| Tableau III. 22: Comparaison entre la simulation de deux membranes.....                          | 58 |
| Tableau III. 23: Dimensionnement de CIP.....   | 59 |
| Tableau III. 24 : Caractéristiques de la stérilisation par UV.....                               | 61 |
| Tableau III. 25 : Débits du schéma globale de la reminéralisassions.....                         | 62 |
| Tableau III. 26: Qualité d'eau finale dans tout de simulation Vontron et Wave et le mélange..... | 62 |
| Tableau IV. 1:Totale de cout d'adduction.....  | 67 |
| Tableau IV. 2: Totale de cout génie civil.....   | 67 |
| Tableau IV. 3: Cout totale de membrane.....  | 68 |
| Tableau IV. 4: Cout de pompe, vannerie et instrumentation.....                                   | 68 |
| Tableau IV. 5: Cout de consommation d'énergie.....   | 69 |
| Tableau IV. 6: Cout de charge personnelle.....   | 69 |
| Tableau IV. 7: Cout d'entretien annuel.....  | 70 |
| Tableau IV. 8: Cout de consommation des produits chimiques.....                                  | 70 |
| Tableau IV. 9: Cout de changement de membrane.....   | 70 |

# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Remerciement   |    |
| Dédicas  |    |
| Résumé.  |    |
| Liste des figures  |    |
| Liste de tableaux  |    |
| I. Introduction générale   | 1  |
| Chapitre I : Description de la zone d'étude.                             |    |
| I.1. Introduction  | 3  |
| I.2. Présentation de la zone d'étude                                     | 3  |
| I.2.1. Situation géographique  | 3  |
| I.2.2. Géomorphologie  | 4  |
| I.2.3. Hydrographie  | 4  |
| I.2.4. Topographie   | 5  |
| I.3.1. Température   | 6  |
| I.3.2. Humidité  | 7  |
| I.3.3. Vent  | 7  |
| I.3.4. Evaporation   | 8  |
| I.3.5. Précipitation   | 8  |
| I.4. Conclusion  | 9  |
| Chapitre II : dessalement des eaux saumâtres (eaux souterraines salées). |    |
| II.1. Introduction   | 10 |
| II.2. Techniques de dessalement de l'eau                                 | 10 |
| II.2.1. Dessalement par changement de phase                              | 11 |
| II.2.1.1. Dessalement par distillation                                   | 11 |
| II.2.1.2. La congélation   | 13 |
| II.2.2. Techniques membranaires  | 14 |
| II.2.2.1. Osmose Inverse   | 14 |
| II.2.2.2. Electrodialyse   | 17 |
| II.2.3. Dessalement par procédées chimiques                              | 19 |
| II.2.3.1. Echangeurs d'ions  | 19 |
| II.2.3.2. Extraction par soulevant                                       | 21 |
| II.3. Les eaux souterraines  | 22 |
| II.4. Norme d'utilisation  | 23 |
| II.4.1. Qualité des eaux potable   | 23 |
| II.4.2. Norme d'eau potable  | 23 |
| II.5. Conclusion   | 24 |
| Chapitre III : Conception de la station de dessalement.                  |    |
| III.1. Introduction  | 26 |
| III.2. Description de projet   | 26 |
| III.2.1. Prétraitement   | 27 |
| III.2.1.1. Filtre sous pression  | 27 |
| III.2.1.2. Filtre à sable  | 28 |
| III.2.1.2. Filtre à charbon  | 29 |
| III.2.2. Osmoseur  | 30 |
| III.2.2.1. Description   | 30 |
| III.2.2.2. Les composants principaux                                     | 30 |
| III.2.2.2.3. Filtre à cartouche  | 31 |
| III.2.3. Désinfection  | 32 |
| III.3. Description de membrane de la marque Vontron                      | 32 |
| III.3.1. Membrane Vontron modèle 8040 [31].                              | 33 |
| III.3.1.1. Conditions d'essai  | 33 |
| III.3.1.2. Caractéristique techniques                                    | 33 |

|   |    |
|---|----|
| III.3.1.3. Limites de travail .....                                       | 33 |
| III.3.2. membrane Vontron modèle 4040.....                                | 34 |
| III.3.2.1. Conditions d'essai.....  | 34 |
| III.3.2.2. Caractéristique techniques .....                               | 34 |
| III.3.2.3. Limites de travail .....                                       | 35 |
| III.3.3. Membrane Vontron modèle 4041.....                                | 36 |
| III.3.3.1. Limites de travail .....                                       | 36 |
| III.3.3.2. Conditions d'essai.....  | 36 |
| III.4. Description des logiciels utiliser .....                           | 37 |
| III.4.1. Qu'est-ce qu'Auto desk AutoCAD ? .....                           | 37 |
| III.4.2. Logiciel Diagramme.....  | 37 |
| III.4.3. Logiciel de simulation osmose inverse .....                      | 38 |
| III.4.3.1. Logiciel Vontron .....   | 38 |
| III.4.3.2. Logiciel Wave.....   | 39 |
| III.5. Dimensionnement de la station .....                                | 40 |
| III.5.1. Analyses de l'eau et faciès chimique pour les trois forages..... | 40 |
| III.5.1.1. Les analyses chimique pour les trois forages .....             | 40 |
| III.5.1.2. Le faciès chimique .....                                       | 41 |
| III.5.2. Prétraitement .....  | 42 |
| III.5.2.1. Pompe de gavage .....  | 42 |
| III.5.2.2. Filtre à sable .....   | 44 |
| III.5.2.3. Filtre à charbon.....  | 45 |
| III.5.2.4. PID de prétraitement.....                                      | 47 |
| III.5.3. Filtre à cartouche.....  | 49 |
| III.5.3.1. Données .....  | 50 |
| III.5.3.2. Résultats .....  | 50 |
| III.5.4. La simulation de l'osmoseur .....                                | 51 |
| III.5.4.1. Fiche technique de membranes Vontron et DawFimTech .....       | 51 |
| III.5.4.2. Nombre de membranes par file .....                             | 52 |
| III.5.4.3. La simulation par le logiciel Vontron .....                    | 52 |
| III.5.4.4. La simulation par la marque DawFimTech (logiciel Wave) .....   | 55 |
| III.5.4.5. Comparaison entre la simulation de deux membranes .....        | 58 |
| III.5.4.6. CIP (clining in place) .....                                   | 59 |
| III.5.5. Dosage chimique .....  | 59 |
| III.5.5.1. Dosage bisulfite .....   | 59 |
| III.5.5.2. Dosage de l'anti scalant .....                                 | 60 |
| III.5.6. Stérilisation à UV .....   | 60 |
| III.5.7. Mélange d'eau brute.....   | 61 |
| III.5.7.1. Qualité de l'eau après le mélange.....                         | 61 |
| III.6. Conclusion.....  | 64 |

#### Chapitre IV : Etude technico-économique de l'eau dessalée.

|  |    |
|--|----|
| IV.1. Introduction .....                               | 66 |
| IV.2. L'investissement .....                           | 66 |
| IV.2.1. Coût de la construction de l'unité.....        | 67 |
| IV.2.2. Cout de l'équipement.....                      | 68 |
| IV.2.3. Coût d'Exploitation .....                      | 69 |
| IV.2.4. Cout globale de la station.....                | 70 |
| IV.2.5. Montant total avec la TVA .....                | 70 |
| IV.2.6. Prix Unitaire du mètre cube d'eau traité ..... | 71 |
| IV.3. Conclusion.....                                  | 71 |
| Conclusion générale.....                               | 72 |

Annexes.

# Introduction générale.

## I. Introduction générale

L'eau a longtemps été considérée comme une ressource naturelle, gratuite et inépuisable. Cependant, en raison de réchauffement climatique, les études montrent une diminution alarmante des réserves d'eau, en particulier dans les régions méditerranéennes où la demande en eau dépasse les ressources existantes.

Face à la demande croissante en eau potable et à la raréfaction des ressources naturelles, l'humanité recherche et développe de nouvelles technologies permettant d'obtenir une eau de bonne qualité à partir des eaux non potable, comme l'eau de mer et l'eau saumâtre. Par eau saumâtre, on entend une eau dont la teneur en sels minéraux est comprise entre 1500 et 10000 mg/l.

Les stations de dessalement ont commencé à fonctionner et développer depuis les années cinquante du siècle dernier, et leur nombre augmente pour devenir dans toutes les régions du monde.

Les eaux souterraines considérées comme la seule ressources dans la région de Hassi Messaoud parce qu'elle a une faible précipitation à cause de ce climat sec, mais elles présente une forte salinité car la composition de ces eaux est reliée de la nature chimique des nappes traversées.

Cette salinité présente un problème majeure, face à des conditions climatique défavorable et la croissance démographique, au développement industriel, c'est pour ça il est nécessaire de faire station de dessalement qui permet la satisfaction des besoins des consommateurs en eau potable soit du côté quantitatif ou qualitatif.

Dans ce contexte, nous avons essayé de valider les calculs de dimensionnement réalisés dans le cadre de ce projet, en mettant en valeur les connaissances acquises lors de notre formation.

Notre étude comprendra les chapitres suivants :

- Le premier chapitre pour présenter la zone d'étude.
- Le deuxième purement théorique, rassemblant des généralités sur les différents techniques de dessalement avec une description générale sur les eaux souterraines.
- Troisième chapitre est consacré à la description de projet et le dimensionnement de la station basé sur le traitement par osmose inverse.
- Le quatrième chapitre est réservé pour l'étude technico-économique de l'eau dessalée.

En fin, nous terminons cette étude par une conclusion générale.

# Chapitre N° 1

Description de la zone d'étude.

## I.1. Introduction

La description de la zone est un paramètre clé dans ce type d'étude, pour cela nous allons présenter la région de Hassi Messaoud du point de vue géographique, géomorphologique, topographie, hydrographie et climatique.

## I.2. Présentation de la zone d'étude

Hassi Messaoud est une circonscription administrative algérienne située dans la wilaya d'Ouargla.



Figure I. 1 : Localisation de la région d'étude [1].

### I.2.1. Situation géographique

Hassi Messaoud située à 86 km au sud-est d'Ouargla; à 172 km au sud de Touggourt et à 800 km au sud-est de la capitale Alger.Elle est limitée :

- Au Nord par la Daïra de Touggourt.
- Au Nord-est par les Communes de Bennacer, Taibat et Mnougueur.
- Au Sud par la Wilaya d'Illizi.
- Au Sud-est par la Wilaya de Tamanrasset.
- A l'Est par la Daïra d'el Borma.
- A l'Ouest par la Wilaya de Ghardaïa.

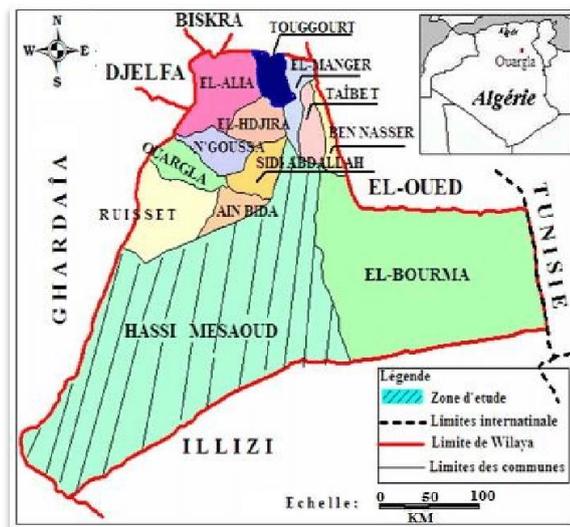


Figure I. 2: Carte de situation géographique Hassi Messaoud [1] .

### I.2.2. Géomorphologie

- Hassi Messaoud appartient à la ceinture homogène connue sous le nom de Sahara oriental. La région peut être divisée en trois régions géographiques :
- Partie occidentale du territoire : occupée par les régions de Hamada et Haoud.
- La partie centrale du territoire est relativement plate. Où est passée l'eau asséchée de la rivière en mai, non plus l'empreinte laissée par l'ancien lit de la rivière.
- La partie orientale du territoire est la partie où se trouve Darg Est. Il forme une vaste étendue de dunes de sable [2] .

### I.2.3. Hydrographie

- Les eaux de surface ne sont pas importantes en raison des faibles précipitations qui déterminent en grande partie le ruissellement de surface. La mobilisation des ressources en eau se fait actuellement à partir des aquifères des jetées et des complexes continentaux.
- Notre zone d'étude présente les caractéristiques des masses d'eau suivantes :
- Aquifères continentaux intercouches : une superficie de 600 000 kilomètres carrés, des réserves de 50 000 milliards de mètres cubes, dont l'Albien n, le Barrémien, le Néocomien et le Malm.
- Aquifères du Complexe Terminal : ses eaux sont la source d'irrigation des palmeraies du Bas Sahara, de Thugurt à Tozeur et Biskra, sont plus propices à l'agriculture que les eaux précédentes, mais sont souvent peu salines. Cet

aquifère se compose des éléments suivants : aquifère pliocène de Mia, aquifère turonien, aquifère sénonien et eaux souterraines [3].

#### **I.2.4. Topographie**

Les coordonnées topographiques de notre zone d'étude sont les suivants : 31.680° de latitude et 6.073° de longitude et 152 mètres d'altitude

### **I.3. Climatologie de la région Hassi Messaoud**

Le climat est l'ensemble des éléments qui caractérisent l'atmosphère avec leur succession habituelle et au cours d'une période précisée [4]. Les paramètres climatiques contribuent à accentuer la population de la région, c'est pour ça il faut les étudiés pour connaître leur impacts sur la zone (la pollution).

Tableau I. 1 : Présintation des données climatiques de 2008 à2018 [5].

| Parametere<br>mois          | T(max)<br>°C | T(min)<br>°C | T(moy)<br>°C | Humidité<br>% | Vent<br>m/s | Evaporation<br>mm | Précipitation<br>mm |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|-------------------|---------------------|
| <b>Janvier</b>              | 17.7         | 4.84         | 11.29        | 57.6          | 2.35        | 93.4              | 2.57                |
| <b>Février</b>              | 19.74        | 6.28         | 13.2         | 48.7          | 2.96        | 129.7             | 1.87                |
| <b>Mars</b>                 | 25.93        | 11.62        | 16.16        | 37.1          | 3.25        | 187.5             | 1.37                |
| <b>Avril</b>                | 30.34        | 15.69        | 23.07        | 32.4          | 3.94        | 263.6             | 1.24                |
| <b>Mai</b>                  | 35.66        | 18.53        | 28.13        | 28            | 4.5         | 346               | 0.64                |
| <b>Juin</b>                 | 40.38        | 28.55        | 33.71        | 26.7          | 3.88        | 401.8             | 0                   |
| <b>Juillet</b>              | 47.29        | 28.09        | 35.97        | 20.47         | 3.5         | 442.6             | 0                   |
| <b>Aout</b>                 | 42.51        | 27.84        | 30.15        | 25.4          | 3.64        | 405.2             | 1.09                |
| <b>Septembr<br/>e</b>       | 37.58        | 23.97        | 30.95        | 35.3          | 3.86        | 307               | 2.05                |
| <b>Octobre</b>              | 32           | 18.73        | 25.34        | 45.7          | 2.97        | 214.9             | 6.9                 |
| <b>Novembre</b>             | 23.88        | 11.29        | 17.3         | 52.6          | 2.66        | 131.5             | 7.98                |
| <b>Décembre</b>             | 18.52        | 6.18         | 12.24        | 62.4          | 2.85        | 94.4              | 2.59                |
| <b>Moyenne<br/>annuelle</b> | 30.96        | 16.80        | 23.13        | 39.36         | 3.36        | 251.47            | 28.21               |

Ce tableau nous présente les données climatiques de la région de Hassi Messaoud pendant 10 ans (2008 à 2018) .Pour nous aider d'étudier les facteurs climatiques de la zone.

### I.3.1. Température

Hassi Messaoud se caractérise par des températures très élevées, surtout pendant la saison chaude, qui dure près de 4 mois (de juin au 15 septembre), atteignant un maximum de 47,29 °C en juillet (tableau 1). La saison froide dure également près de 4 mois (de fin novembre à mars) et la température n'a pas à attendre la température la plus basse de 4,84 °C en janvier (tableau 1).

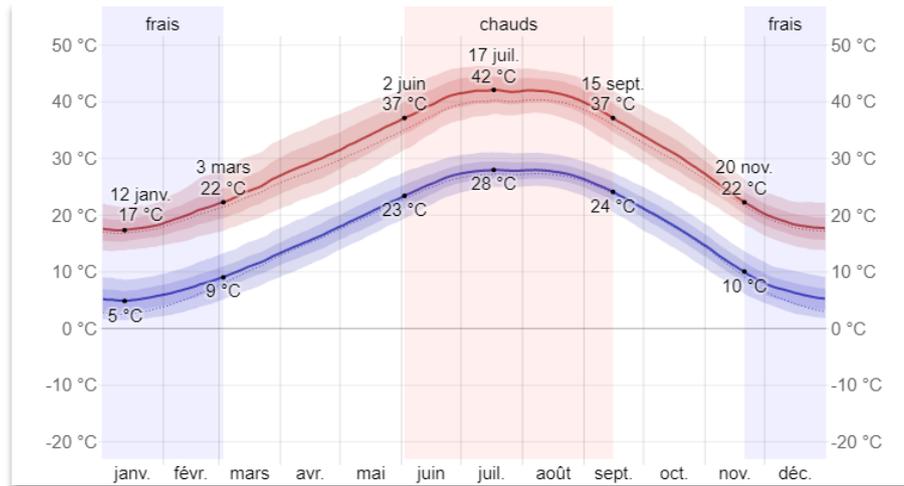


Figure I. 3 : Température moyenne maximale et minimale à Hassi Messaoud [6].

Dans cette figure : la ligne rouge représente la température moyenne quotidienne maximale, et la ligne bleue représente la température moyenne quotidienne minimale.

### I.3.2. Humidité

L'humidité joue un rôle dans "le captage" des particules polluantes et les gouttelettes d'eau en suspension retiennent les polluants, ce qui accroît leur stagnation. (EMMAUEL, 1998). Dans le tableau 1 on remarque que l'humidité est très faible à Hassi Messaoud dont la moyenne annuelle est 39.36 %, ceci est due à sa situation géographique (climat sec). On remarque que le maximum d'humidité étant dans le mois de décembre 62.4% et le minimal de 20.47% dans le mois de juillet à cause de forte évaporation.

### I.3.3. Vent

L'étude de vent est très importante dans notre projet car sa vitesse et sa direction jouent un rôle important dans le déplacement de polluants (plus la vitesse est élevée plus la pollution est réduite). Dans le tableau 1, la vitesse moyenne annuelle de vent de la région Hassi Messaoud est de 3.36 m/s, avec un maximum dans le mois de mai de 4.5 m/s, et de minimum dans le mois de janvier de 2.35 m/s.

Dans la figure 4 on remarque que la direction dominante de vent à Hassi Messaoud est du Nord.

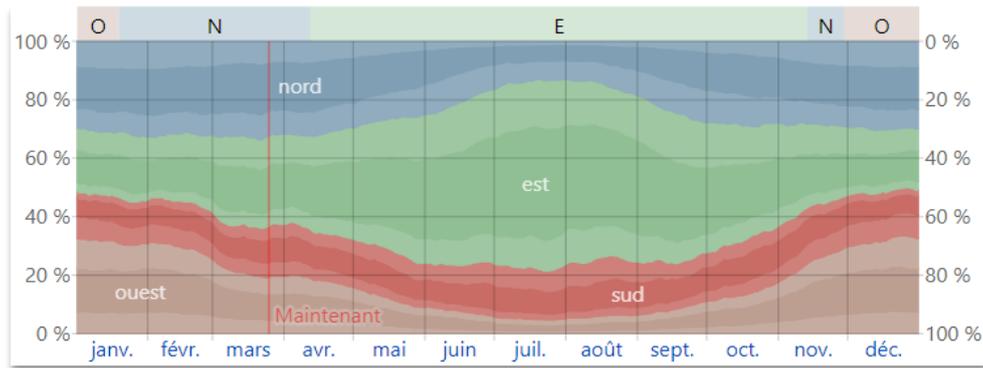


Figure I. 4 : Direction de vent à Hassi Messaoud [6].

### I.3.4. Evaporation

D'après le tableau 1, la moyenne annuelle d'évaporation est de 251.47, l'évaporation est maximale au mois de juillet avec 442.6 mm et minimale au mois de janvier de 93.4 mm.

### I.3.5. Précipitation

Pour connaître la disponibilité et la quantité de l'eau dans une région il faut étudier leur précipitation, Hassi Messaoud est caractériser par une précipitation faible et irrégulière dans l'espace et le temps, selon le tableau 1 on remarque que la moyenne annuelle de précipitation dans la région est de 28.21 mm, le maximum de précipitation et dans le moi de novembre de 7.98 mm, il s'agit de moi pluvieux, par contre les mois juin et juillet qu'ils sont moi plus sec de 00 mm.

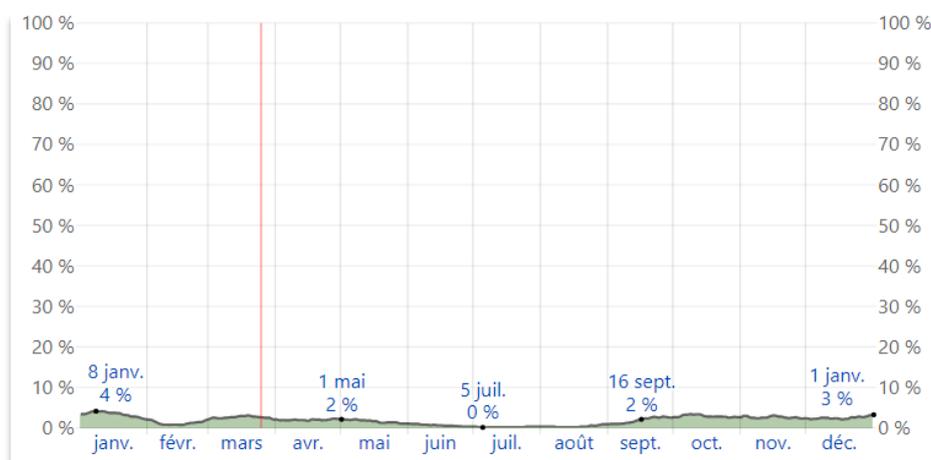


Figure I. 5 : Probabilité de précipitation à Hassi Messaoud [6].

#### **I.4. Conclusion**

La région de Hassi Messaoud est située dans l'étage bioclimatique aride. Elle est caractérisée par la faiblesse de la pluviométrie, les fortes amplitudes thermiques, une intense évaporation ainsi que par l'existence de vents qui sont parfois violents.

