

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER  
SCHOOL FOR  
HYDRAULICS  
"The Mujahid Abdellah  
ARBAOUT"



المدرسة الوطنية العليا للري  
"المجاهد عبد الله عرباوي"

ⵎⴰⵔⵓⵏⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ ⵙⵉⵎⵓⵔⵉ

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique*

**Option: REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES  
(RENC)**

**THEME :**

**Etude de la performance et vérification de dimensionnement de  
techniques membranaires de la station de dessalement El Magtaa  
Wilaya d'Oran**

**Présenté par :**

Bekkouche Abdeldjalel Mohammed

**Devant les membres du jury**

| Nom et Prénoms         | Grade      | Qualité    |
|------------------------|------------|------------|
| M.HACHEMI Abdelkader   | Professeur | Président  |
| Mme.KHALED HOULI Samia | M.A.A      | Membre     |
| Mme.TAFAT Leila        | M.A.A      | Membre     |
| Mr TOUIL Youcef        | M.C.B      | Membre     |
| Mme BETATACHE          | Hayat      | Promotrice |

**Session Décembre 2025**

# REMERCIEMENT

Je voudrais d'abord de remercier mon Dieu qui m'a donné la force, la volonté et le courage nécessaires pour accomplir ce modeste travail, qui marque un tournant dans ma vie.

J'aimerais dédier une immense appréciation à ma mère, mon père et ma sœur qui m'ont apporté leur soutenance inconditionnelle tout au long mon parcours académique.

Je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude à mon encadrant, Madame Betatach Hayat, pour son accompagnement précieux et ses conseils utiles tout au long de mon travail, ainsi qu'à Madame Saadoun Samra dont les contributions m'ont énormément aidé et Monsieur Kameli Omar El Farouk pour son expertise qui a été d'une grande bénédiction.

Je voudrais également remercier Monsieur Lahrech Amine, ingénieur à la station de dessalement d'eau de mer de El Magtaa (TMM), pour sa disponibilité constante, son dynamisme et ses compétences techniques dans le domaine pratique, qui m'ont été d'une aide immense.

Je tien à exprimer mes remerciements à toute l'équipe de TMM pour leur accueil chaleureux au sein de l'usine et pour m'avoir intégré avec bienveillance tout au long des mois de mon stage.

Je souhaite également adresser mes remerciements à l'ensemble de mes professeurs de l'ENSH pour la qualité de leurs enseignements et pour tous les efforts qu'ils ont fournis afin de contribuer à notre développement intellectuel.

Je souhaite un merci particulier aux membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer mon travail.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de mon travail, et m'ont aidé à le mener à bien.

## ملخص :

الجزائر هي إحدى الدول التي تعاني من نقص كبير في المياه العذبة وتتفاقم بسبب ندرة موارد المياه التقليدية، ولهذا السبب تبرز تحلية المياه اليوم كحل حاسم لتلبية الاحتياجات المتزايدة لمياه الشرب.

قمنا في هذه المذكرة بإجراء دراسة معمقة حول أداء محطة تحلية المقطع بولاية