# Chapitre N°2

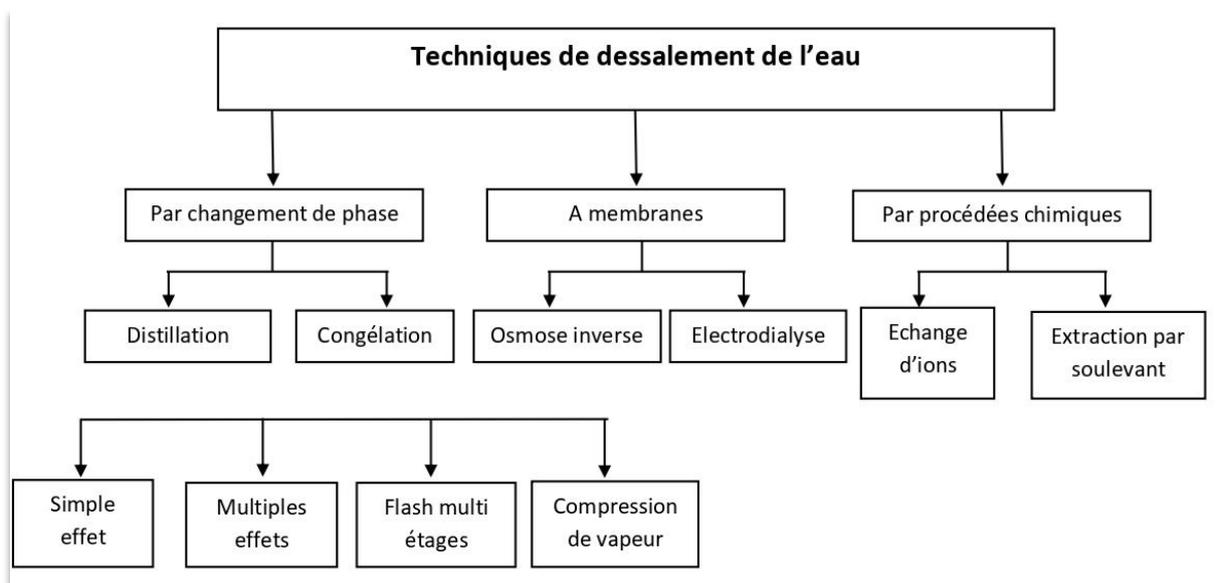
Dessalement des eaux saumâtre (eaux  
souterraines salées).

## II.1. Introduction

Hassi Messaoud est située dans l'étage bioclimatique aride, c'est pour ça les sources d'eau douces dans cette zone sont rare et devient insuffisant au regard de la croissance démographique et la production industrielle. Les sources d'eaux existantes dans cette zone sont les eaux saumâtres (eaux souterraines salées), cela nous pousse de développer rapidement des techniques de dessalements moins chers, plus simples, plus fiables, et si possibles moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement. La présentation des eaux saumâtre et ces techniques de potabilisation feront l'objet de ce chapitre.

## II.2. Techniques de dessalement de l'eau

Le dessalement 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 [7]. Ce processus peut être effectué grâce à différentes techniques plus ou moins coûteuses mais consomme beaucoup d'énergie, ces techniques de dessalement peuvent être classées en trois grandes famille qu'on va expliquer dans le schéma suivant :



**Figure II.1:** Schéma de techniques de dessalement.

## II.2.1. Dessalement par changement de phase

### II.2.1.1. Dessalement par distillation

#### II.2.1.1.1. Distillation à simple effet

Cette opération a un simple principe car il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- 1) Dans une enceinte fermée, un serpentin de chauffage fait bouillir de l'eau de mer.
- 2) La vapeur produite se condense au contact du second serpentin alimenté en eau de mer froide.

Condensat aspiré par groupe électropompe ; second concentré eau de mer ou saumure [8].

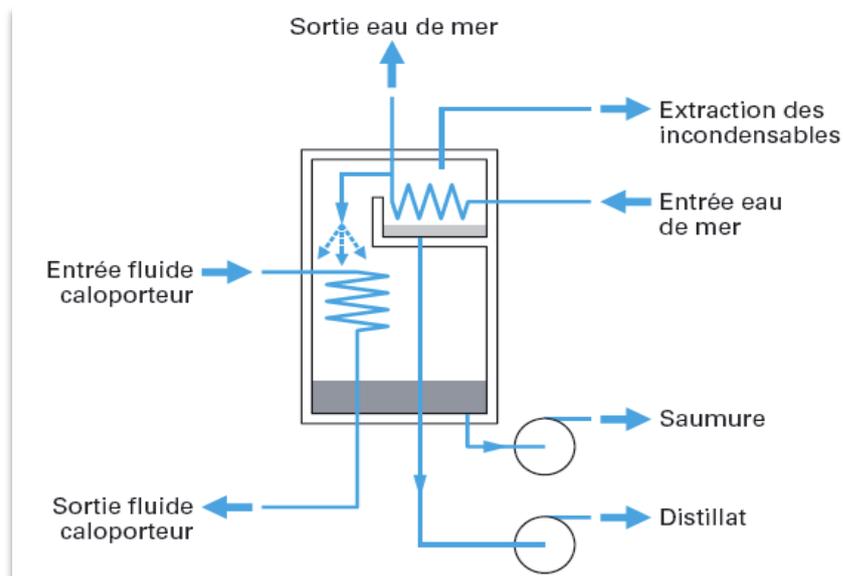


Figure II. 2: Distillation à simple effet [9].

#### II.2.1.1.2. Distillation à multiples effets (MED)

Un système de distillation à effets multiples est constitué d'une série de  $n$  cellules fonctionnant selon le principe du simple effet. Un liquide chauffant fait bouillir l'eau de mer entrant dans la première cellule (70-80 °C). La température de la cellule sera également la plus élevée. La vapeur générée par l'eau de mer bouillante est envoyée à la cellule suivante, où une pression légèrement inférieure est maintenue. Lorsque la température d'ébullition diminue avec la pression, l'eau de mer présente dans la deuxième cellule s'évapore. C'est le deuxième effet. Bien sûr, le processus peut être répété plusieurs fois, avec la température de l'eau de mer froide comme limite inférieure [10].

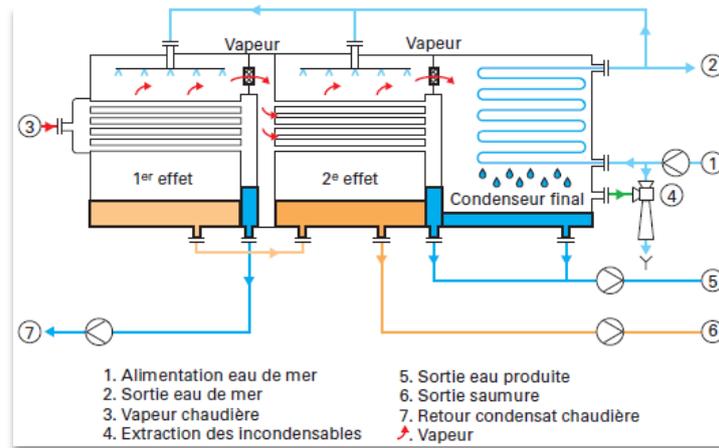


Figure II. 3 : Distillation à multiples effets [11].

### II.2.1.1.3. La distillation Multi-Flash (MSF)

Dans ce processus dit flash, l'eau est maintenue sous pression pendant toute la période de chauffage. Une fois que la température atteint 120°C, il est introduit dans une cuve (ou table) mise sous vide. Cela provoque un vaporage instantané via un déclencheur appelé flash. Une partie de l'eau s'évapore et se condense dans le tube de condensation au-dessus de l'enceinte. L'eau liquide est recueillie dans un récipient sous le tube. Les installations industrielles de MSF peuvent accueillir jusqu'à 40 étages contigus [12].

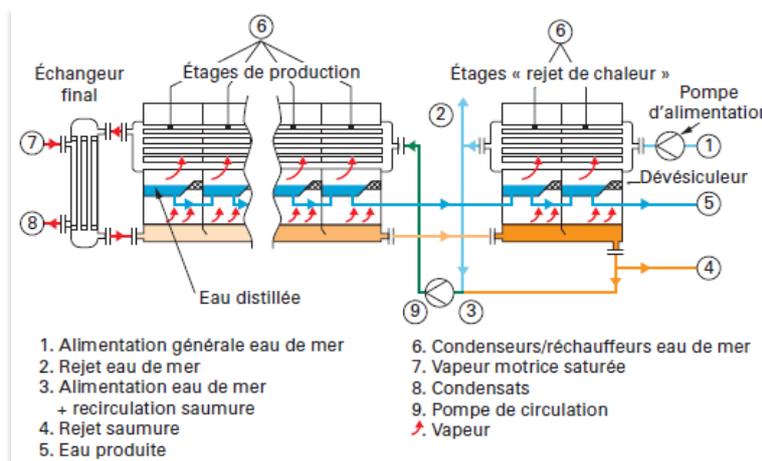


Figure II. 4 : La distillation Multi-Flash (MSF) [11].

### II.2.1.1.4. Distillations par compression de vapeur

L'eau à déminéraliser est bouillie dans une chambre de chauffe isolée. La vapeur résultante est aspirée par le compresseur, élevant la température de saturation. Cette

vapeur passe ensuite à travers un faisceau de tubes au fond du boîtier et se condense, faisant bouillir la saumure [13].

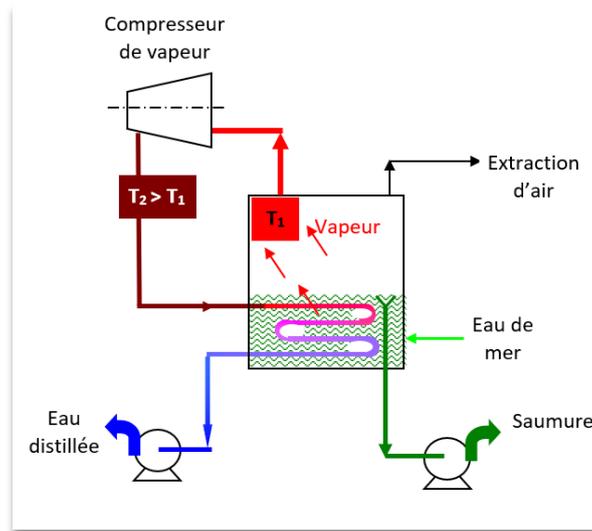


Figure II. 5 : Principe d'unité d'évaporation avec compression de vapeur [11].

#### II.2.1.1.5. Les avantages et les inconvénients de distillation

Le tableau suivant nous donne liste des avantages et inconvénients de distillation :

Tableau II. 1 : Liste des avantages et inconvénients de distillation.

| Avantages   | Inconvénients   |
|---|---|
| Indépendance des fluctuations de la qualité de l'eau brute                            | Faible taux de conversion (moins de 35 %)                         |
| Utilisé pour la capacité de production d'eau à grande échelle                         | Consommation d'énergie spécifique relativement élevée.            |
| Relativement facile à utiliser  | Manque de flexibilité face aux fluctuations de la demande en eau. |
| Eau produite à faible TDS particulièrement requise pour les besoins industriels [14]. | investissement coûteux [14].                                      |

A travers du tableau, on remarque qu'en ce qui concerne le faible taux de conversion, l'énergie utilisée est élevée, donc cette opération est très couteuse surtout dans le cas de grand débit (alimentation en eau potable).

#### II.2.1.2. La congélation

Lorsque l'eau de mer gèle, elle forme des cristaux de glace sans sel [15].

### II.2.1.2.1. Le dessalement par congélation

Des cristaux de glace d'eau douce se forment lorsque l'eau de mer est refroidie à environ  $-2^{\circ}\text{C}$ . À mesure que les températures baissent, la production de glace augmente. A noter cependant que le sulfate de sodium déca hydraté 0 a tendance à précipiter vers  $-9^{\circ}\text{C}$ . Par conséquent, pour produire de l'eau pure, il est préférable de ne pas refroidir l'eau en dessous de cette température [16].

#### II.2.1.2.1. Les avantages et les inconvénients

Le tableau suivant nous donne liste des avantages et inconvénients de dessalement par congélation :

Tableau II. 2: Avantages et inconvénients de dessalement par congélation.

| Avantages  | Inconvénient  |
|--|---|
| <p>Les sels restent dissous même à basse température, il n'y a donc pas de problèmes de sédimentation.</p> <p>L'eau douce qui en résulte est riche en minéraux et bien aérée, ce qui en fait une excellente boisson.</p> <p>Les températures froides sont moins corrosives pour l'équipement que les températures d'ébullition atteintes lorsque l'eau s'évapore [17].</p> | <p>Cette technique est généralement plus coûteuse que l'évaporation de l'eau. La chaleur nécessaire pour geler l'eau est plus chère que la chaleur dépensée pour l'évaporer.</p> <p>Séparer les cristaux de glace de l'eau salée est très difficile et nécessite un processus complexe. Il reste une couche limite de saumure qui adhère au cristal [17].</p> |

Il ressort clairement du tableau que ce processus comporte des complications, car il consomme beaucoup d'énergie et de temps.

## II.2.2. Techniques membranaires

### II.2.2.1. Osmose Inverse

#### II.2.2.1.1. Qu'est-ce que l'osmose

Cette opération est basée sur le principe de base de l'équilibre. Lorsque deux liquides avec des concentrations différentes de solides dissous entrent en contact, ils se mélangent jusqu'à ce que les concentrations soient égales. Si ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable, le liquide avec la plus faible concentration

en solides dissous traversera la membrane et le liquide le plus concentré traverser la membrane et pénétrer dans les liquides élevés. Solides dissous. Après un certain temps, le niveau d'eau d'un côté de la membrane augmente. La différence de hauteur est appelée pression osmotique [18].

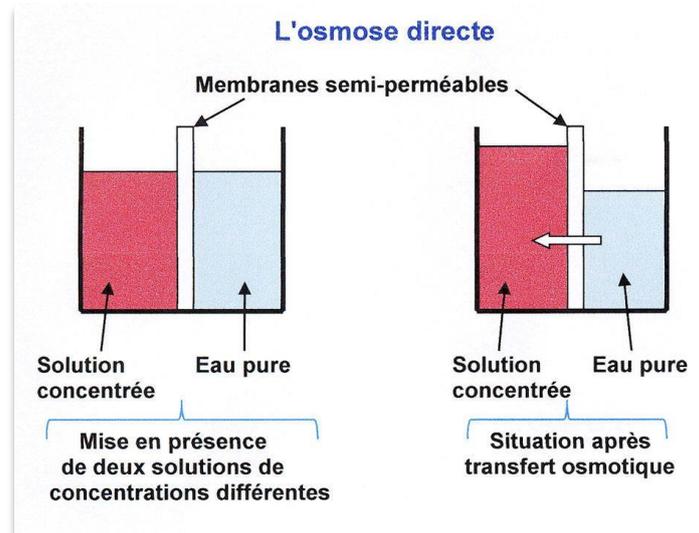


Figure II. 6 : Phénomène de l'osmose [19].

#### II.2.2.1.2. Qu'est que l'osmose inverse

Dans l'osmose inverse, l'eau traverse une membrane semi-perméable sous l'influence de la pression différentielle entre une solution concentrée et diluée. Le taux d'élimination est exprimé en pourcentage de la teneur totale en sel. La réduction de la salinité est de plus de 98,5 % dans l'eau de mer, contre plus de 92 % dans l'eau saumâtre [20].

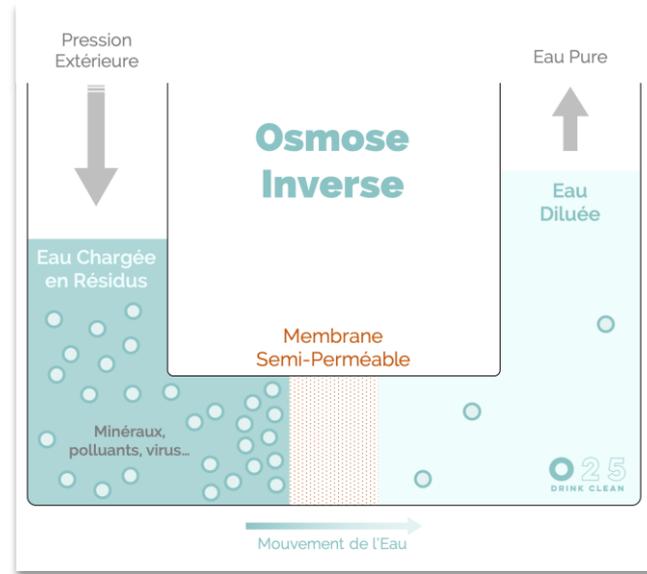


Figure II. 7 : Schéma de l'osmose inverse [19].

### II.2.2.1.3. Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse

Le tableau ci-dessus nous a montré listes des avantages et des inconvénients de l'osmose inverse.

Tableau II. 3 : Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse.

| Les avantages  | Les inconvénients   |
|--|---|
| Taux de conversion élevé (plus de 55 %)  | Fluctuations de la qualité de l'eau brute, en particulier la sensibilité à la pollution   |
| Faible consommation d'énergie spécifique (3-5 kWh/m <sup>3</sup> )   | Besoin de personnel qualifié  |
| Flexibilité aux fluctuations de la demande en eau  | Pour chaque litre d'eau osmosée, 5 litres d'eau sont perdus en raison de la nécessité de nettoyer en permanence la membrane.      |
| Coût d'investissement relativement faible  | Parce que l'eau est dessalée, elle est agressive et corrosive pour la plomberie.  |
| Temps de mise en œuvre réduit (al, 2000)   | L'eau perd tous ses minéraux, y compris certaines bases, en particulier des minéraux bénéfiques comme le calcium et le magnésium. |
| Légèrement acide avec un pH de 6,6 (parfait pour la digestion et l'ingestion).                                 | Il est donc préférable de reminéraliser l'eau avant de la boire [21].   |
| Une résistivité élevée de 20 000 à 30 000 ohms permet une élimination complète des toxines par les reins [21]. |   |

On remarque d'après le tableau que, malgré son cout relativement élevé, l'osmose inverse est bon surtout pour les eaux saumâtre car :

- Le taux rejet des eaux saumâtre est faible par rapport à l'eau de mer.
- Pour reminéraliser les eaux saumâtres il suffit d'ajouter une quantité spécifique d'eau brute au permeal.
- On peut récupérer l'énergie.

#### **II.2.2.2. Electrodialyse**

C'est un processus électrochimique qui extrait les ions contenus dans l'eau [22].

##### **II.2.2.2.1. Description du procédé**

Les ions sont extraits en déplaçant les ions à travers une membrane sélective (anionique ou cationique) sous l'action d'un champ électrique. Par conséquent, seuls les anions peuvent traverser la membrane anionique et seuls les cations peuvent traverser la membrane cationique. En connectant plusieurs membranes en parallèle et en laissant passer alternativement les ions positifs et négatifs, des ions spécifiques peuvent être éliminés de l'eau. Les ions sont concentrés dans certains compartiments et les ions sont éliminés dans d'autres compartiments. Les particules non chargées ne sont pas supprimées [22].

### II.2.2.2.2. Principe de fonctionnement

Lorsque le courant est appliqué au réservoir externe, les ions  $\text{Na}^+$  sont attirés vers l'électrode négative et les ions  $\text{Cl}^-$  sont attirés vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes, c'est-à-dire que les ions  $\text{Na}^+$  ne peuvent traverser que la membrane cathodique et les ions  $\text{Cl}^-$  peuvent traverser la membrane anionique, deux des quatre compartiments auront de l'eau douce.

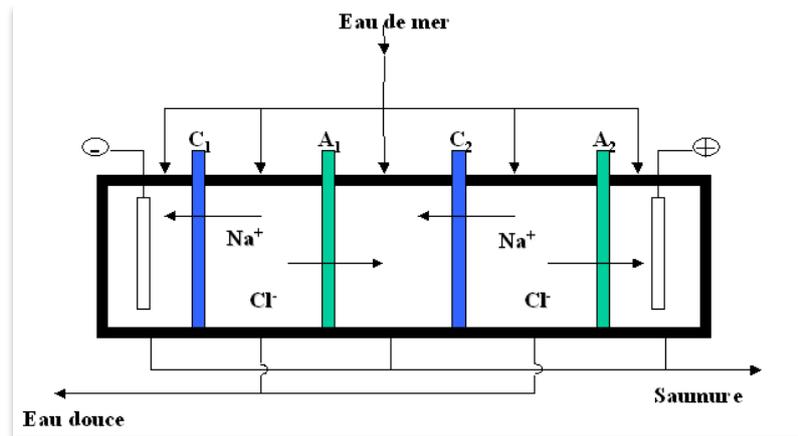


Figure II. 8 : Principe de fonctionnement de l'électrodialyse [22].

La membrane cationique est en polystyrène sulfoné et la membrane anionique est en polystyrène contenant des composés d'ammonium quaternaire. Un prétraitement peut être nécessaire avant l'électrodialyse. Les solides en suspension de plus de 10 mm de diamètre doivent être enlevés. Ne pas le faire peut obstruer les pores de la membrane. D'autres substances, telles que les gros anions organiques, les colloïdes, les oxydes de fer et les oxydes de manganèse, peuvent également neutraliser les membranes. Ils interfèrent avec l'action sélective des membranes. Les méthodes de prétraitement pour prévenir ces effets comprennent la filtration sur charbon actif (pour les matières organiques), la floculation (pour les colloïdes) et diverses techniques de filtration [22].

### II.2.2.2.3. Les avantages et les inconvénients de l'électrodialyse

Le tableau suivant nous donne liste des avantages et inconvénients de l'électrodialyse

Tableau II. 4 : Liste des avantages et inconvénient de l'électrodialyse.

| avantages  | inconvénients   |
|--|---|
| <p>L'électrolyse est une technologie qui permet d'obtenir une eau de très bonne qualité à partir d'eau salée à faible concentration.</p> <p>Pour l'eau peu salée, l'électrodialyse est très compétitive par rapport à l'osmose inverse.</p> <p>La quantité d'énergie nécessaire étant proportionnelle à la salinité de l'eau, le dessalement de solutions à faible salinité telles que l'eau saumâtre consomme peu d'énergie, avec une consommation d'énergie de 3 à 8 kWh/m<sup>3</sup> [23].</p> | <p>L'électrodialyse ne fonctionne pas dans des solutions à haute salinité et la consommation augmente à 15-25 kWh/m<sup>3</sup> lorsqu'elle est utilisée pour dessaler des solutions à salinité plus élevée que l'eau saumâtre.</p> <p>L'électrodialyse n'a pas été effectuée pour traiter l'eau dont la salinité est inférieure à 0,04 %.</p> <p>Cela s'accompagne d'un rejet de saumure, qui augmente la salinité de la masse d'eau rejetée.</p> <p>Ces émissions entraînent la dégradation des sols et des plantes, la pollution des eaux souterraines et la perte de biodiversité [23].</p> |

D'après le tableau l'électrodialyse ce n'est pas une bonne méthode pour le dessalement à cause de sa nocivité pour l'environnement.

## II.2.3. Dessalement par procédées chimiques

### II.2.3.1. Echangeurs d'ions

#### II.2.3.1.1. Description d'un échangeur d'ions

L'échangeur de chaleur est constitué d'une cuve cylindrique verticale en tôle ordinaire dont les extrémités sont fermées par deux fonds incurvés. Une couche de laque protectrice à l'intérieur empêche la corrosion du fer par l'oxygène contenu dans l'eau. Ce conteneur est configuré comme suit :

- Une série de vannes vous permet de :
- Approvisionnement en eau traitée.
- Injection de produits recyclés.
- Évacuer l'air contenu dans la partie supérieure du réservoir.

Un tamis à mailles est fixé au sommet de la cuve pour répartir uniformément l'eau à traiter et les produits régénérés. Une deuxième maille grillagée au fond du réservoir recueille l'eau traitée et les eaux usées récupérées. Une couche de sable grossier d'environ 30 cm d'épaisseur empêche la résine de traverser le tamis inférieur. Le lit de

résine échangeuse d'ions, qui a une hauteur sensiblement égale au diamètre de l'échangeur, est constitué de granulés sensiblement sphériques de diamètre compris entre 0,3 et 1,5 mm [24].

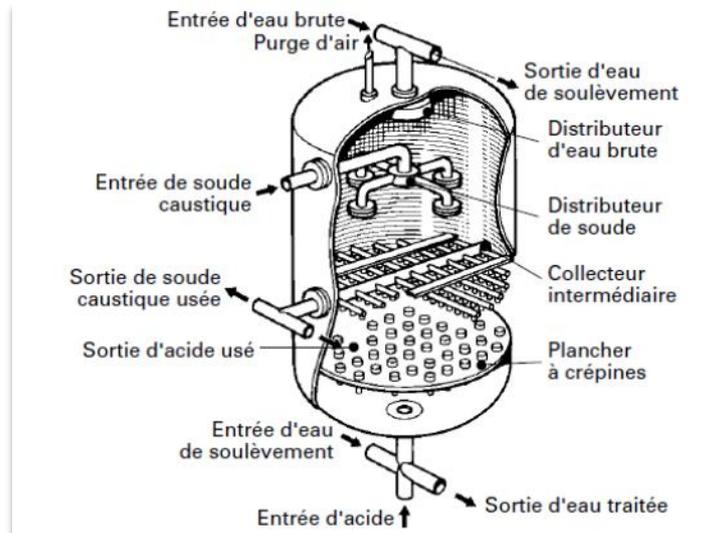


Figure II. 9 : Schéma d'échangeur d'ions [25].

#### II.2.3.1.2. Différents types des échangeurs d'ions :

- Les échangeurs de cations.
- Les échangeurs d'anions.
- Echange à Lit Mélange.

#### II.2.3.1.3. Les avantages et les inconvénients

Le tableau suivant nous donne liste des avantages et inconvénients de l'échangeur d'ions.

Tableau II. 5 : Les avantages et les inconvénients d'échangeur d'ions.

| Avantages   | inconvénients   |
|---|---|
| <p>Il élimine tous les ions dissous.</p> <p>Régénération des résines par ionisation avec des acides et des bases.</p> <p>Une solution économique de traitement de l'eau [26].</p> | <p>Les bactéries, les composés organiques, les particules et les pyrogènes ne peuvent pas être éliminés efficacement.</p> <p>En raison de sa capacité limitée, les ions ne sont plus supprimés lorsque tous les emplacements d'ions sont occupés.</p> <p>Les lits d'ions régénérés chimiquement peuvent produire des composés organiques et des particules.</p> <p>Les résines à usage unique nécessitent une eau prétraitée de haute qualité pour des résultats efficaces et économiques [26].</p> |

D'après le tableau on remarque que cette opération nécessite un poste de traitement car elle n'élimine pas efficacement les bactéries et composés organiques. Sa capacité est limitée donc elle n'est pas suffisante pour les grands débits (elle suffit pour les activités industrielles).

### II.2.3.2. Extraction par solvant

#### II.2.3.2.1. Définition

L'extraction par solvant est le processus de base d'extraction d'un composé (soluté) d'un liquide avec un autre liquide (solvant). Cette méthode est basée sur la miscibilité de l'eau avec un solvant particulier, et non le solvant du sel. Obtenir de l'eau douce par extraction. Ce processus peut être représenté schématiquement comme suit :

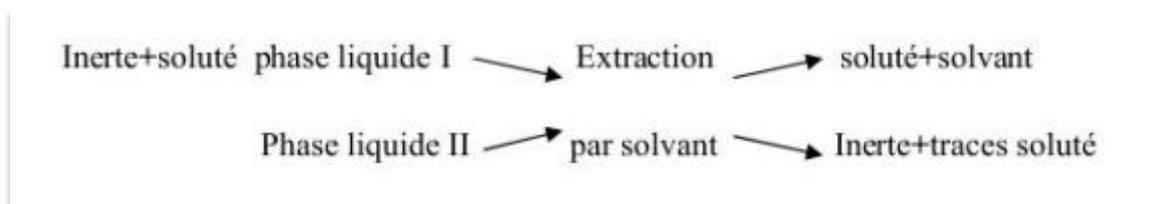


Figure II. 10: Extraction par solvant [27].

La première phase est homogène. Le solvant doit être non miscible avec le composé de départ et non miscible avec le solvant inerte. Les deux phases peuvent être séparées par gravité, agitation ou pulsation [27].

### II.2.3.2.2. Les avantages et les inconvénients extraction par solvant

Tableau II. 6 : Les avantages et les inconvénients d'extraction par solvants.

| Avantages   | Inconvénients   |
|---|---|
| <p>Il a des rendements élevés d'extraction.</p> <p>Il est rapide et peu coûteuse.</p> <p>Utilisé pour extraire des composés de différentes matrices telles que gaz, liquide et solide</p> <p>Utilisé pour purifier les composés en éliminant la pollution</p> | <p>Il présente un danger pour la sécurité et la santé de travailleurs à cause de certains solvants toxiques et composés inflammables.</p> <p>Les facteurs physiques tels que la pression, la température et le temps d'extraction peuvent affecter les résultats en raison de la sensibilité du processus aux conditions expérimentales</p> |

D'après le tableau on peut dire que ce processus est plus dangereux car il comporte des solvants toxiques et inflammables.

## II.3. Les eaux souterraines

Il se forme à la suite de l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol. Ceux-ci pénètrent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches qui composent le socle rocheux, humidifiant les couches plus profondes jusqu'à ce qu'elles rencontrent une couche imperméable. L'eau s'y accumule, remplissant les plus petites cavités, saturant le sous-sol d'humidité et formant des réservoirs d'eau souterraine, appelés aquifères. Cette roche souterraine plus ou moins poreuse et donc plus ou moins perméable est appelée aquifère. L'eau souterraine qui compose l'aquifère s'infiltré dans la couche imperméable sur des dizaines voire des centaines de kilomètres le long de la pente et s'écoule vers l'extérieur pour alimenter les sources et les ruisseaux. L'eau, la soi-disant sortie. Les eaux souterraines fournissent près d'un tiers du débit mondial, soit environ 12 000 kilomètres cubes d'eau par an [28].

## **II.4. Norme d'utilisation**

### **II.4.1. Qualité des eaux potable**

Pour que l'eau soit dite potable, elle doit remplir les conditions suivantes :

- Claire, de saveur douce, inodore.
- Contient faible pourcentage de germes microbiens que possible et matières en suspension.
- Ne contient pas de substances chimiques pouvant provoquer des maladies.
- Léger avec une faible dureté.

### **II.4.2. Norme d'eau potable**

Le tableau suivant nous donne les normes d'utilisation selon l'Algérie et l'OMS.

Tableau II. 7: Norme algérienne et OMS [29].

| ANALYSES PHYSICO-CIMIQUE               |                                   |                                     |                                   |                                     |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Eléments en mg/l                       | Normes Algériennes                |                                     | Normes OMS                        |                                     |
|  | Concentration maximale désirables | Concentration maximale permmissible | Concentration maximale désirables | Concentration maximale permmissible |
| Calcium                                | 75                                | 200                                 | 75                                | 200                                 |
| Magnésium                              | -                                 | 150                                 | 30                                | 150                                 |
| Sodium                                 | -                                 | 200                                 | -                                 | -                                   |
| Potassium                              | -                                 | 20                                  | -                                 | -                                   |
| Fer                                    | -                                 | 0.3                                 | 0.1                               | 1                                   |
| Chlorure                               | 200                               | 500                                 | 200                               | 600                                 |
| Sulfates                               | 200                               | 400                                 | 200                               | 400                                 |
| PH                                     | 6.5-8.5                           | -                                   | 7-8.5                             | -                                   |
| Conductivité                           | -                                 | 2800                                | -                                 | -                                   |
| Turbidité                              | 1                                 | 5                                   | -                                 | -                                   |
| Dureté totale en ppm CaCo <sub>3</sub> | 100                               | 500                                 | 100                               | 500                                 |
| TDS en ppm                             | -                                 | 2000                                | 500                               | 1500                                |
| ANALYSE BACTERIOLOGIQUE                |                                   |                                     |                                   |                                     |
| Coliforme germes /100ml                |                                   |                                     | 00                                |                                     |
| Coliformes fiscaux germes /100ml       |                                   |                                     | 00                                |                                     |
| Streptocoque fécaux germes /100ml      |                                   |                                     | 00                                |                                     |

## II.5. Conclusion

Le dessalement de l'eau est un procédé qui peut se faire par plusieurs techniques, la sélection de la technique appropriée doit tenir compte de critères spécifiques tels que l'énergie consommée, les risques, le cout, le rendement, et surtout la qualité d'eau produite.

D'après ce chapitre, on a conclure que la technique appropriée pour notre projet est le dessalement par osmose inverse vue que cette technique consomme moins d'énergie

que les autres techniques (seuls 4 à 5kwh sont nécessaires pour traiter 1 m<sup>3</sup> d'eau contre 15 kwh pour les procédés thermiques. En plus il permet également de produire une grande quantité d'eau potable et donc d'alimenter un grand nombre de personnes.

# Chapitre N°3

Conception de la station de dessalement.

### III.1. Introduction

Une station de dessalement est une installation qui vise à produire de l'eau potable à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtre, grâce à plusieurs techniques dont la plus connue est l'osmose inverse.

A cause de la croissance démographiques dans la base de vie 24 Février Hassi Messaoud, Sonatrach à décider à faire une station de dessalement pour dessaler de l'eau saumâtre de trois puits (H17, H18, H19) et de la rendre potable pour l'utilisation humaine.

Quelle est cette station et quelle sont ses procédées? Et comment peut-il dimensionner? Ca ce que sera reconnu dans ce chapitre.

### III.2. Description de projet

Notre projet consiste à la mise en place d'un système de traitement des eaux de puits (dessalement des eaux saumâtre) qui sera simple à installer et à maintenir tout en procurant une performance de traitement des eaux conforme aux norme internationales. Le complexe de traitement est de capacité moyenne de  $850\text{ m}^3/\text{j}$  c'est-à-dire en virons  $36\text{ m}^3/\text{h}$  (permeat), il contient 3 lignes de production.

Chaque ligne de traitement contient :

- un système de prétraitement (1 filtre à sable+1 filtre à charbon).
- Une unité d'osmose inverse (filtre à cartouche+ pompe HP+ tube de pression).

Pour ce qui est de la désinfection on prévoit un seul stérilisateur UV pour tout le permeat collecté. Voir la figure 1

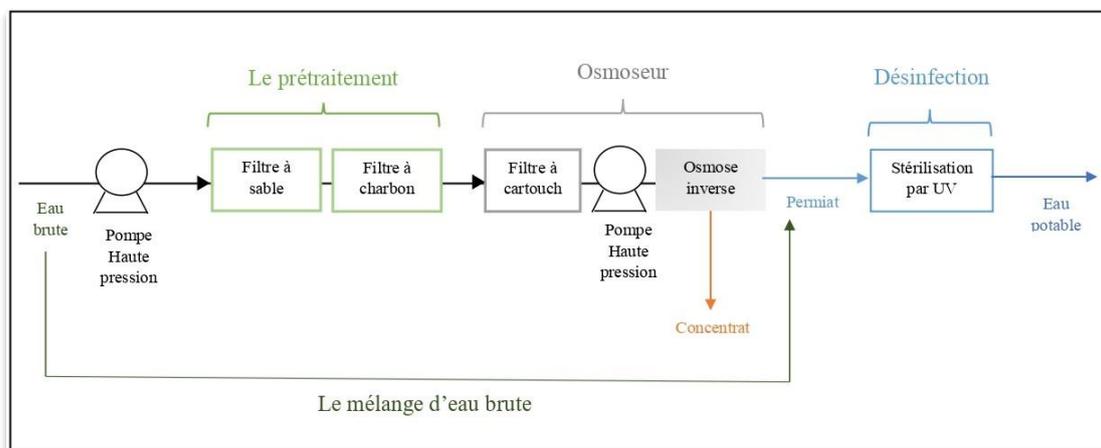


Figure III. 1:schéma du projet.

### **III.2.1. Prétraitement**

Comme toute autre source d'eau naturelle, l'eau salée (par exemple, l'eau de mer, l'eau saumâtre) contient des solides sous deux formes : en suspension et dissoute. Les solides en suspension se présentent sous forme de particules insolubles (particules, débris, organismes marins, limon, colloïdes, etc.). Les solides dissous sont présents sous forme soluble (ions de minéraux tels que le chlorure, le sodium, le calcium, le magnésium, etc.). À l'heure actuelle, pratiquement toutes les usines de dessalement intègrent deux étapes de traitement clés conçues pour éliminer séquentiellement les solides en suspension et dissous de la source d'eau.

Le but de la première étape de prétraitement est d'éliminer les solides en suspension de l'eau de source saline et d'empêcher certains des solides solubles naturels de se transformer en forme solide et de précipiter sur les membranes d'osmose inverse (OI) pendant le processus de séparation du sel. La deuxième étape du système RO inverse sépare les solides dissous de l'eau de source saline prétraitée, produisant ainsi de l'eau fraîche à faible salinité adaptée à la consommation humaine, aux utilisations agricoles et aux applications industrielles. Idéalement, après le prétraitement, les seuls solides restant dans l'eau de source seraient les minéraux dissous [30].

#### **III.2.1.1. Filtre sous pression**

##### **III.2.1.1.1. Description**

Un filtre à pression est un filtre qui fonctionne en utilisant la pression pour forcer l'eau à travers la matière du filtre pour éliminer les particules et les impuretés.

Les filtres sous pression sont généralement constitués d'un boîtier en plastique ou en métal qui contient une couche de matériaux filtrant et autre de gravier. L'eau brute pénètre dans le boîtier sous pression et est forcée à travers le matériau du filtre, qui piège les particules et les impuretés. L'eau propre est ensuite renvoyée dans le système.



Figure III. 2: Filtre sous pression prise le 17/05/2023.

#### III.2.1.1.2. Les avantages de filtre sous pression

- Le filtre sous pression occupe un faible encombrement.
- Facile à installer.
- La lumière du soleil n'affecte pas la croissance des algues sur le filtre [30].

#### III.2.1.2. Filtre à sable

Avant que l'eau passe par l'osmose inverse, ce dernier entre d'abord dans des unités de filtres à sable qui sont en nombre de trois. Les filtres sont en forme de citerne verticale ovale. Chaque filtre est caractérisé par un média filtrant composé d'un système en bicouches filtrantes, la 1ère couche est en l'antracite et le 2eme est en sable. Les hauteurs de chaque couche sont calculées. Les filtres sont en PRV du type filtration sous pression rapide. Ceci est montré dans la figure 3.

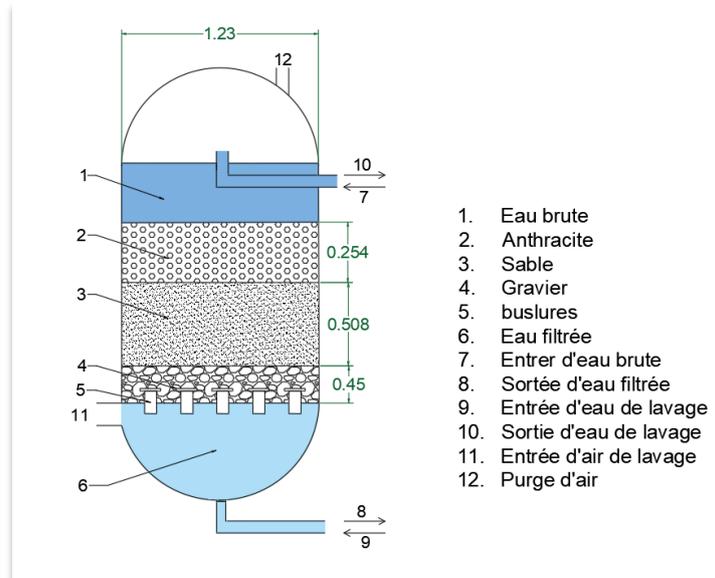


Figure III. 3 : Schéma de filtre à sable.

### III.2.1.2. Filtre à charbon

Après avoir traversé les unités de filtres à sable, l'eau passe à travers trois unités de filtre à charbon de même forme mais avec un système de filtre à une seule couche composé de charbon avec une hauteur calculée. Comme il montrer la figure 4.

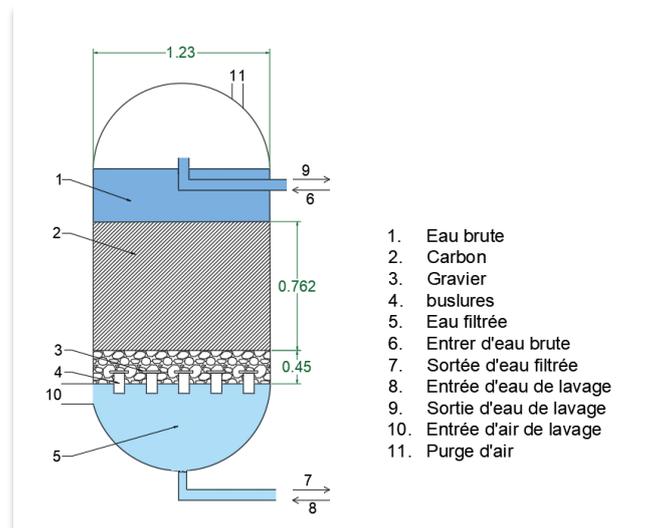


Figure III. 4:Schéma de filtre à charbon.

#### III.2.1.2.1. Retro lavage

Si le filtre est sale (c'est-à-dire s'il contient de la saleté et des débris), la capacité de circulation de l'eau sera réduite et la pression augmentera. Par conséquent, le circuit

hydraulique ne fonctionnera pas de manière optimale. Par conséquent, il est nécessaire de nettoyer le filtre. Le nettoyage hydraulique des filtres à sable est appelé "backwash", "backwash", "backwash", etc. Le lavage à contre-courant signifie inverser le flux. En effet, le débit d'eau reflue et le filtre se colmate à nouveau. Les déchets restant dans le réservoir sont aspirés de l'extérieur. Les eaux usées sont rejetées dans le système d'égouts. Il existe deux façons de déterminer quand le filtre doit être nettoyé. Soit par la diminution du débit au par l'augmentation de la pression.

Il est également déconseillé de nettoyer les filtres qui ne sont pas solides ou obstrués. D'abord, c'est inutile, et en plus, ça n'aide pas à améliorer le filtrage. En fait, même une petite quantité de colmatage peut améliorer les performances du filtre.

### III.2.2. Osmoseur

#### III.2.2.1. Description

Un système d'osmose est un appareil permettant de produire de l'eau pure selon le principe de l'osmose inverse. Élimine la plupart des substances dissoutes telles que le chlore, les sulfates et les phosphates. L'injection d'agent anticalcaire est nécessaire pour éviter le colmatage de la membrane par le calcaire contenu dans l'eau [29]. Voir figure 5.

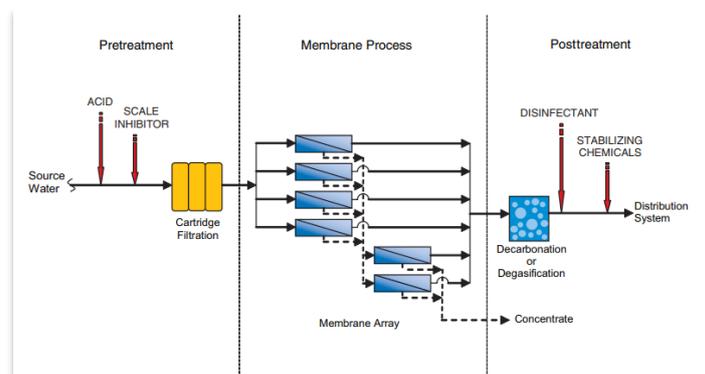


Figure III. 5:Schéma d'un osmoseur [30].

#### III.2.2.2. Les composants principaux

Notre osmoseur est composé de :

- Microfiltration de 5 microns.
- Pompe haute pression centrifuge verticale en acier inoxydable
- Membrane d'osmose inverse de haut rendement.

### III.2.2.2.1. Pompe haute pression

Les pompes haute-pression d'alimentation des modules d'osmose inverse destinés au dessalement de l'eau de mer, ainsi que les dispositifs de récupération de l'énergie hydraulique du concentrât qui y sont associés, représentent des postes très importants dans la conception des usines de dessalement, tant du point de vue de l'investissement, que de celui de l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement [29]. La figure 6 représente pompes HP.



Figure III. 6: Pompe centrifuge haute pression Prise le 17/05/2023.

### III.2.2.2.3. Filtre à cartouche

Via des cartouches filtration lavable, il élimine toutes particules pouvant s'échapper du filtre à charbon ou de la citerne de stockage [29]. La figure 7 représente des filtres à cartouche.



Figure III. 7: Filtre à cartouche prise le 17/05/2023.

### III.2.3. Désinfection

Dans notre projet on utilise la désinfection par UV : c'est une technologie a pour principe de générer des rayons ultraviolets au sein d'une chambre de traitement. Ces rayons irradient les cellules vivantes contenues dans le fluide traversant le stérilisateur, sans modifier les critères physico-chimiques et sans générer de polluants résiduels [29].

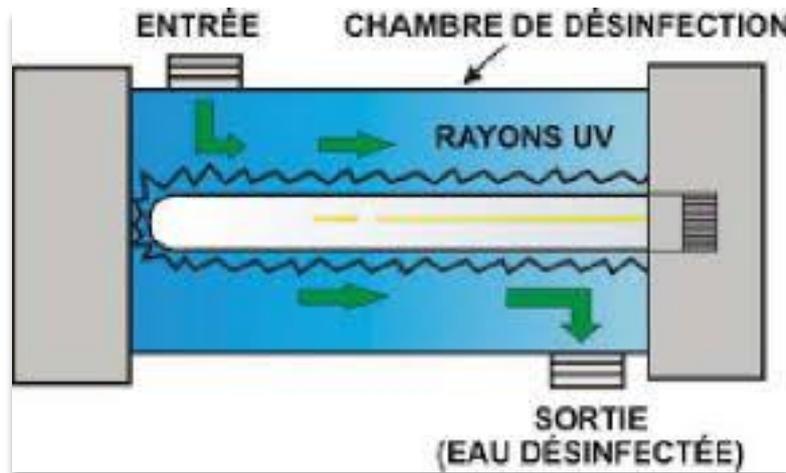


Figure III. 8: Schéma de fonctionnement de désinfection par UV.

### III.3. Description de membrane de la marque Vontron

La série HOR (High Oxidation Resistance) d'éléments de membrane en polyamide aromatique nouvellement développée par Bontron Membrane Technology Co., Ltd. Il présente des caractéristiques telles qu'une faible pression de fonctionnement, un débit de perméation élevé et d'excellentes performances de blocage. De plus, en utilisant un processus de synthèse spécial, les propriétés oxydatives des éléments membranaires sont améliorées, permettant aux éléments membranaires de résister aux effets de l'oxydation. Cela simplifie et optimise le processus de prétraitement du système RO, réduit la contamination microbienne des éléments membranaires, réduit les coûts d'exploitation et prolonge la durée de vie. La série industrielle HOR est conçue pour le dessalement de sources d'eau dont la salinité est inférieure à 10 000 ppm, telles que : B. Eau de surface, eau souterraine, eau du robinet, eau municipale. Il est particulièrement adapté au traitement de réutilisation des sources d'eau contenant une contamination microbienne ou des oxydants, telles que l'eau traitée municipale ou industrielle, les eaux usées de galvanoplastie, etc [31].

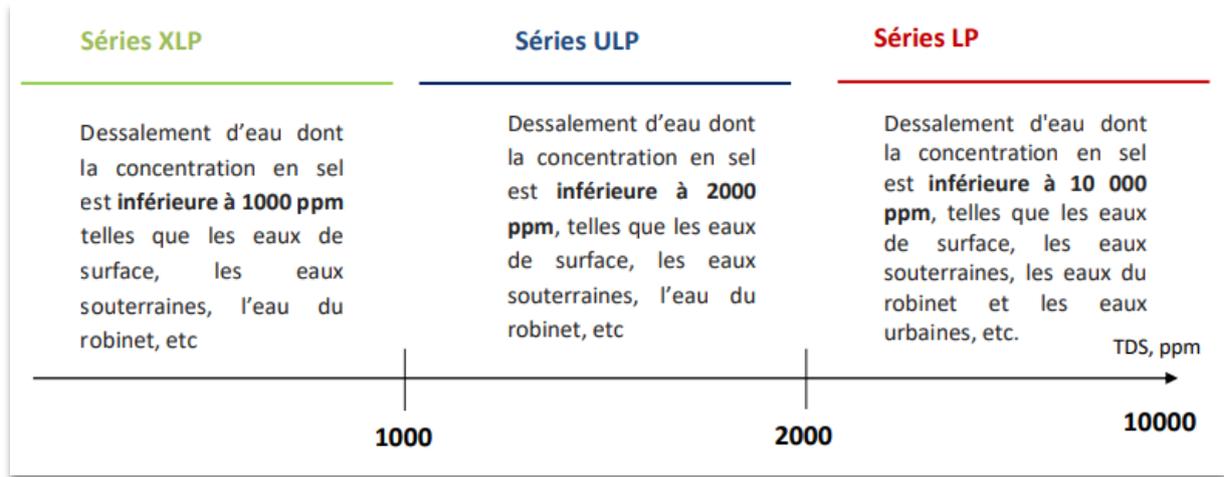


Figure III. 9: Séries de membrane Vontron selon leurs utilisations [31].

### III.3.1. Membrane Vontron modèle 8040 [31].

#### III.3.1.1. Conditions d'essai

Le tableau ci-dessus nous donne les Conditions d'essai pour modèles 8040

Tableau III. 1 : Conditions d'essai pour modèles 8040.

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| Pression d'essai                                 | 10.5kg/cm <sup>2</sup> (150 psi) |
| Température de la solution d'essai               | 25 °C                            |
| Concentration de la solution de test (NaCl)      | 1.500 ppm                        |
| PH d'essai                                       | 7.5                              |
| Taux de récupération de l'élément d'une membrane | 15%                              |

#### III.3.1.2. Caractéristique techniques

Le tableau ci-dessus nous donne les Caractéristiques techniques de modèle 8040.

Tableau III. 2: Caractéristiques techniques de modèle 8040.

|                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| Débit de permeat       | 9.1 m <sup>3</sup> /jour (2400 GPD) |
| Rejet des sels         | 98.5%                               |
| Superficie de membrane | 8.4 m <sup>2</sup>                  |

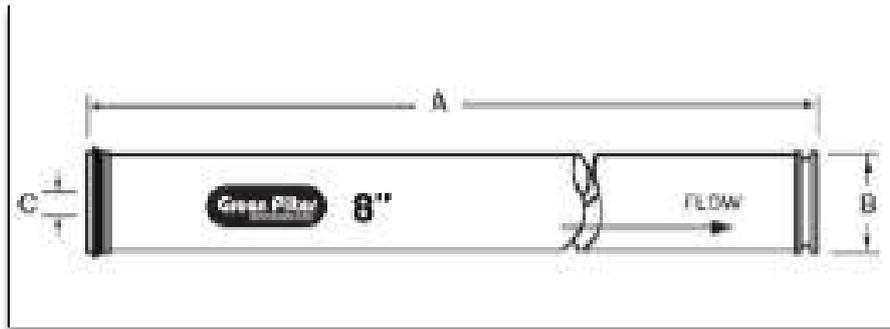
#### III.3.1.3. Limites de travail

Le table ci-dessus nous donne les Limite de travail de modèle 8040.

Tableau III. 3: Limite de travail de modèle 8040.

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Pression de travail maximale              | 42.2 kg/cm <sup>2</sup> (600 psi) |
| Flux d'eau maximal                        | 3.6 m <sup>3</sup> /h (16 GPM)    |
| Température maximale du flux              | 45 °C                             |
| Flux de SDI maximal.                      | 5                                 |
| Concentration du chlore résiduel de l'eau | <0.1 ppm                          |
| Fourchette du pH -traitement              | 3~10                              |
| Fourchette du pH -lavage                  | 2~12                              |
| Perte maximale de charge/membrane         | 1.05kg/cm <sup>2</sup> (15psi)    |

La figure ci-dessus nous montre le schéma de la marque Vontron modèle 8040.



A= 1016 mm (40") B=201.9 mm (7.95") C=28.6 mm (1.125")

Figure III. 10 : Membrane vontron modèle 8040 [31].

### III.3.2. membrane Vontron modèle 4040

#### III.3.2.1. Conditions d'essai

Le tableau ci-dessus nous donne les conditions d'essai de modèle 4040

Tableau III. 4: Conditions d'essai pour les modèles 4040.

|                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| Débit de perméat       | 9.1 m <sup>3</sup> /jour (2400 GPD) |
| Rejet des sels         | 98.5%                               |
| Superficie de membrane | 8.4 m <sup>2</sup>                  |

#### III.3.2.2. Caractéristique techniques

Le tableau ci-dessus nous donne les Caractéristique techniques de modèle 4040.

Tableau III. 5:Caractéristique techniques de modèle 4040.

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| Débit de perméat       | 9.1 m3/jour (2400 GPD) |
| Rejet des sels         | 98.5%                  |
| Superficie de membrane | 8.4 m2                 |

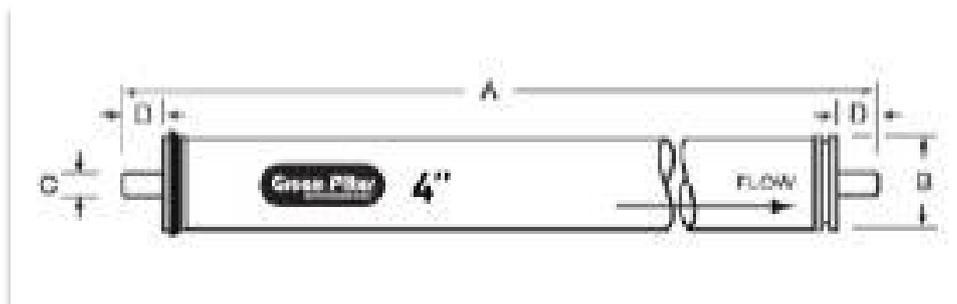
### III.3.2.3. Limites de travail

Le tableau ci-dessus nous donne les limites de travail de modèle 4040.

Tableau III. 6:Limites de travail de modèle 4040.

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Pression de travail maximale              | 42.2 kg/cm2 (600 psi) |
| Flux d'eau maximal                        | 3.6 m3/h (16 GPM)     |
| Température maximale du flux              | 45 °C                 |
| Flux de SDI maximal.                      | 5                     |
| Concentration du chlore résiduel de l'eau | <0.1 ppm              |
| Fourchette du pH -traitement              | 3~10                  |
| Fourchette du pH -lavage                  | 2~12                  |
| Perte maximale de charge/membrane         | 1.05kg/cm2 (15psi)    |

La figure suivante représente la membrane Vontron modèle 4040.



A= 1016 mm (40") B=99.7 mm (3.9") C=19.1 mm (0.75") D= 26.7 mm (1.05").

Figure III. 11:La membrane Vontron modèle 4040 [31].

### III.3.3. Membrane Vontron modèle 4041

#### III.3.3.1. Limites de travail

Le tableau ci-dessus nous donne les limites de travail de modèle 4041.

Tableau III. 7: Limites de travail de modèle 4041.

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Pression de travail maximale              | 42.2 kg/cm <sup>2</sup> (600 psi) |
| Flux d'eau maximal                        | 3.6 m <sup>3</sup> /h (16 GPM)    |
| Température maximale du flux              | 45 °C                             |
| Flux de SDI maximal.                      | 5                                 |
| Concentration du chlore résiduel de l'eau | <0.1 ppm                          |
| Fourchette du pH -traitement              | 3~10                              |
| Fourchette du pH -lavage                  | 2~12                              |
| Perte maximale de charge/membrane         | 1.05kg/cm2 (15psi)                |

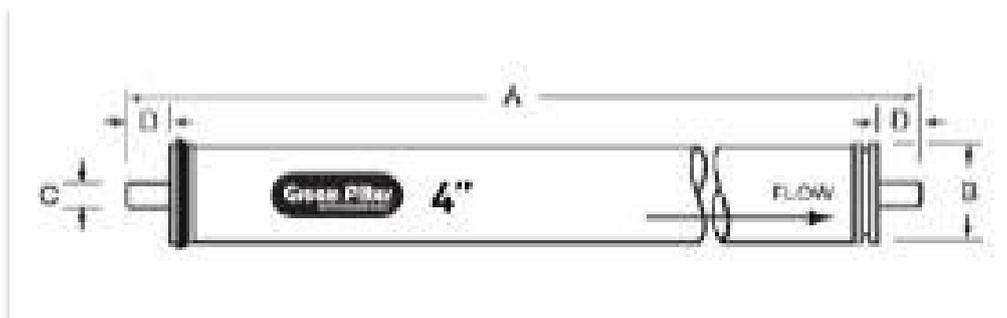
#### III.3.3.2. Conditions d'essai

Le tableau ci-dessus nous donne les conditions d'essai de modèle 4041.

Tableau III. 8 : Conditions d'essai de modèle 4041.

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| Pression d'essai                                 | 10.5kg/cm <sup>2</sup> (150 psi) |
| Température de la solution d'essai               | 25 °C                            |
| Concentration de la solution de test (NaCl)      | 1.500 ppm                        |
| PH d'essai                                       | 7.5                              |
| Taux de récupération de l'élément d'une membrane | 8%                               |

La figure suivante représente la membrane Vontron modèle 4041.



A= 553.4 mm (21") B=99.7 mm (3.9") C=19.1 mm (0.75") D= 30.2 mm (1.19")

Figure III. 12 : Membrane Vontron modèle 4041 [31].

### III.4. Description des logiciels utiliser

Dans notre étude on a utilisé 4 logiciels (AutoCAD, Diagramme, Vontron et Rosa).

#### III.4.1. Qu'est-ce qu'Auto desk AutoCAD ?

Libérez la créativité de votre équipe grâce aux capacités d'automatisation, de collaboration et d'apprentissage automatique du logiciel AutoCAD. Les architectes, ingénieurs et professionnels de la construction utilisent AutoCAD pour :

- Concevoir et annoter des géométries 2D et des modèles 3D à l'aide d'objets solides, surfaciques et maillés
- Automatisez des tâches telles que la comparaison de dessins, le remplacement de blocs, le comptage d'objets et la création de calendriers.
- Créez des espaces de travail personnalisés et maximisez la productivité avec des applications et des API complémentaires [32].



Figure III. 13:Symbole de logiciel AutoCAD [32].

#### III.4.2. Logiciel Diagramme

La présentation graphique des résultats analytiques est un outil essentiel pour identifier avec précision les phases de la chimie des fluides et comprendre les aspects qualitatifs des eaux souterraines. Les diagrammes de Piper et Schoeler Berkaloff ont été utilisés pour atteindre cet objectif. Ces figures ont été créées à l'aide du logiciel Diagrammes [33].



Figure III. 14: Logiciel Diagramme.

### III.4.3. Logiciel de simulation osmose inverse

Un logiciel de simulation d'osmose est utilisé pour simuler le transport de solutés à travers les membranes. Elle utilise des méthodes de simulation par éléments finis pour résoudre des équations de transport de solutés. Les propriétés de la membrane telles que la porosité et la perméabilité et les propriétés de la solution telles que la concentration, la viscosité, la température et le pH sont prises en compte. Chaque marque de membrane dispose d'un logiciel de simulation.

#### III.4.3.1. Logiciel Vontron

Vontron est une société chinoise spécialisée dans la fabrication de membranes industrielles d'osmose inverse. La société fournit le logiciel de simulation "Vontron Design Software".

Le logiciel Vontron permet aux ingénieurs d'optimiser les conceptions de systèmes d'osmose inverse en fonction de paramètres d'application spécifiques. Les utilisateurs peuvent saisir les caractéristiques de l'eau brute, la qualité de l'eau traitée et les conditions de fonctionnement du système. Le logiciel fournit alors le nombre de membranes à utiliser, leur configuration et les paramètres de fonctionnement [31].



Figure III. 15: Logiciel Vontron [31].

### III.4.3.2. Logiciel Wave

C'est un logiciel de conception réduit le temps de conception, augmente la productivité et optimise les performances des systèmes de traitement de l'eau. Ce nouveau logiciel vous permet de définir, d'adapter et de calculer des concepts de système en quelques clics. Wave évalue les performances des technologies d'ultrafiltration, d'osmose inverse et d'échange d'ions dans les systèmes de traitement de l'eau, individuellement ou dans diverses combinaisons de plusieurs technologies. Ce nouvel outil gratuit permet aux ingénieurs du monde entier de concevoir des solutions différenciées et optimisées plus rapidement et avec plus de précision. Par exemple, le logiciel calcule des algorithmes améliorés et cohérents et des données harmonisées pour estimer les coûts d'élimination des produits chimiques, de l'électricité, de l'eau et des eaux usées afin d'aider les clients à trouver des solutions plus durables et plus rentables. De plus, le logiciel fournit des informations techniques détaillées telles que les volumes et les débits réels du bilan massique qui reflètent les changements de densité avec la température, la composition de l'eau et la compressibilité de l'eau. Ce logiciel optimisé est une version mise à jour de l'ancien logiciel de Dow. Il inclut le logiciel Rosa et combine plusieurs technologies avec une interface commune [34].



Figure 1: Logiciel Wave.

### III.5. Dimensionnement de la station

#### III.5.1. Analyses de l'eau et faciès chimique pour les trois forages

##### III.5.1.1. Les analyses chimiques pour les trois puits

Le tableau ci-dessus va résumer les résultats des analyses chimiques effectuées sur les échantillons d'eaux prélevés du puits H17, H18 et H19.

Tableau III. 9 : Les analyses chimiques pour les puits H17, H18 et H19.

| Eléments en mg/l   | Puits H17 | Puits H18 | Puits H19 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Calcium Ca <sup>2+</sup>                                       | 172.82    | 184.5     | 283.77    |
| Magnésium Mg <sup>2+</sup>                                     | 59.54     | 63.52     | 79.87     |
| Fer total Fe   | 0.03      | 0.1       | 0.01      |
| Chlorure Cl <sup>-</sup>                                       | 279.76    | 281       | 279.76    |
| Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                         | 450       | 490       | 700       |
| Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                           | 1.8       | 1.7       | 1.6       |
| Nitrite NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup>                          | 0.01      | 0.01      | 0.01      |
| Hydroxydes OH <sup>-</sup>                                     | 0         | 0         | 0         |
| Carbonates CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>                       | 0         | 0         | 0         |
| Bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                     | 108.34    | 107.97    | 111.14    |
| PH   | 7.81      | 7.62      | 7.36      |
| Conductivité en ms/cm  | 1.84      | 2.07      | 2         |
| Turbidité en NTU   | 0.54      | 0.7       | 0.41      |
| TDS en mg/l  | 1876      | 2000      | 2000      |
| Salinité en g/l  | 0.8       | 1         | 0.9       |
| Dureté totale en ppm de CaCO <sub>3</sub>                      | 676       | 722.4     | 1036.4    |
| Dureté totale en °F  | 676       | 72.24     | 103.64    |
| Titre alcalimétrique complet (TAC) en ppm de CaCO <sub>3</sub> | 88.8      | 885       | 91.1      |
| Titre alcalimétrique complet (TAC) en °F                       | 8.88      | 8.85      | 9.11      |

D'après ce tableau on va conclure la qualité et le faciès chimique de l'eau.

##### III.5.1.2. Le faciès chimique

Les diagrammes fournis permettent une meilleure identification des phases et des aspects qualitatifs de l'eau souterraine analysée. A cet effet, les cartes PIPER et Scholler-Berkalof ont été choisies pour mieux comprendre les détails de la masse d'eau étudiée.

### III.5.1.2.1. Diagramme de Piper

D'après la figure 15 qui représente le diagramme de Piper on peut remarquer une dominance calcique pour les cations, et de côté des anions existe une dominance sulfatée et chlorurée, à partir le diagramme globale on peut conclure deux facies chimiques :

- Hyper sulfatée calcique.
- Hyper chlorurée calcique.

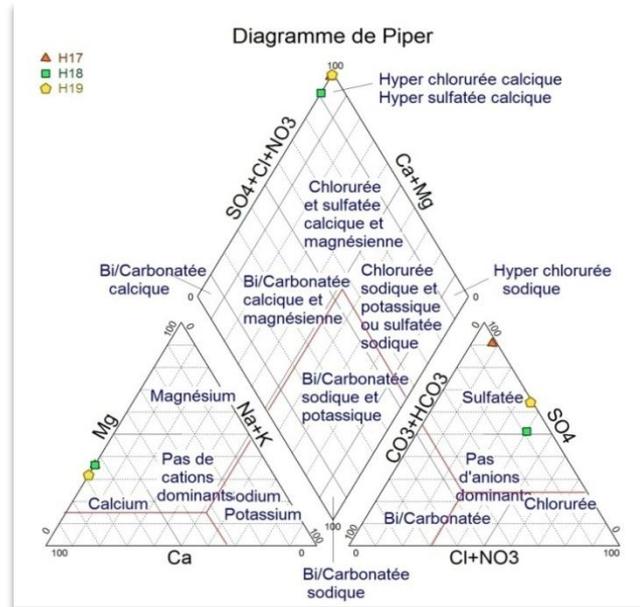


Figure III.17 : Diagramme de Piper globale.

### III.5.1.2.2. Diagramme de Schoeler-Berkaloff

La figure suivante représente le diagramme de Schoeler Berkaloff à fin d'analyser les facies chimiques pour les eaux des puis H17, H18 et H19.

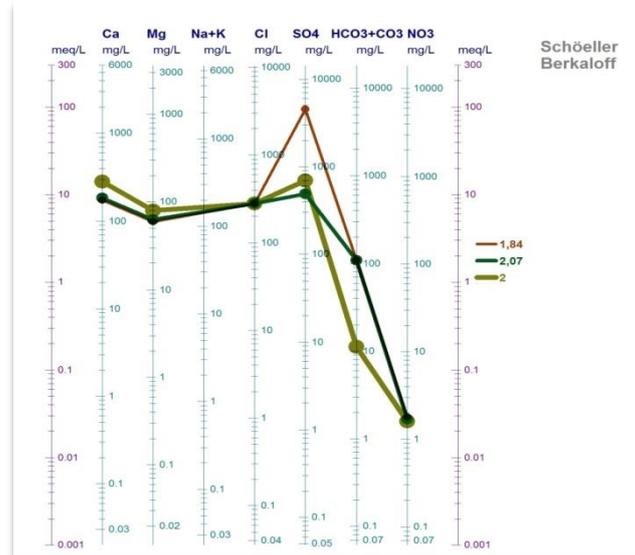


Figure III. 16: Diagramme de Schoeler Berkaloff.

Le diagramme semi logarithmique des analyses des eaux nous indique que la majorité des eaux analysées présentent des maxima au niveau des pôles SO4, Ca et Cl. donc il existe deux facies chimique sont :

- sulfaté calcique.
- chlorurée calcique

L'analyse de diagramme de Schoeler Berkaloff pour les 3 forages étudiés confirme les faciès trouvé dans le diagramme de PIPER.

### III.5.2. Prétraitement

Nous aurons à dimensionner trois filtres à sable ainsi que trois filtres à charbon de la marque PENTAIR.

#### III.5.2.1. Pompe de gavage

Trois pompes d'alimentation seront installées toutes en service et une de secours.

Le poste de pompage de gavage a comme finalité de fournir à toute l'installation le débit nécessaire pour en eau brute d'un débit 18 m<sup>3</sup>/h/ par ligne.

HMT de la pompe est calculer pour le cas le plus défavorable à savoir le colmatage du filtre à sable, filtre à charbon, filtre a cartouche, pression résiduelle nécessaire en aspiration de la pompe haute pression en même temps. Les caractéristiques de pompe seront comme suite :

Tableau III. 10 : Caractéristiques de pompe de gavage.

| <b>Paramètre</b>  | <b>valeur</b> | <b>unité</b> |
|---|---------------|--------------|
| Débit unitaire  | 18            | $m^3/h$      |
| Nombre de pompe   | 3+1           | -            |
| Temps de fonctionnement                                     | 24            | heure        |
| Perte de charge colmatage filtre à sable                    | 1             | bar          |
| Perte de charge colmatage filtre à charbon                  | 1             | bar          |
| Perte de charge colmatage filtre à cartouche                | 1             | bar          |
| Pression résiduelle nécessaire en aspiration de la pompe HP | 3             | bars         |
| HMT pompe gavage  | 6             | bars         |

### III.5.2.2. Filtre à sable

Le tableau suivant nous donne les paramètres nécessaires pour le dimensionnement du filtre à sable.

Tableau III. 11: Les données de filtre à sable.

| Données                                      | symbole | Valeur  | Unité        |
|--|---------|---------|--------------|
| Taux de conversion                           | $T_C$   | 0,78    | -            |
| Débit entré                                  | $Q_e$   | 1080    | $m^3/j$      |
| Vitesse de filtration (selon le fournisseur) | $V_f$   | 12,72   | m/h          |
| Diamètre de filtre                           | $D_f$   | 1,23    | m            |
| Hauteur de l'antracite                       | $H_A$   | 0,254   | m            |
| Hauteur de sable                             | $H_S$   | 0,508   | m            |
| Hauteur de gravier                           | $H_G$   | 0,45    | m            |
| Nombre de busleurs                           | $N_b$   | 50      | unité/ $m^2$ |
| Besoin de l'eau pour recto lavage            | $B_e$   | 35      | $m^3/m^2/h$  |
| Besoin d'air pour le recto lavage            | $B_a$   | 25      | $m^3/m^2/h$  |
| Durée de filtration                          | $t_f$   | 8       | min          |
| Diamètre de grains de sable                  | -       | 0.4-0.8 | mm           |

#### III.5.2.2.1. Les résultats de dimensionnement de filtre à sable

Tableau III. 12: Résultats de dimensionnement de filtre à sable.

| Paramètre                            | Symbole  | Relation                       | Résultats | Unité   |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------|-----------|---------|
| Débit sortie                         | $Q_s$    | $Q_s = Q_e \cdot T_C$          | 842,4     | $m^3/j$ |
| Débit entré par heure                | $Q_e$    | $Q_e = Q_e / 24$               | 45        | $m^3/h$ |
| Surface de filtration                | $S_f$    | $S_f = Q_e / V_f$              | 3,538     | $m^2$   |
| Surface d'un filtre                  | $S_F$    | $S_F = (3.14 \cdot D_f^2 / 4)$ | 1,18      | $m^2$   |
| Nombre de filtre                     | $N_F$    | $N_F = S_f / S_F$              | 2,998     | -       |
| Nombre de filtre arrondi             | $N_F$    | -                              | 3         | -       |
| Volume de l'antracite pour un filtre | $V_A$    | $V_A = H_A \cdot S_F$          | 0,299     | $m^3$   |
| Volume de sable pour un filtre       | $V_S$    | $V_S = H_S \cdot S_F$          | 0,599     | $m^3$   |
| Volume de gravier pour un filtre     | $V_G$    | $V_G = H_G \cdot S_F$          | 0,53      | $m^3$   |
| Volume de l'antracite total          | $V_{AT}$ | $V_{AT} = H_A \cdot S_f$       | 0,899     | $m^3$   |

|   |             |                           |         |         |
|---|-------------|---------------------------|---------|---------|
| Volume de sable totale                                      | $V_{ST}$    | $V_{ST}=H_S.S_f$          | 1,797   | $m^3$   |
| Volume de gravier total                                     | $V_{GT}$    | $V_{GT}=H_G.S_f$          | 1,592   | $m^3$   |
| Nombre des busleurs pour un filtre                          | $N_B$       | $N_B=N_b.S_F$             | 58,996  | unité   |
| Nombre des busleurs totale                                  | $N_{BT}$    | $N_{BT}=N_b.S_f$          | 176,887 | unité   |
| Quantité de l'eau de recto lavage nécessaire pour un filtre | $Q_{Eau R}$ | $Q_{Eau R}=B_e.S_F$       | 41,297  | $m^3/h$ |
| Quantité d'air de recto lavage nécessaire pour un filtre    | $Q_{Air R}$ | $Q_{Air R}=B_a.S_F$       | 29,498  | $m^3/h$ |
| Durée de filtration par heure                               | $t_f$       | $t_f=t_f/60$              | 0,133   | h       |
| Volume de cuve  | $V_C$       | $V_C=Q_{Air R} \cdot t_f$ | 5,506   | $m^3$   |

A partir de ce tableau on conclut que notre filtre sable à une surface de filtration de 1.18  $m^2$  chacun avec une vitesse de filtration de 12.72 m/s.

### III.5.2.3. Filtre à charbon

Le tableau suivant nous donne les paramètres nécessaires pour le dimensionnement du filtre à charbon.

Tableau III. 13: Les données pour dimensionner le filtre à charbon.

| Données                           | symbole  | valeur   | unité        |
|-----------------------------------|----------|----------|--------------|
| Taux de conversion                | $T_C$    | 0,78     | -            |
| Débit entré                       | $Q_e$    | 1080     | $m^3/j$      |
| Vitesse de filtration             | $V_f$    | 12,72    | m/h          |
| Diamètre de filtre                | $D_f$    | 1,226    | m            |
| Hauteur de charbon                | $H_{Ch}$ | 0,762    | m            |
| Hauteur de gravier                | $H_g$    | 0,45     | m            |
| Nombre de busleurs                | $N_b$    | 50       | unité/ $m^2$ |
| Besoin de l'eau pour recto lavage | $B_e$    | 20       | $m^3/m^2/h$  |
| Besoin d'air pour le recto lavage | $B_a$    | 15       | $m^3/m^2/h$  |
| Durée de filtration               | $t_f$    | 8        | min          |
| Diamètre de grain de charbon      | -        | $\leq 1$ | mm           |

### III.5.2.3.1. Le dimensionnement

Tableau III. 14: Résultats de dimensionnement de filtre à charbon.

| Paramètre   | Symbole     | Relation                       | Résultats | Unité   |
|---|-------------|--------------------------------|-----------|---------|
| Débit sortie  | $Q_s$       | $Q_s = Q_e \cdot T_C$          | 842,4     | $m^3/j$ |
| Débit entré par heure                                       | $Q_e$       | $Q_e = Q_e / 24$               | 45        | $m^3/h$ |
| Surface de filtration                                       | $S_f$       | $S_f = Q_e / V_f$              | 3,538     | $m^2$   |
| Surface d'un filtre   | $S_F$       | $S_F = (3.14 \cdot D_f^2 / 4)$ | 1,18      | $m^2$   |
| Nombre de filtre  | $N_F$       | $N_F = S_f / S_F$              | 2,998     | -       |
| Nombre de filtre arrondi                                    | $N_F$       | -                              | 3         | -       |
| Volume de charbon pour un filtre                            | $V_{ch}$    | $V_{ch} = H_{ch} \cdot S_F$    | 0,899     | $m^3$   |
| Volume de gravier pour un filtre                            | $V_G$       | $V_G = H_G \cdot S_F$          | 0,53      | $m^3$   |
| Volume de charbon total                                     | $V_{ch}$    | $V_{ch} = H_S \cdot S_f$       | 2,696     | $m^3$   |
| Volume de gravier total                                     | $V_{GT}$    | $V_{GT} = H_G \cdot S_f$       | 1,592     | $m^3$   |
| Nombre des buselures pour un filtre                         | $N_B$       | $N_B = N_b \cdot S_F$          | 58,996    | unité   |
| Nombre des buselures totale                                 | $N_{BT}$    | $N_{BT} = N_b \cdot S_f$       | 176,887   | unité   |
| Quantité de l'eau de recto lavage nécessaire pour un filtre | $Q_{Eau R}$ | $Q_{Eau R} = B_e \cdot S_F$    | 23,598    | $m^3/h$ |
| Quantité d'air de recto lavage nécessaire pour un filtre    | $Q_{Air R}$ | $Q_{Air R} = B_a \cdot S_F$    | 17,699    | $m^3/h$ |
| Durée de filtration par heure                               | $t_f$       | $t_f = t_f^* / 60$             | 0,133     | H       |
| Volume de cuve  | $V_C$       | $V_C = Q_{Air R} \cdot t_f$    | 3,146     | $m^3$   |

A partir de ce tableau on conclut que notre filtre charbon a les mêmes caractéristiques que notre filtre sable, sauf pour ce qui est de recto lavage notre filtre à charbon nécessite un besoin d'eau et d'air moins conséquent.

Donc les caractéristiques de retro lavage seront comme suit :

Tableau III. 15: Caractéristiques de retro lavage.

| Paramètres                     | valeurs | Unités            |
|--------------------------------|---------|-------------------|
| Nombre de pompes retro lavage  | 1+1     | -                 |
| Débit pompe retro lavage       | 42      | m <sup>3</sup> /h |
| Nombre de supresseurs d'air    | 1+1     | -                 |
| Débit supresseurs d'air        | 30      | m <sup>3</sup> /h |
| Nombre de cuve de retro lavage | 1       | -                 |
| Volume de cuve                 | 6       | m <sup>3</sup>    |

#### III.5.2.4. PID de prétraitement

##### Quelqu'un PID (Diagramme papins instrumentation)

Est une représentation schématique des relations fonctionnelles entre la tuyauterie, l'instrumentation et les composants d'équipement du système utilisés dans le domaine de l'instrumentation et du contrôle ou de l'automatisation [19].

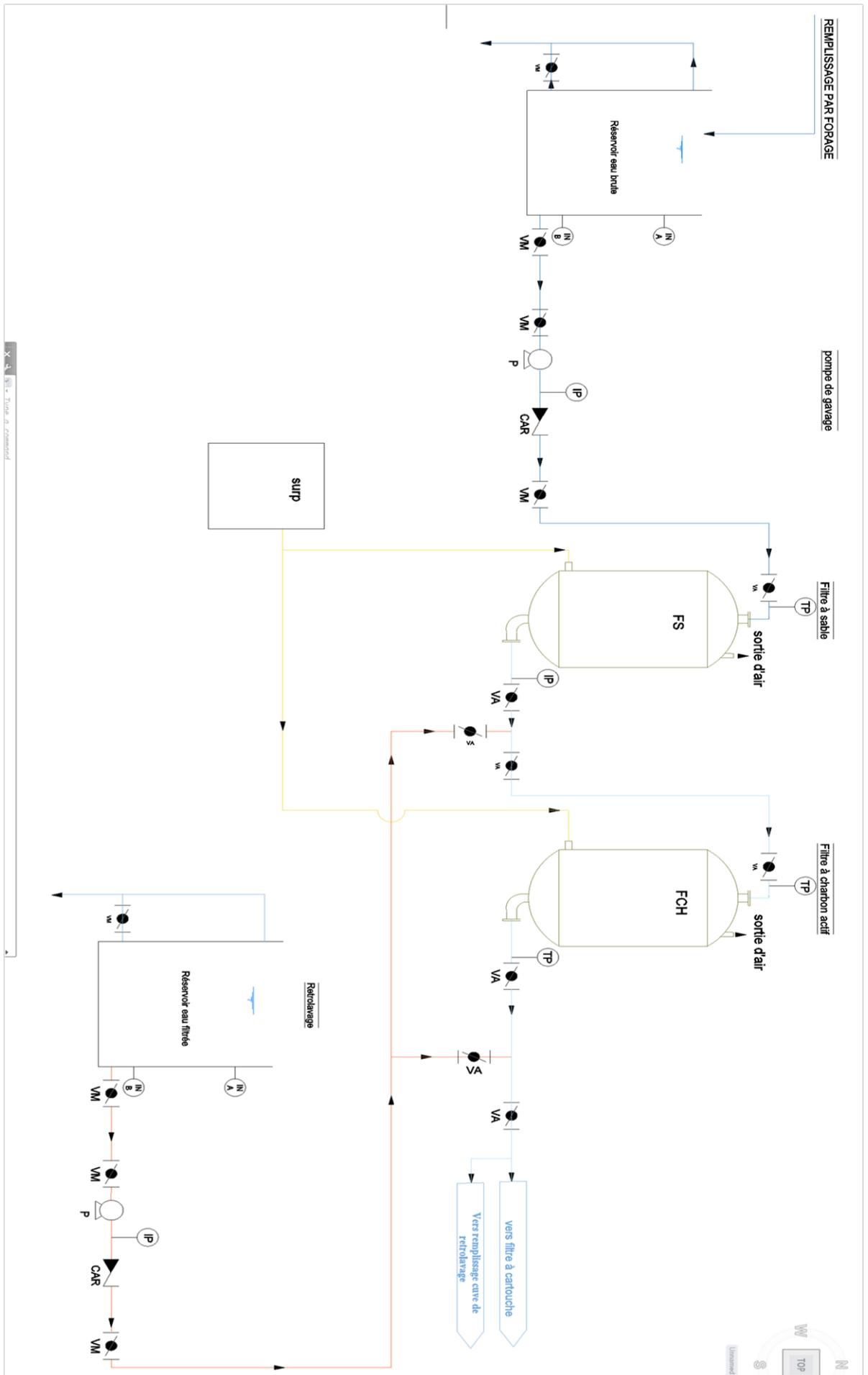


Figure III. 17: PID de partie prétraitement.

| <b>LEGENDE</b>            |                         |                              |                          |                            |
|---------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|
|                           |                         |                              |                          |                            |
| surpriseur                | Cuve de Rétrolavage     | Filtre a Sable sous pression | Vanne papillon manuelle  | Vanne papillon automatique |
|                           |                         |                              |                          |                            |
| Clapet anti-retour        | Pompe Gavage            | Indicateur de pression       | Transmetteur de pression | Indicateur de niveau bas   |
|                           |                         |                              |                          |                            |
| Indicateur de niveau haut | Circuit air retrolavage | Circuit eau brute            | Circuit eau Filtrer      | Circuit eau de Rétrolavage |

Figure III. 20: La légende de PID de prétraitement.

### III.5.3. Filtre à cartouche

L'étape de microfiltration à travers l'étage de filtres à cartouches d'un seuil de coupure de 5µm permet de protéger l'unité de séparation membranaire de tout passage de particules, le filtre sera équipé de cartouche filtrante.

Le filtre sera conçu pour des pressions atteignant les 10 Bars avec des vitesses de filtration de dépassant pas les 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. Le control de colmatage du filtre à cartouche se fait par le prélèvement de la pression en amont et de la pression en aval du dit filtre.

Chaque filtre sera équipé de :

- Deux vannes d'isolement (amont et aval) ;
- Un système vidange manuel ;
- Un purgeur d'air.

- Deux transmetteurs de pression situés à l'amont et à l'aval de chaque filtre à cartouches permettant de contrôler le colmatage.

### III.5.3.1. Données

Tableau III. 16 : Les données pour dimensionner le filtre à cartouche.

| paramètres                          | valeurs             | unité             |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Nombre de file                      | 3                   | -                 |
| Nombre de filtres par file          | 1                   | -                 |
| Type de filtre                      | A cartouche         | -                 |
| Type de cartouche                   | A membrane plissées | -                 |
| Taille de la porosité               | 5                   | micron            |
| Débit par filtre par file Q         | 18                  | m <sup>3</sup> /h |
| Surface de filtration par filtre SF | 5.3                 | m <sup>2</sup>    |

### III.5.3.2. Résultats

Tableau III. 17: Résultat de dimensionnement de filtre à cartouche.

| paramètre                           | relation  | valeur | unité                             |
|-------------------------------------|-----------|--------|-----------------------------------|
| Vitesse de filtration par filtre VF | $VF=Q/SF$ | 3.40   | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h |

La vitesse de filtration est inférieure à 10 m/h, donc le choix de filtre est optimal.

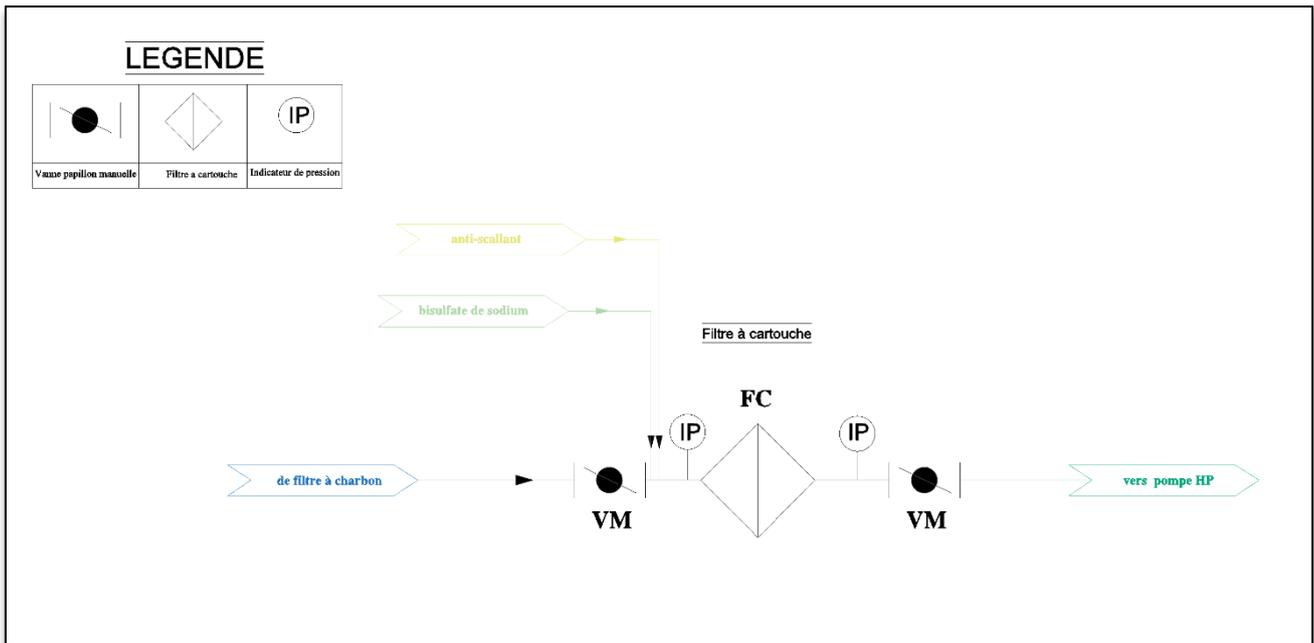


Figure III. 18: PID de filtre à cartouche.

### III.5.4. La simulation de l'osmoseur

On va faire la simulation avec deux types de membrane :

- Membrane Vontron (ULP22-8040).
- Membrane DawFimTech (BW30HRLE-440).

#### III.5.4.1. Fiche technique de membranes Vontron et DawFimTech

Tableau III. 18: Tableau de fiches techniques des membranes.

| Paramètre                                       | Membrane Vontron [31]. | Membrane DawFimTech [36]. |
|---|------------------------|---------------------------|
| Marque  | ULP22-8040             | BW30HRLE-440              |
| Longueur (cm)                                   | 101.6                  | 101.6                     |
| Surface active de la membrane en m <sup>2</sup> | 37.2                   | 40.8                      |
| Pression de service max                         | 41,37bars              | 41bars                    |
| Max Température °C                              | 45                     | 45                        |
| Flux moyen du système l/h/m <sup>2</sup>        | 26.9                   | 24.5                      |
| NaCl rejection pourcentage                      | 98-97%                 | 99.3-99.1%                |

### III.5.4.2. Nombre de membranes par file

Tableau III. 19: Tableau de calcul de nombre des membranes.

| Paramètre                         | Formule    | DawFimTech | Vontron | Unités              |
|-----------------------------------|------------|------------|---------|---------------------|
| Eau brute $Q_e$                   | -          | 15         | 15      | m <sup>3</sup> /h   |
| Taux de conversion $T_c$          | -          | 80         | 80      | %                   |
| Débit de perméat $Q_p$            | $Q_e.T_c$  | 12         | 12      | m <sup>3</sup> /h   |
| Débit de perméat en l/h           | $Q_p.1000$ | 12000      | 12000   | l/h                 |
| Flux moyen du système $F$         | -          | 24.5       | 26.9    | l/m <sup>2</sup> /h |
| Surface totale $S_t$              | $Q_p/F$    | 489.8      | 446.1   | m <sup>2</sup>      |
| Surface de la membrane $S$        | -          | 40.8       | 37.2    | m <sup>2</sup>      |
| Nombre des éléments               | $S_t/S$    | 12.00      | 11.99   | -                   |
| Nombres des éléments arrondissent | -          | 12         | 12      | -                   |

Pour le cas de notre projet on choisira un désigne d'osmose à deux étages afin d'augmenter notre taux de conversion soit un tube de pression de 6 membrane pour le 1ere étage et un tube de pression de 6 membranes pour le 2eme étage.

### III.5.4.3. La simulation par le logiciel Vontron

#### Etapes de la simulation

Pour faire la simulation on utilise logiciel Vontron et on fait comme suit :

- Etape d'analyses des eaux :
  1. Entrer les informations de projet.
  2. Choisi le type de l'eau.
  3. Choisir l'entrer des analyses ionique ou bien le TDS.
  4. Entrer la température et le PH.
  5. Balancer les cations et les anions dans le cas où on introduit les analyses ionique.

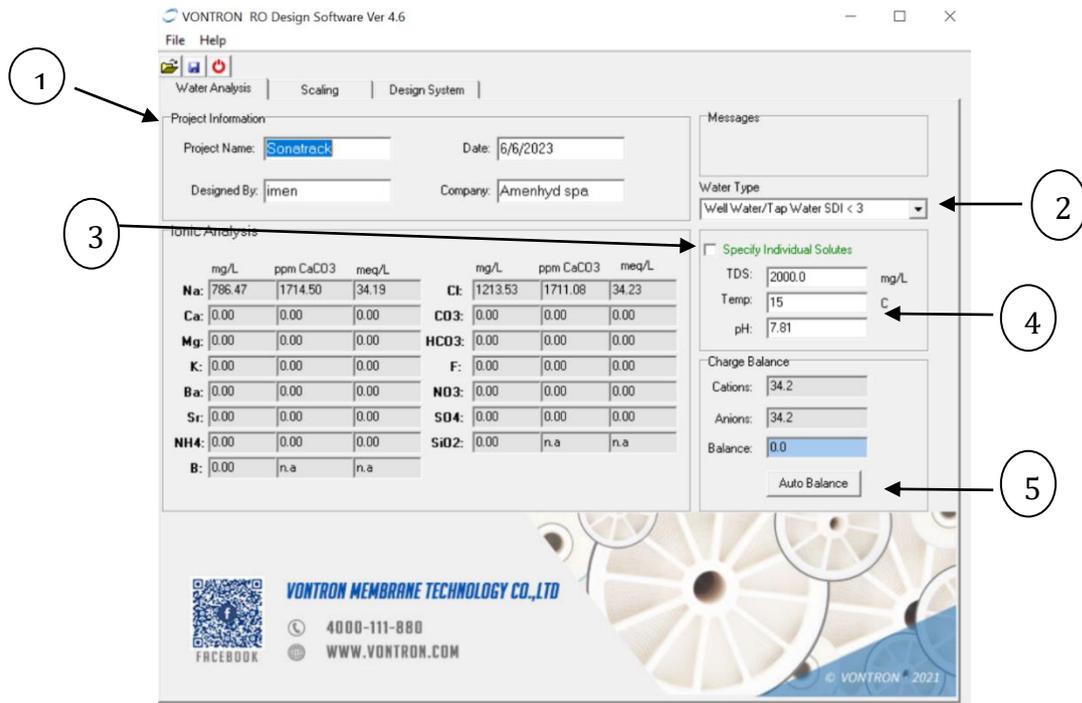


Figure III. 22 : Première étape de simulation dans logiciel Vontron.

– Etape de désigne du système :

1. Entrer la configuration de système (taux de conversion, débit entrer et la température) on considère les unités.
2. Sélectionner le nombre de passes et de stages.
3. Sélectionner le nombre de tubes de pression dans le stage.
4. Sélectionner le nombre de membranes dans le tube de pressions.
5. Choisir le type de membrane.

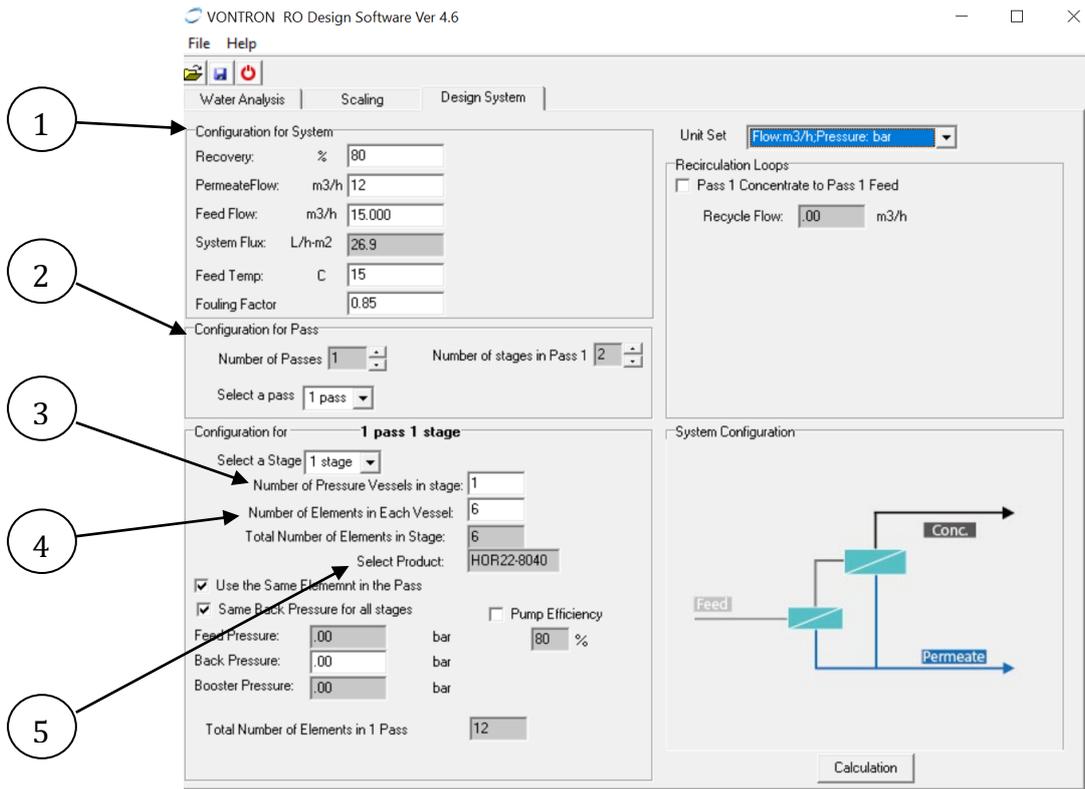


Figure III. 23: Deuxième étape de simulation avec logiciel Vontron.

**Résultats de simulation** (voir l'annexe)

D'après la simulation on obtient les résultats suivant

Tableau III. 20 : Résultats de simulation par logiciel Vontron.

| Paramètre  | Valeur     | Unité               |
|--|------------|---------------------|
| Type de membrane                                   | ULP22-8040 | -                   |
| Nombre des étages                                  | 2          | -                   |
| Nombre de tubes de pression 1 <sup>er</sup> étage  | 1          | -                   |
| Nombre de tubes de pression 2 <sup>ème</sup> étage | 1          | -                   |
| Nombre de membranes par tube de pression           | 6          | -                   |
| Nombre de membrane totale                          | 12         | -                   |
| Débit de permeat                                   | 12         | m <sup>3</sup> /h   |
| TDS de permeat                                     | 46.4       | mg/l                |
| Débit de concentrât                                | 3          | m <sup>3</sup> /h   |
| TDS de concentrât                                  | 7527.8     | mg/l                |
| La surface active totale                           | 445.9      | m <sup>2</sup>      |
| Pression d'alimentation                            | 11.4       | Bars                |
| Flux   | 26.9       | l/m <sup>2</sup> /h |
| Energie spécifique                                 | 0.49       | kWh/m <sup>3</sup>  |

### III.5.4.4. La simulation par la marque DawFimTech (logiciel Wave)

#### Etapes de simulation

- Etape des données préliminaires
  1. Sélectionner la technologie de dessalement (RO).
  2. Spécifié le débit d'alimentation ou de production.
  3. Sélectionner le type de l'eau (eau saumâtre).



Figure III. 19 : La première étape de simulation dans logiciel Wave.

- Etape d'analyses des eaux
  1. Entrer le teneur solide.
  2. Sélectionner la température de désigne et le PH.
  3. Entrer les concentrations des cations et des anions.
  4. Balancer les cations et les anions.

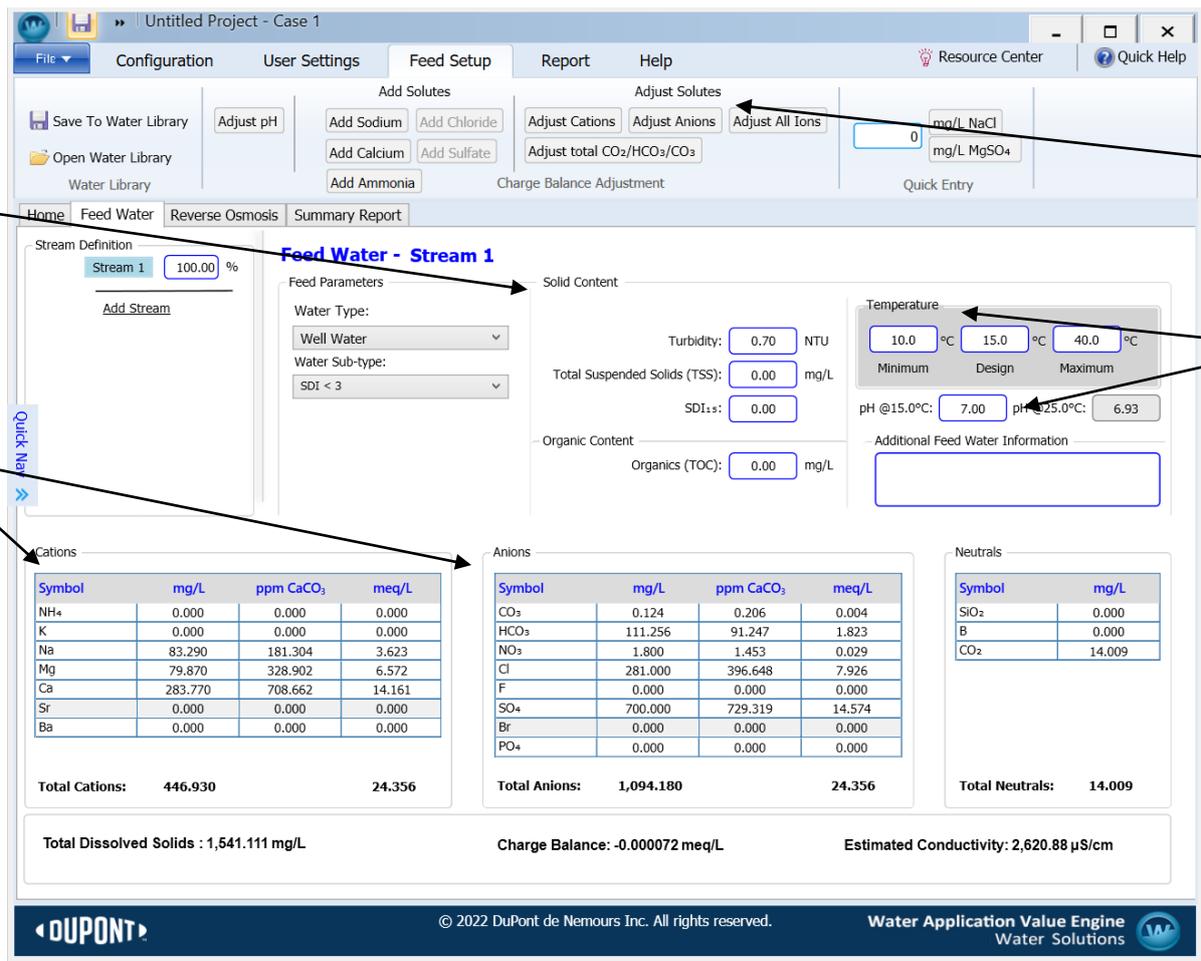


Figure III. 20: Etape d'analyse de l'eau de simulation par logiciel Wave.

- Etape de désigne de système
- 1. Entrer le taux de conversion et le débit d'alimentation.
- 2. Sélectionner le nombre de passes et de stages.
- 3. Sélectionner la température de désigne.
- 4. Sélectionner le nombre de tubes de pression dans le stage.
- 5. Sélectionner le nombre de membranes dans le tube de pressions.
- 6. Choisir le type de membrane.

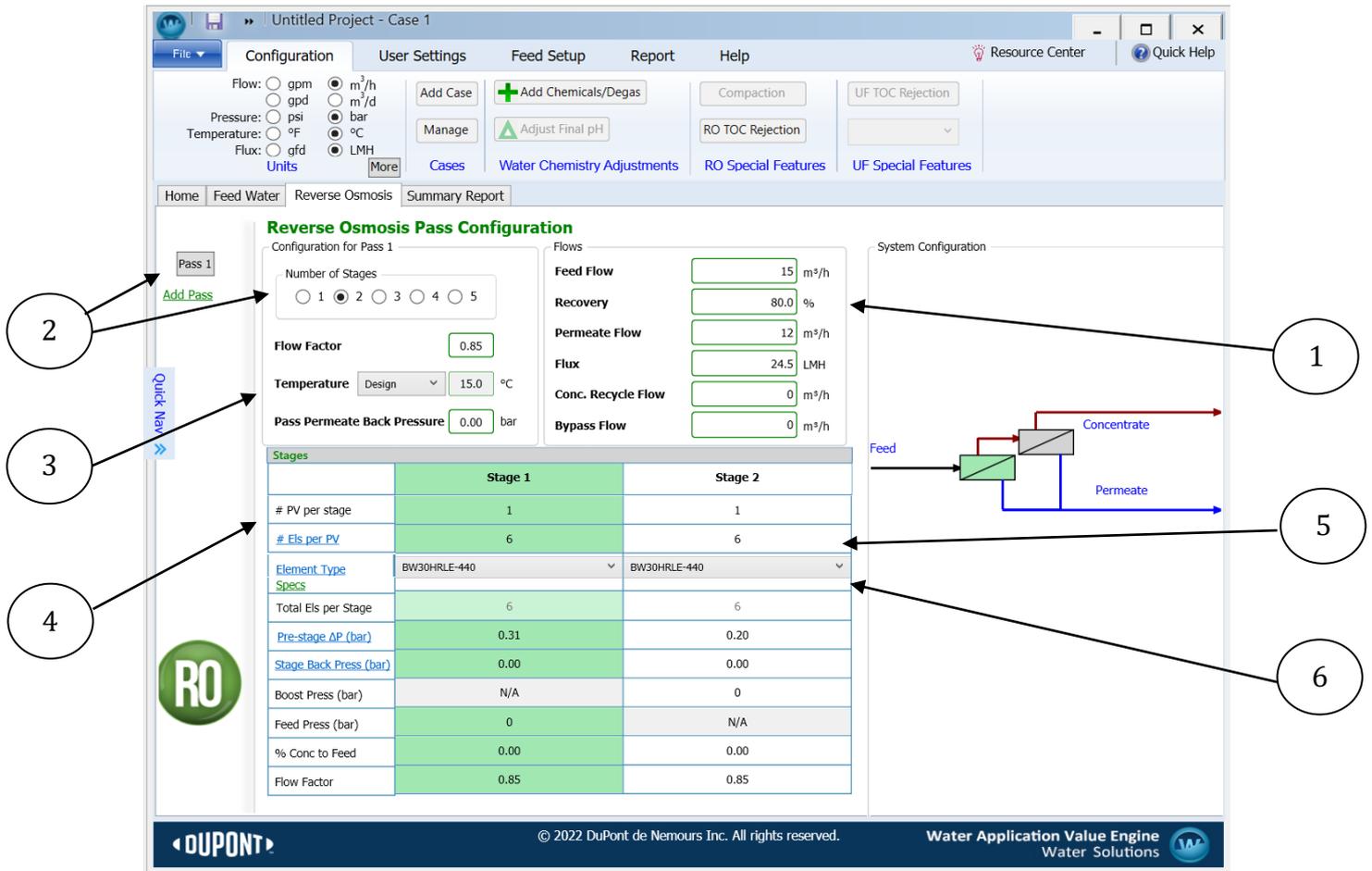


Figure III. 21: Etape de désigne par logiciel Wave.

**Résultats de simulation** (voire l'annexe)

D'après la simulation on conclure les résultats dans le tableau suivant.

Tableau III. 21: Résultats de simulation par logiciel Wave.

| Paramètre  | Valeur       | Unité               |
|--|--------------|---------------------|
| Type de membrane                                   | BW30HRLE-440 | -                   |
| Nombre des étages                                  | 2            | -                   |
| Nombre de tubes de pression 1 <sup>er</sup> étage  | 1            | -                   |
| Nombre de tubes de pression 2 <sup>ème</sup> étage | 1            | -                   |
| Nombre de membranes par tube de pression           | 6            | -                   |
| Nombre de membrane total                           | 12           | -                   |
| Débit de permeat                                   | 12           | m <sup>3</sup> /h   |
| TDS de permeat                                     | 7.20         | mg/l                |
| Débit de concentrât                                | 3            | m <sup>3</sup> /h   |
| TDS de concentrât                                  | 7678         | mg/l                |
| La surface active totale                           | 491          | m <sup>2</sup>      |
| Pression d'alimentation                            | 11.5         | bars                |
| Flux   | 24.5         | l/m <sup>2</sup> /h |
| Energie spécifique                                 | 0.50         | kWh/ m <sup>3</sup> |

### III.5.4.5. Comparaison entre la simulation de deux membranes

Tableau III. 22: Comparaison entre la simulation de deux membranes.

| paramètre                  | Membrane Vontron |            | Membrane DawFimTech |                  | Unité              |             |
|----------------------------|------------------|------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------|
| Type de membrane           | ULP22-8040       |            | BW30HRLE-440        |                  | -                  |             |
| Surface de membrane        | 37.2             |            | 40.8                |                  | m <sup>2</sup>     |             |
| La surface active totale   | 445.9            |            | 491                 |                  | m <sup>2</sup>     |             |
| Pression de service max    | 41.37            |            | 41                  |                  | bars               |             |
| NaCl rejection pourcentage | 98-97            |            | 99.3-99.1           |                  | %                  |             |
| Débit de permeat           | 12               |            | 12                  |                  | m <sup>3</sup> /h  |             |
| TDS de permeat             | 46.4             |            | 7.20                |                  | mg/l               |             |
| Débit de concentrât        | 3                |            | 3                   |                  | m <sup>3</sup> /h  |             |
| TDS de concentrât          | 7527.8           |            | 7678                |                  | mg/l               |             |
| Pression d'alimentation    | 11.4             |            | 11.5                |                  | bars               |             |
| Pression de concentrât     | 8.4              |            | 7.5                 |                  | bars               |             |
| Energie spécifique         | 0.49             |            | 0.50                |                  | kWh/m <sup>3</sup> |             |
| Les analyses               |                  |            |                     |                  |                    |             |
| ions                       | alimentation     | concentrât | permeat             | alimentatio<br>n | Concentr<br>ât     | permea<br>t |
| Na                         | 85.1             | 415.0      | 2.6                 | 83.29            | 409.7              | 3.10        |
| Ca                         | 283.8            | 1385.3     | 8.4                 | 283.8            | 1418               | 0.71        |
| Mg                         | 79.9             | 389.9      | 2.4                 | 79.87            | 399.1              | 0.18        |
| Cl                         | 281.0            | 1368.7     | 9.1                 | 281.0            | 1398               | 3.44        |
| HCO3                       | 111.1            | 535.3      | 5.1                 | 111.3            | 542.1              | 3.60        |
| NO3                        | 1.8              | 3424.9     | 0.1                 | 1.80             | 8.82               | 0.08        |
| SO4                        | 700.0            | 3424.9     | 18.8                | 700.0            | 3499               | 1.43        |
| TDS                        | 1542.7           | 7527.8     | 46.4                | 1,541            | 7678               | 12.55       |

On remarque que la surface active totale ainsi que le taux de rejection de NaCl de membrane DawFimTech (BW30HRLE-440) sont plus conséquent par rapport à la membrane Vontron (ULP22-8040), c'est pour ça que les résultats de concentration des ions du Concentrat et du permeat se diffère d'une membrane à l'autre.

On conclut que la membrane DawFimTech (BW30HRLE-440) est plus efficace que la membrane Vontron (ULP22-8040) coté concentrations des ions sortie par contre pour ce qui est des autres paramètres à s'avoir Energie spécifique et Pression d'alimentation on aura approximativement les mêmes résultats.

#### III.5.4.6. CIP (clining in place)

Au fil du temps, la membrane devient sale et obstruée par divers matériaux colloïdaux, organiques, inorganiques et biologiques et nécessite un nettoyage. Nos systèmes de nettoyage des membranes nettoient les membranes et doublent voire triplent leur durée de vie. L'objectif du CIP est de nettoyer toutes les 3 à 4 fois par an lorsque l'encrassement de la membrane est important. Cette technique fonctionne par pompage d'une solution basique puis faire un rinçage avec l'eau filtrée, après pomper une solution acide et finir par le rinçage d'eau filtrée pour la 2eme fois.

Pour la quantité de solution de nettoyage, il est recommandé qu'elle soit comprise 0.2  $m^3$  par tube, de même, ils recommandent un débit de 11  $m^3/h$  par tube de pression de 8 Pouces.

On peut dimensionner la cuve de nettoyage et de rinçage par le tableau suivant

Tableau III. 23: Dimensionnement de CIP.

| Paramètre                        | formule   | valeur | Unité        |
|----------------------------------|-----------|--------|--------------|
| Débit pompe nettoyage-rinçage Qp | -         | 11     | $m^3/h/tube$ |
| Volume par tube Vt               | -         | 0.2    | $m^3/tube$   |
| Volume des conduites Vc          | -         | 0.3    | $m^3$        |
| Volume totale de cuve VT         | VT= Vt+Vc | 0.5    | $m^3$        |

#### III.5.5. Dosage chimique

##### III.5.5.1. Dosage bisulfite

Le poste de dé chloration par bisulfite de sodium servira à neutraliser les traces d'hypochlorite dans l'eau dans le cas d'un dysfonctionnement accidentel ainsi que les travaux de maintenances du filtre à charbon vu que les membranes d'osmose inverse ne tolère pas la présence d'oxydants tel que l'hypochlorite au-delà 0.1 ppm, c'est pour ça qu'il est indispensable de neutraliser l'eau brute avant de l'introduire dans les membranes. Le bisulfite de sodium sera injecté à l'amont du filtre à cartouche et le dosage sera seulement dans le cas de présence du chlore dans l'eau brute.

Le dosage de bisulfite sera 6.9 ppm.

### III.5.5.2. Dosage de l'anti scalant

L'anti scalant servira pour inhiber la précipitation de certains sels sur la surface de séparation de la membrane pour éviter des éventuels colmatages irréversibles desdites membranes.

- D'après notre simulation nous avons reçu un avertissement dans chaque simulation concernant la précipitation des sels et des carbonates de calcium, pour cela nous avons prévu une injection d'anti scalant de 2.8 ppm en amont du filtre à cartouche.

| RO Solubility Warnings  |         |
|---|---------|
| Warning   | Pass No |
| Langelier Saturation Index > 0  | 1       |
| CaSO <sub>4</sub> (% saturation) > 100  | 1       |
| Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery. | 1       |

Figure III. 22 : Avertissement simulateur Wave.

| 1 Pass RO System Warnings  |
|--|
| 1 pass RO system Solubility Warnings<br>CaCO <sub>3</sub> Saturation limits exceeded ,Antiscalants may be required or change your system design. |

Figure III. 23 : Avertissement simulateur Vontron.

### III.5.6. Stérilisation à UV

Le poste de désinfection à base rayonnement ultraviolet a comme rôle de neutraliser tout type de micro-organismes tels virus, bactéries, levures et champignons en quelques secondes sans l'utilisation de produits chimiques, le détail des dimensions du présent poste .

Tableau III. 24 : Caractéristiques de la stérilisation par UV.

| Paramètre                        | valeur | unité             |
|----------------------------------|--------|-------------------|
| Capacité totale de la production | 36     | m <sup>3</sup> /h |
| Débit de module UV               | 36     | m <sup>3</sup> /h |
| Nombre de module UV              | 1      | -                 |

### III.5.7. Mélange d'eau brute

Après le dessalement, la reminéralisations de l'eau obtenue est indispensable afin de la rendre potable. Le permeat obtenue sera mélangée avec les eaux de forages bruts après passage au prétraitement et chargées en sels minéraux avec un débit spécifique. Cette technique est actuellement utilisée dans le but de reminéraliser l'eau dessalée dans cette station.

Pour avoir un bon mélange équilibré on ajoute un pourcentage approximatif de 12% d'eau brute dans le permeat obtenue tout cela est simuler dans le logiciel afin d'obtenir un bon équilibre ionique d'eau de sortie. Dans notre cas alors on a ajouté 1.4m<sup>3</sup>/h d'eau brute dans chaque file ce qui nous donne un total de 4.2 m<sup>3</sup>/h d'eau brute mélanger avec notre permeat.

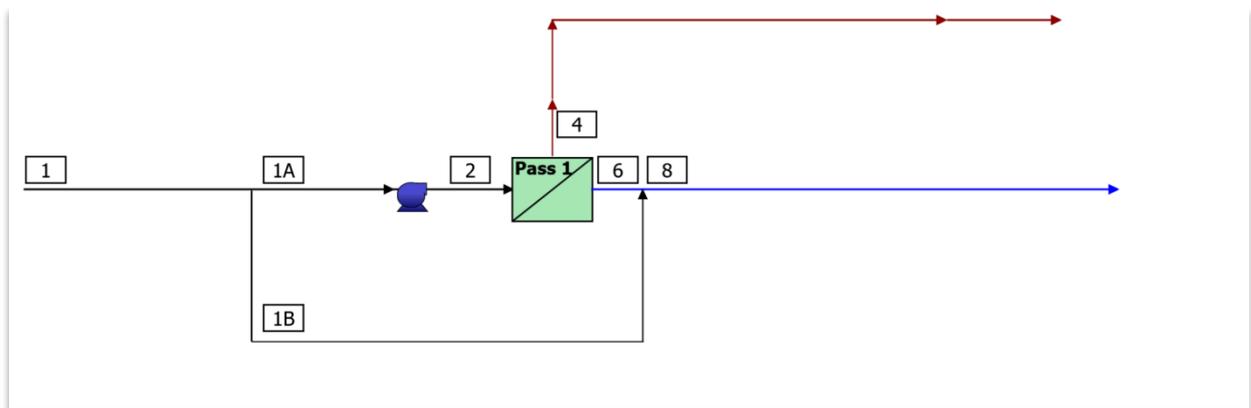


Figure III- 28 : Schéma globale de la reminéralisations du permeat.

Tableau III. 25 : Débits du schéma globale de la reminéralisations.

| Tag | Description                      | Débit                |
|-----|----------------------------------|----------------------|
| 1   | Eau brute                        | 45 m <sup>3</sup> /h |
| 1A  | Eau brute après by passe mélange | 40.8                 |
| 1B  | by passe mélange                 | 4.2                  |
| 2   | Eau brute après pompe HP         | 40.8                 |
| 4   | Concentrât                       | 3                    |
| 6   | Permeat avant mélange            | 31.8                 |
| 8   | Permeat après mélange            | 36                   |

#### III.5.7.1. Qualité de l'eau après le mélange

Le tableau suivant nous donne la qualité finale d'eau traité.

Tableau III. 26 : Qualité d'eau finale dans tout de simulation Vontron et Wave et le mélange.

| Ions | Permeat de Vontron (ppm) | Permeat de wave (ppm) | Avec mélange (ppm) |
|------|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| Na   | 2.6                      | 3.10                  | 11.33              |
| Ca   | 8.4                      | 0.71                  | 33.49              |
| Mg   | 2.4                      | 0.18                  | 9.42               |
| Cl   | 9.1                      | 3.44                  | 34.52              |
| HCO3 | 5.1                      | 3.60                  | 15.04              |
| NO3  | 0.1                      | 0.08                  | 0.25               |
| SO4  | 18.8                     | 1.43                  | 82.38              |
| TDS  | 46.4                     | 12.55                 | 186.4              |

D'après le tableau on conclure que nos analyses sont en normes algérienne donc l'eau est bien traité et la simulation est bonne. Mais le TDS d'eau traité est un peu faible, on peut donc augmenter le débit d'eau brute.

La figure suivante va présenter le PID de l'osmose inverse avec la stérilisation par UV.

# osmoseur

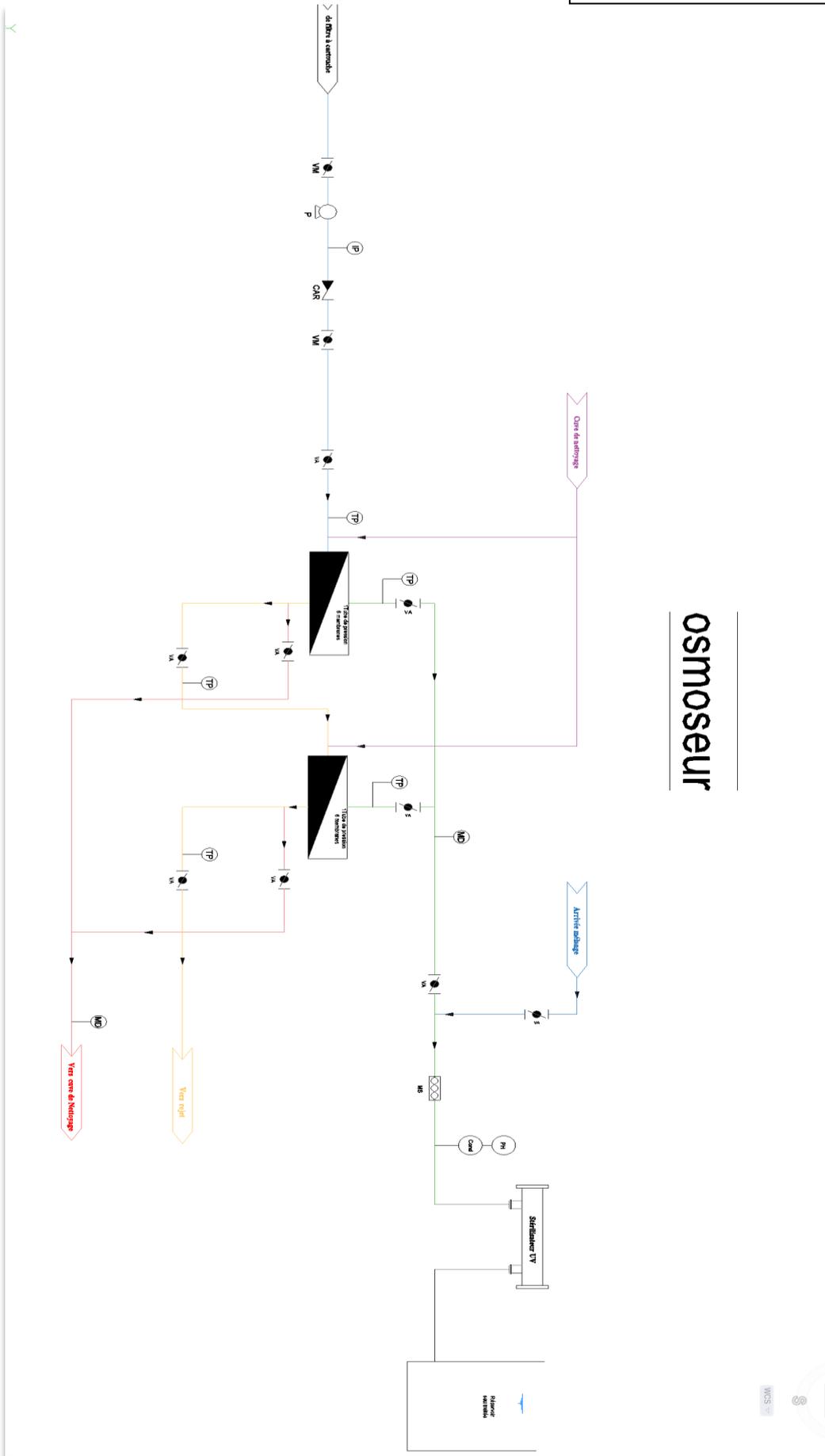


Figure III. 24 : PID d'osmoseur.

## LEGENDE

|   |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
|    |    |    |    |    |
| module osmose inverse<br>1er étage  | module osmose inverse<br>2eme étage   | mélangeur statistique   | Vanne papillon<br>manuelle   | Vanne papillon<br>automatique   |
|    |    |    |    |    |
| Clapet anti-retour  | Pompe HP  | Indicateur de pression  | transmetteur de pression   | mesure de débit   |
|    |    |    |    |    |
| mesure de PH  | mesure de conductivité  | Circuit eau filtrée   | Circuit eau permeat  | Circuit eau concentrat  |
|  |  |  |  |  |
| Circuit eau vers cuve<br>netoyage   | Circuit eau brute   | Circuit eau pour<br>netoyage  | stérilisation^par UV   | réservoir d'eau traiter   |

Figure III. 25 : Légende de PID osmoseur.

### III.6. Conclusion

A l'issue de ce chapitre, nous avons pu mettre au point le dimensionnement de la station de déminéralisation de notre étude suivant des étapes de calculs bien précises.

Après avoir déterminé le facies chimique de l'eau à traiter, on peut dire que cette eau est sulfaté calcique et chloruré calcique donc on a assuré que le type de traitement est le dessalement.

Avec une capacité de production de  $850 \text{ m}^3/\text{j}$ , alimentant les réservoirs de la base de vie 24 Février avec une eau destinée à une utilisation domestique, notre station sera principalement équipée de trois ligne de traitement, chaque ligne composer de:

- Postes de prétraitement physique comportant :

- Un filtre à sable de la surface de filtration  $1.18 \text{ m}^2$  et une vitesse de filtration de  $12.72 \text{ m}^2/\text{s}$ .

- un filtre à charbon de même caractéristiques de filtre à sable.

- Une unité d'osmose inverse à deux étages avec un tube de pression dans chaque étage composé en tout de 12 modules protégées par un filtre à cartouche de vitesse de filtration  $3.40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ .

- Un poste de stérilisation par UV.

Bien sûr sans oublier de citer l'ensemble des systèmes de pompage utilisés, les réservoirs et les cuves de différentes capacités.

Après le dessalement, une eau pauvre en minéraux est produite c'est pour ça on faire une opération de reminéralisations en ajoutant un débit de  $1.4 \text{ m}^3/\text{h}$  à chaque file de traitement, c'est-à-dire  $4.2 \text{ m}^3/\text{h}$  d'eau brute mélanger au perméat avec une possibilité d'augmenter ce débit avant l'étape de stérilisation par UV pour avoir une eau riche et conforme au norme algérienne.

# Chapitre N°4

Etude technico-économique.

## IV.1. Introduction

Au terme d'une étude d'une station de dessalement par osmose inverse, la technologie s'est avérée très intéressante pour résoudre le problème la pénurie d'eau et une solution adéquate pour l'approvisionnement en eau surtout dans la zone de Hassi Messaoud qui est connue par des eaux de salinité élevée qui dépasse les normes de consommation.

De manière générale, on peut dire que l'osmose inverse est une technologie qui permet d'obtenir une eau de bonne qualité et dont le prix de revient est acceptable. C'est ce qu'on va confirmer dans ce chapitre à travers une étude technico-économique qui doit prendre en compte les facteurs d'influence suivants :

- Le volume de coplex.
- La qualité d'eau produite.
- La nature de site.
- Durée de chantier.
- Durée de vie de la station.
- Coût d'énergétique.

Ces conditions se traduisent par une large fourchette de prix de revient au mètre cube d'eau.

## IV.2. L'investissement

Investir est le fait de dépenser de l'argent pour qu'une entreprise réalise plus de profit. Contrairement aux charges d'exploitation, les investissements sont une obligation de l'entreprise et de ses actionnaires. Cela comprend, par exemple, l'achat de machines plus efficaces ou l'ouverture de nouvelles concessions. Les entreprises peuvent faire plusieurs investissements en même temps.

Le cout d'investissement donné par la relation suivante

$$C_{inv} = C_{con} + C_{eq} \dots \dots (IV. 1)$$

Avec

- $C_{inv}$  : cout d'investissement.
- $C_{con}$  : cout de construction.
- $C_{eq}$  : cout d'équipement.

#### IV.2.1. Coût de la construction de l'unité

La construction concerne tout ce qui est construit (bâtiments, réservoirs, canalisations...), c'est-à-dire que la partie génie civil comprend les coûts associés (transport de la main-d'œuvre...), auxquels s'ajoutent les ouvrages hydrauliques.

##### ➤ Coût d'adduction

Dans notre cas le cout d'adduction est contient le cout de réservoir et conduites.

Tableau IV. 1: Totale de cout d'adduction.

| Paramètre                 | unité | Quantité | Prix unitaire | Prix totale (DA) |
|---------------------------|-------|----------|---------------|------------------|
| Réservoir                 | m3    | 1450     |               | 30000000         |
| Conduites en PEHD DN250mm | ml    | 4000     | 12332.81      | 49331240         |
| Totale                    | DA    | -        | -             | 79331240         |

A partir de ce tableau le cout d'adduction est 79331240 DA.

##### ➤ Coût de la partie génie civile

Ce coût comprend la construction de toutes les infrastructures de la station.

Plus le cout de la tuyauterie, on va calculer comme suite.

Tableau IV. 2: Totale de cout génie civil.

| Paramètre           | Prix en DA |
|---------------------|------------|
| Cout de génie civil | 6000000    |
| Cout de Tuyauterie  | 3000000    |
| Le cout Totale      | 9000000    |

D'après ce tableau on conclure que le cout totale de génie civile est 9000000 DA.

Donc le cout de construction est comme suite :

$$C_{con} = C_{add} + C_{gc} \dots\dots (IV. 2)$$

Avec

- $C_{con}$  : cout construction.
- $C_{add}$  : cout adduction.
- $C_{gc}$  : cout génie civile.

Alors :

$$C_{con} = 79331240 + 9000000$$

$$C_{con} = 88331240 \text{ DA}$$

#### IV.2.2. Cout de l'équipement

##### ➤ Cout de membranes

Il comprend le prix d'achat des membranes, leur transport et leur mise en place qui sont estimés à 5%, plus le tube de pression.

Tableau IV. 3: Cout totale de membrane.

| Paramètre                       | unité | valeur | Prix unitaire | formule          | Prix totale |
|---------------------------------|-------|--------|---------------|------------------|-------------|
| Membrane                        | -     | 12     | 90000         | $C_m = P_u + N$  | 1080000     |
| Tube de pression                | -     | 2      | 250000        | -                | 500000      |
| C de transport et mise en place | DA    | -      | -             | $0.5 \times C_m$ | 540000      |
| Totale                          | DA    | -      | 5ans          |                  | 2120000     |

##### ➤ Pompes, vannerie et instrumentation

Tableau IV. 4: Cout de pompe, vannerie et instrumentation.

| Paramètre                      | Quantité | Prix unitaire | Prix totale    |
|--------------------------------|----------|---------------|----------------|
| Vannerie                       | -        | -             | 4000000        |
| instrumentation                | -        | -             | 10000000       |
| filtre à sable                 | 3        | 7633,08       | 4103543,81     |
| Filtre à charbon               | 3        | 7633,08       | 4103543,81     |
| Pompes (gavage, HP, nettoyage) | 8        | -             | 32000000       |
| totale                         | -        | -             | 1. 54207087,62 |

Donc la valeur de l'équipement est comme suit :

Cout d'équipement = Cout de membranes + Cout de pompes, vannerie et instrumentation.....(IV. 3)

Donc

Cout totale d'investissement= 144658327,6 DA

#### IV.2.3. Coût d'Exploitation

Le cout d'exploitation comprend le cout de consommation d'énergie, le cout de la charge personnelle et d'entretien, le cout de la consommation des produits chimiques, ainsi que le cout de changement des membranes (chaque 5 an).

##### ➤ Coût de Consommation d'Énergie

Tableau IV. 5: Cout de consommation d'énergie.

| Paramètre            | Unité | Energie totale | Prix unitaire | Prix totale |
|----------------------|-------|----------------|---------------|-------------|
| L'énergie spécifique | KW/m3 | 22.5           | 6             | 49275       |

##### ➤ Charge de personnel

C'est le total des salaires de tout le personnel pendant une année entière

Tableau IV. 6: Cout de charge personnelle.

| Fonction              | Salaire par jours | Salaire annuelles |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Agent d'exploitation  | 4000              | 1076000           |
| Technicien-Laborantin | 5000              | 1345000           |
| cadre                 | 7000              | 1883000           |
| TOTALE                | 16000             | 4304000           |

##### ➤ Coût d'Entretien

Le cout d'entretien annuel de l'ensemble de la station revient à 5% du prix d'investissement.

Tableau IV. 7: Cout d'entretien annuel.

| Paramètre        | Formule                    | Prix totale | Unité |
|------------------|----------------------------|-------------|-------|
| Cout d'entretien | Cout d'entretien= 0.5×Cinv | 7232916,38  | DA    |

➤ **Coût de consommation des produits chimique**

Tableau IV. 8: Cout de consommation des produits chimiques.

| Prix de consommation par jour | Prix de consommation par an |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 5000 DA/j                     | 1825000                     |

➤ **Cout de changement de membrane**

On va changer les membranes chaque 5 ans. Le tableau suivant nous a donné le cout de changement.

Tableau IV. 9: Cout de changement de membrane.

| Nombre | Durée de vie de membrane | Prix unitaire (DA) | Prix totale (DA) |
|--------|--------------------------|--------------------|------------------|
| 12     | 5 ans                    | 90000              | 5400000          |

Donc le cout total d'exploitation est comme suit

$$C_{exp} = C \text{ d'énergie} + C \text{ de charge personnel} + C \text{ d'entretien} + C \text{ de changement membranes} \dots \dots (IV. 4)$$

#### IV.2.4. Cout globale de la station

Le cout total de la station est calculé comme suit

$$CT = C_{investissement} + C_{exploitation} \dots \dots (IV. 5)$$

$$CT = 144658327,6 + 18811191$$

$$CT = 163469519 \text{ DA}$$

#### IV.2.5. Montant total avec la TVA

La TVA est calculée par la formule suivante.

$$TVA = 0.19 \times CT \dots \dots (IV. 6)$$

On a : Taux de la TVA = 19%

Donc :

$$\text{TVA} = 0.19 \times 163469519$$

$$\text{TVA} = 31059208,61 \text{ DA}$$

Et par la formule suivante on va calculer le TTC

$$\text{TTC} = \text{TVA} + \text{CT} \dots\dots (\text{IV. 7})$$

$$\text{TTC} = 194528727,6 \text{ DA}$$

#### IV.2.6. Prix Unitaire du mètre cube d'eau traité

La relation pour calculer le prix unitaire d'un mètre cube est la suivante.

$$\text{Pr} = \text{TTC} / (\text{Qpt} \cdot \text{N} \cdot \text{b}) \dots\dots (\text{IV. 8})$$

Avec :

- Pr : Prix unitaire d'un mètre cube d'eau traité.
- Qpt : Débit journalier produit (36 m<sup>3</sup>/j).
- TTC: Coût global de la station de dessalement toutes taxes comprises.
- N : Nombre des jours d'année (365 jours).
- b : Duré de vie de la station (20 ans).

$$\text{Pr} = 30,84 \text{ DA}$$

Donc

$$\text{Pr} = 40 \text{ DA/m}^3$$

### IV.3. Conclusion

D'après cette étude, le prix du mètre cube d'eau déminéralisé produit par notre station est de la valeur de 40 DA/m<sup>3</sup>, nous remarquons bien que ce prix est inférieur de 50 DA/m<sup>3</sup> donc il est en normes algérienne.

Cela revient à la basse consommation en énergie par le système d'osmose inverse, donc c'est un pari gagné pour nous car ça prouve qu'on a fait le bon choix en sélectionnant cette méthode de déminéralisation.

Dans ce contexte nous pouvons aussi donner un devis estimatif total approximatif de la réalisation et l'exploitation de notre station, ce qui revient à un montant de 163469519DA avec taxes comprises.

Conclusion  
générale.

## Conclusion générale

La région de Hassi Messaoud située au sud d'Algérie est une zone saharienne, caractérisée par une forte aridité où les précipitations sont très faibles et irrégulières, et la température est relativement élevée, avec un taux d'humidité important en hiver et un rayonnement solaire excessif, ce qui traduit par un pouvoir évaporant élevé.

L'étude des analyses des eaux des trois puits nous a permis de connaître le faciès chimique des eaux de cette région qui sont caractérisées par une salinité élevée. Ces constats sont les arguments potentiels pour la nécessité d'implanter une station de déminéralisation visant à améliorer la qualité de ces eaux.

Après avoir étudié diverses techniques de dessalement, on a conclu que le procédé de dessalement par osmose inverse est la technique de filtration membranaire la plus économique, et la plus efficace. Cette technique permet l'élimination des sels et des substances organiques présents dans les eaux ainsi qu'une partie des virus et des bactéries, avec la possibilité de l'utiliser pour la production des grands débits, ainsi que la simplicité de construction. Donc pour notre cas, cette technique forme un choix avantageux pour la déminéralisation des eaux saumâtre.

Le long de ce travail ; nous avons dimensionné une station de dessalement de capacité de production totale de  $850 \text{ m}^3/\text{j}$ , contient trois fils de traitement où chaque fil est composé de :

- Un poste de prétraitement contient un filtre à sable et un filtre à charbon des mêmes caractéristiques de surface de filtration  $1.18 \text{ m}^2$  et une vitesse de filtration de  $12.72 \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Une unité d'osmose inverse à deux étages avec un tube de pression dans chaque étage composé en tout de 12 modules protégées par un filtre à cartouche de vitesse de filtration  $3.40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ .
- Un poste de stérilisation par UV d'une capacité de  $36 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Notre station contient un système de pompage caractérisée comme suit :

- Pompe de gavage de nombre 3+1 (3 en service +1 réserve) avec un débit de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  et un HMT de 6 bars.
- Pompe HP de nombre 1+1 (1 en service +1 réserve), avec un débit de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  et un HMT de 11.5 bars.
- Pompe de retro lavage de nombre 1+1 (1 en service +1 réserve), avec un débit de  $42 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Le projet contient aussi un réservoir de stockage d'eau brute de capacité de  $1450 m^3$ , une cuve de retro lavage de capacité  $6m^3$ , une cuve de nettoyage et autre de rinçage de même capacité de  $0.5m^3$ .

Avant de passer à la stérilisation par UV, le permeat va être mélangé avec un débit d'eau brute estimée à  $1.4 m^3/h$  par file ; donc le débit totale de mélange est de  $4.2m^3/h$  avec la possibilité d'augmenter ce débit.

A l'issue de l'étude technico-économique, et après l'estimation du cout totale de la station est de 163469519DA, où le prix de revient du mètre cube d'eau traitée dans la station est de  $40 DA/m^3$  il est inférieur au  $50 DA/m^3$ . Ce prix de revient s'avère très raisonnable.

# Bibliographie

## Bibliographies

[1] : [www.map data.com](http://www.mapdata.com)

[2] : Scandium, Christian Hocquard. Un Métal High-Tech Du Futur, Economie Géologie. La Tribune 2001.

[3] : Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes par Daniel Dubost. Thèse doctorat 1991.

[4] : Loup Jean. Grisollet , Guilmet , Arléry . Climatologie, méthodes et pratiques In: Revue de géographie alpine, tome 51, n°2, 1963. pp. 377-378.

[5] : station métrologique Hassi Messaoud 2019.

[6] : [weatherspark.com](http://weatherspark.com).

[7] : MAUREL Alain. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. 2° Éd. et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce

[8] : Agence Française de Développement. Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes.

[9] : [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

[10] : Annik Bouroche, Michèle Le Bars. Editions Quae, Techniques de séparation par membranes: vocabulaire français-anglais-allemand avec index. 1994. 62 pages.

[11] : [www.suezwaterhandbook.fr](http://www.suezwaterhandbook.fr)

[12] : Youssef Mandri. Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide.

[13] : Sebki, Mohamed Salim. Sebki, Mohamed Salim. Etude paramétrique pour le dimensionnement du diffuseur de saumure de la méga station de dessalement de Magtâa. 2016.

[14] : Claus Bliefert, Robert Perraud. Chimie de l'environnement. 2e Édition. Novembre 2008. 478 pages.

[15] : CARDOT CLAUDE. Les traitements de l'eau pour l'ingénieur.

[16] : Effet des structures de surface de la couche de peau sur le comportement de flux des membranes RO. Journal of Membrane Science. 1996.

- [17] : Centre de recherche sur les matériaux organiques hyperstructurés (HOMRC) et École des sciences et de l'ingénierie des matériaux, Université nationale de Séoul, San 56-1, Shinlim-dong, Kwanak-ku, Séoul 151-744, Corée.
- [18] : A. Lassouani et H. Benlebna. Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, station de Bousfer-Oran. Mémoire de master en chimie. Université des sciences et la technologie Mohamed Boudiaf (Oran) 2001.
- [19] : [www.aquariophilie-aquarium.fr](http://www.aquariophilie-aquarium.fr).
- [20] : C.Cardot, Génie de l'environnement, Les traitements de l'eau. Edition : Ellipses. 247p, 1999
- [21] : A. F JOHNSEN., KRISTENSEN S., K. DINESEN D. (1988), Fluid dynamics in membrane filtration Systems, Sci. Environ. Eng., Vol, 11, Chap. 3, 95-112
- [22] : P.Danis, Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur J 2700, 2003.
- [23] : Salah Frioui. Rabah Oumeddour. Coûts d'investissement et de production des usines de dessalement par méthode semi-empirique. mars 2008Dessalement 223(1):457-463.
- [24] : Ernst Neufert. Les éléments des projets de construction. 2014.
- [25] : [www.slideplayer.fr](http://www.slideplayer.fr)
- [26] : A. Maurel, 2006. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce.Paris, Lavoisier Tec&Doc.
- [27] : Bonnin.J, Hydraulique urbaine. Edition: Eyrolles. 228p, 1986.
- [28] : BAKALOWICZ (Michel), SDAGE RHONE-MEDITERRANEE. Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, 1999.
- [29] : Chaier de charge Sonatrach. Projet station de dessalement Hassi Messaoud, 2019.
- [30] : Voutchkov, Nikolay. Water Globe Consultants. American woter works association. Florida, United States.
- [31] : [www.vontron.com](http://www.vontron.com)
- [32] : [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)
- [33] : Ayouba Mahamane. Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines. département chimie Université de Ouagadougou 03.
- [34] : [www.usinenouvelle.com](http://www.usinenouvelle.com)
- [35] : [www.lucidchart.com](http://www.lucidchart.com)
- [36] : [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)

**Annexe.**

**Project Information**

|                      |                  |                 |                  |
|----------------------|------------------|-----------------|------------------|
| <b>Project Name:</b> | <b>sonatrack</b> | <b>Date:</b>    | <b>6/14/2023</b> |
| <b>Designed By:</b>  | <b>imen</b>      | <b>Company:</b> | <b>Amenhyd</b>   |

**System Summary -- Pass 1**

|                          |        |      |                        |                      |         |
|--------------------------|--------|------|------------------------|----------------------|---------|
| Feed Flow to Stage 1     | 15.0   | m3/h | PermeateFlow:          | 12.0                 | m3/h    |
| Raw Water Flow to System | 15.0   | m3/h | Recovery:              | 80.0                 | %       |
| Feed Pressure:           | 11.4   | bar  | Feed Temp:             | 15.0                 | C       |
| Feed TDS                 | 1542.7 | ppm  | Number of Elements     | 12                   |         |
| Total Active Area        | 445.9  | m2   | Average System Flux    | 26.9                 | L/h-m2  |
| Fouling Factor           | 0.85   |      | WaterType              | Well Water/Tap Water | SDI < 3 |
| Power                    | 5.85   | KW   | Specific Energy        | 0.49                 | KWh/m3  |
| Chem.Dose                | 0.00   | ppm  | Ion Exchange Softening | No                   |         |

|                        |            |            |
|------------------------|------------|------------|
| Array                  | 1          | 2          |
| Elements Model         | ULP22-8040 | ULP22-8040 |
| No.of PV               | 1          | 1          |
| Elements per PV        | 6          | 6          |
| Boostpump pressure     | N/A        | .00        |
| Permeate back pressure | .00        | .00        |

**Summary of All Stages -- Pass 1 Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm**

| Stage | Model      | #PV | #Elem | FeedFlow | FeedPress | ConcFlow | ConcPress | PermFlow | PermTDS |
|-------|------------|-----|-------|----------|-----------|----------|-----------|----------|---------|
| 1-1   | ULP22-8040 | 1   | 6     | 15.0     | 11.2      | 7.7      | 9.3       | 7.3      | 29.8    |
| 1-2   | ULP22-8040 | 1   | 6     | 7.7      | 9.0       | 3.0      | 8.4       | 4.7      | 72.9    |

**Ionic Summary -- Pass 1(ppm)**

| Ions | Raw Water | Adjusted Water | Concentrate | Permeate |
|------|-----------|----------------|-------------|----------|
| Na   | 85.1      | 85.1           | 415.0       | 2.6      |
| Ca   | 283.8     | 283.8          | 1385.3      | 8.4      |
| Mg   | 79.9      | 79.9           | 389.9       | 2.4      |
| K    | 0.0       | 0.0            | 0.0         | 0.0      |
| Ba   | 0.0       | 0.0            | 0.0         | 0.0      |
| Sr   | 0.0       | 0.0            | 0.0         | 0.0      |
| NH4  | 0.0       | 0.0            | 0.0         | 0.0      |
| Cl   | 281.0     | 281.0          | 1368.7      | 9.1      |
| CO3  | 0.0       | 0.0            | 0.0         | 0.0      |
| HCO3 | 111.1     | 111.1          | 535.3       | 5.1      |
| F    | 0.0       | 0.0            | 0.0         | 0.0      |
| NO3  | 1.8       | 1.8            | 8.7         | 0.1      |

|       |        |        |        |      |
|-------|--------|--------|--------|------|
| SO4   | 700.0  | 700.0  | 3424.9 | 18.8 |
| SiO2  | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0  |
| CO2   | 3.4    | 3.4    | 3.4    | 3.4  |
| Boron | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0  |
| TDS   | 1542.7 | 1542.7 | 7527.8 | 46.4 |

**Array Details -- Pass 1**

Unit: Flow m3/h, Pressure bar, TDS ppm

| Element | Recovery | PermFlow | PermTDS | FeedFlow | FeedTDS | FeedPressure |
|---------|----------|----------|---------|----------|---------|--------------|
| 1-1     | 0.09     | 1.38     | 22.33   | 14.98    | 1542.70 | 11.23        |
| 1-2     | 0.10     | 1.31     | 24.83   | 13.60    | 1696.97 | 10.83        |
| 1-3     | 0.10     | 1.24     | 27.77   | 12.29    | 1874.89 | 10.44        |
| 1-4     | 0.11     | 1.18     | 31.26   | 11.05    | 2082.34 | 10.09        |
| 1-5     | 0.11     | 1.12     | 35.45   | 9.87     | 2327.14 | 9.80         |
| 1-6     | 0.12     | 1.06     | 40.57   | 8.75     | 2620.12 | 9.55         |
| 2-1     | 0.13     | 0.96     | 47.27   | 7.69     | 2975.77 | 9.03         |
| 2-2     | 0.13     | 0.90     | 55.12   | 6.73     | 3394.18 | 8.84         |
| 2-3     | 0.14     | 0.84     | 65.17   | 5.83     | 3910.08 | 8.70         |
| 2-4     | 0.15     | 0.76     | 78.31   | 4.99     | 4553.19 | 8.58         |
| 2-5     | 0.16     | 0.68     | 95.79   | 4.23     | 5359.69 | 8.49         |
| 2-6     | 0.17     | 0.59     | 119.33  | 3.55     | 6368.98 | 8.41         |

**1 Pass RO System Warnings**

1 pass RO system Solubility Warnings

CaCO3 Saturation limits exceeded ,Antiscalants may be required or change your system design.

1 pass RO system Design Warnings

None

**Scaling Calculations**

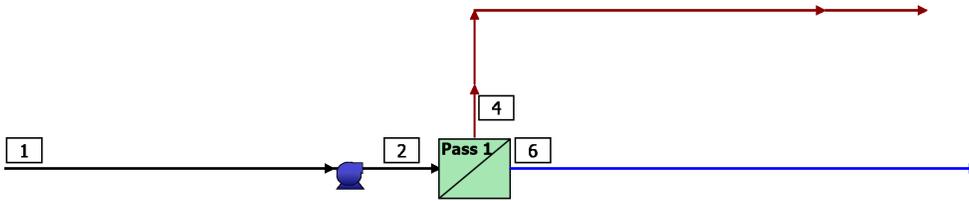
|                    | Feed    | Adjusted Feed | Concentrate |
|--------------------|---------|---------------|-------------|
| pH                 | 7.81    | 7.81          | 7.88        |
| TDS                | 1542.70 | 1542.70       | 1814.94     |
| HCO3               | 111.14  | 111.14        | 130.75      |
| CO3                | 0.00    | 0.00          | 0.00        |
| CO2                | 3.43    | 3.43          | 3.43        |
| LSI                | 0.51    | 0.51          | 0.71        |
| Stiff&Davis Index  | 0.47    | 0.47          | 0.64        |
| CaSO4 Saturation % | 39.42   | 39.42         | 50.68       |
| BaSO4 Saturation % | 0.14    | 0.14          | 0.17        |
| SrSO4 Saturation % | 0.00    | 0.00          | 0.00        |
| CaF2 Saturation %  | 0.00    | 0.00          | 0.00        |
| SiO2 Saturation %  | 0.00    | 0.00          | 0.00        |





## RO Summary Report

### RO System Flow Diagram



| # | Description                   | Flow (m <sup>3</sup> /h) | TDS (mg/L) | Pressure (bar) |
|---|-------------------------------|--------------------------|------------|----------------|
| 1 | Raw Feed to RO System         | 15.0                     | 1,541      | 0.0            |
| 2 | Net Feed to Pass 1            | 15.0                     | 1,542      | 11.5           |
| 4 | Total Concentrate from Pass 1 | 3.00                     | 7,678      | 7.5            |
| 6 | Net Product from RO System    | 12.0                     | 7.20       | 0.0            |

### RO System Overview

|                   |                     |            |      |               |      |             |        |
|-------------------|---------------------|------------|------|---------------|------|-------------|--------|
| Total # of Trains | 1                   | Online =   | 1    | Standby =     | 0    | RO Recovery | 80.0 % |
| System Flow Rate  | (m <sup>3</sup> /h) | Net Feed = | 15.0 | Net Product = | 12.0 |             |        |

| Pass                      | Pass 1                |       |
|---------------------------|-----------------------|-------|
| Stream Name               | Stream 1              |       |
| Water Type                | Well Water (SDI < 3)  |       |
| Number of Elements        | 12                    |       |
| Total Active Area         | (m <sup>2</sup> )     | 491   |
| Feed Flow per Pass        | (m <sup>3</sup> /h)   | 15.0  |
| Feed TDS <sup>a</sup>     | (mg/L)                | 1,542 |
| Feed Pressure             | (bar)                 | 11.5  |
| Flow Factor Per Stage     | 0.85, 0.85            |       |
| Permeate Flow per Pass    | (m <sup>3</sup> /h)   | 12.0  |
| Pass Average flux         | (LMH)                 | 24.5  |
| Permeate TDS <sup>a</sup> | (mg/L)                | 7.20  |
| Pass Recovery             | 80.0 %                |       |
| Average NDP               | (bar)                 | 7.3   |
| Specific Energy           | (kWh/m <sup>3</sup> ) | 0.50  |
| Temperature               | (°C)                  | 15.0  |
| pH                        | 7.0                   |       |
| Chemical Dose             | -                     |       |
| RO System Recovery        | 80.0 %                |       |
| Net RO System Recovery    | 80.0%                 |       |

#### Footnotes:

<sup>a</sup>Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>2</sub> and B. It does not include NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>


**RO Flow Table (Stage Level) - Pass 1**

| Stage | Elements     | #PV | #Els per PV | Feed                |                     |            |             | Concentrate         |            |            | Permeate            |          |            |          |
|-------|--------------|-----|-------------|---------------------|---------------------|------------|-------------|---------------------|------------|------------|---------------------|----------|------------|----------|
|       |              |     |             | Feed Flow           | Recirc Flow         | Feed Press | Boost Press | Conc Flow           | Conc Press | Press Drop | Perm Flow           | Avg Flux | Perm Press | Perm TDS |
|       |              |     |             | (m <sup>3</sup> /h) | (m <sup>3</sup> /h) | (bar)      | (bar)       | (m <sup>3</sup> /h) | (bar)      | (bar)      | (m <sup>3</sup> /h) | (LMH)    | (bar)      | (mg/L)   |
| 1     | BW30HRLE-440 | 1   | 6           | 15.0                | 0.00                | 11.2       | 0.0         | 7.85                | 8.6        | 2.6        | 7.15                | 29.1     | 0.0        | 3.65     |
| 2     | BW30HRLE-440 | 1   | 6           | 7.85                | 0.0                 | 8.4        | 0.0         | 3.00                | 7.5        | 0.9        | 4.85                | 19.8     | 0.0        | 12.55    |

**RO Solute Concentrations - Pass 1**

| Concentrations (mg/L as ion)  |       |             |        |          |        |       |
|-------------------------------|-------|-------------|--------|----------|--------|-------|
|                               | Feed  | Concentrate |        | Permeate |        | Total |
|                               |       | Stage1      | Stage2 | Stage1   | Stage2 |       |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| K <sup>+</sup>                | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| Na <sup>+</sup>               | 83.29 | 158.4       | 409.7  | 0.83     | 3.10   | 1.75  |
| Mg <sup>+2</sup>              | 79.87 | 152.6       | 399.1  | 0.05     | 0.18   | 0.10  |
| Ca <sup>+2</sup>              | 283.8 | 542.2       | 1,418  | 0.19     | 0.71   | 0.40  |
| Sr <sup>+2</sup>              | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| Ba <sup>+2</sup>              | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> | 0.12  | 0.49        | 3.84   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 111.3 | 211.2       | 542.1  | 1.26     | 3.60   | 2.16  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 1.80  | 3.42        | 8.82   | 0.02     | 0.08   | 0.05  |
| F <sup>-</sup>                | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| Cl <sup>-</sup>               | 281.0 | 536.2       | 1,398  | 0.92     | 3.44   | 1.94  |
| Br <sup>-1</sup>              | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | 700.0 | 1,337       | 3,499  | 0.37     | 1.43   | 0.80  |
| PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| SiO <sub>2</sub>              | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| Boron                         | 0.00  | 0.00        | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00  |
| CO <sub>2</sub>               | 14.01 | 14.96       | 18.26  | 12.96    | 13.98  | 13.41 |
| TDS <sup>a</sup>              | 1,541 | 2,942       | 7,678  | 3.65     | 12.55  | 7.20  |
| Cond. μS/cm                   | 2,621 | 4,689       | 10,800 | 8        | 23     | 14    |
| pH                            | 7.0   | 7.2         | 7.4    | 5.3      | 5.7    | 5.5   |

Footnotes:

 \*Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>2</sub> and B. It does not include NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>
**RO Design Warnings**

None

**Special Comments**

None

**RO Flow Table (Element Level) - Pass 1**



| Stage | Element | Element Name | Recovery (%) | Feed Flow (m <sup>3</sup> /h) | Feed Press (bar) | Feed TDS (mg/L) | Conc Flow (m <sup>3</sup> /h) | Perm Flow (m <sup>3</sup> /h) | Perm Flux (LMH) | Perm TDS (mg/L) |
|-------|---------|--------------|--------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| 1     | 1       | BW30HRLE-440 | 9.1          | 15.0                          | 11.2             | 1,542           | 13.6                          | 1.36                          | 33.3            | 2.60            |
| 1     | 2       | BW30HRLE-440 | 9.4          | 13.6                          | 10.6             | 1,695           | 12.4                          | 1.28                          | 31.3            | 2.93            |
| 1     | 3       | BW30HRLE-440 | 9.8          | 12.4                          | 10.1             | 1,870           | 11.2                          | 1.21                          | 29.6            | 3.34            |
| 1     | 4       | BW30HRLE-440 | 10.3         | 11.2                          | 9.6              | 2,073           | 10.0                          | 1.15                          | 28.1            | 3.83            |
| 1     | 5       | BW30HRLE-440 | 11.0         | 10.0                          | 9.2              | 2,310           | 8.90                          | 1.10                          | 26.8            | 4.45            |
| 1     | 6       | BW30HRLE-440 | 11.9         | 8.90                          | 8.9              | 2,594           | 7.85                          | 1.05                          | 25.8            | 5.24            |
| 2     | 1       | BW30HRLE-440 | 12.2         | 7.85                          | 8.4              | 2,942           | 6.89                          | 0.96                          | 23.4            | 6.53            |
| 2     | 2       | BW30HRLE-440 | 13.1         | 6.89                          | 8.2              | 3,350           | 5.99                          | 0.90                          | 22.0            | 8.05            |
| 2     | 3       | BW30HRLE-440 | 14.1         | 5.99                          | 8.0              | 3,852           | 5.15                          | 0.84                          | 20.6            | 10.15           |
| 2     | 4       | BW30HRLE-440 | 15.2         | 5.15                          | 7.8              | 4,481           | 4.36                          | 0.78                          | 19.2            | 13.15           |
| 2     | 5       | BW30HRLE-440 | 16.5         | 4.36                          | 7.7              | 5,283           | 3.64                          | 0.72                          | 17.6            | 17.63           |
| 2     | 6       | BW30HRLE-440 | 17.7         | 3.64                          | 7.6              | 6,322           | 3.00                          | 0.65                          | 15.8            | 24.63           |

**Footnotes:**

\*Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>2</sub> and B. It does not include NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>

**RO Solubility Warnings**

| Warning   | Pass No |
|---|---------|
| Langelier Saturation Index > 0  | 1       |
| CaSO <sub>4</sub> (% saturation) > 100  | 1       |
| Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery. | 1       |

**RO Chemical Adjustments**

|                                      | Pass 1 Feed | RO 1 <sup>st</sup> Pass Conc |
|--------------------------------------|-------------|------------------------------|
| pH                                   | 7.0         | 7.4                          |
| Langelier Saturation Index           | -0.35       | 1.41                         |
| Stiff & Davis Stability Index        | -0.24       | 0.93                         |
| TDS <sup>a</sup> (mg/l)              | 1,541       | 7,678                        |
| Ionic Strength (molal)               | 0.04        | 0.21                         |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) | 111.3       | 542.1                        |
| CO <sub>2</sub> (mg/l)               | 14.01       | 18.25                        |
| CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (mg/L) | 0.12        | 3.84                         |
| CaSO <sub>4</sub> (% saturation)     | 29.6        | 259.6                        |
| BaSO <sub>4</sub> (% saturation)     | 0.00        | 0.00                         |
| SrSO <sub>4</sub> (% saturation)     | 0.00        | 0.00                         |
| CaF <sub>2</sub> (% saturation)      | 0.00        | 0.00                         |
| SiO <sub>2</sub> (% saturation)      | 0.00        | 0.00                         |
| Mg(OH) <sub>2</sub> (% saturation)   | 0.00        | 0.01                         |

**Footnotes:**

\*Total Dissolved Solids includes ions, SiO<sub>2</sub> and B. It does not include NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>



*Information provided is offered in good faith, but without guarantees. Users of such information assume all risk and liability and expressly release DuPont de Nemours Inc. and its subsidiaries, officers and agents from any and all liability. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users of information set forth herein or generated during use of WAVE are responsible for determining suitability of the information. Neither DuPont nor its subsidiaries assume any liability for results obtained or damages incurred from the use of information provided and TO THE FULLEST EXTENT PERMITTED BY LAW, EXPRESSLY DISCLAIM ALL WARRANTIES, EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Users will not export or re-export any information or technology received from DuPont or its subsidiaries, or the direct products or designs based upon such information or technology in violation of the export-control or customs laws or regulations of any country, including those of the United States of America. DuPont™, DuPont Oval Logo, and all products denoted with ® or ™ are trademarks or registered trademarks of DuPont or its affiliates. Copyright © 2020 DuPont. DOWEX™, DOWEX MONOSPHERE™, DOWEX MARATHON™, DOWEX UPCORE™ are a trademark of The Dow Chemical Company used under license by DuPont.*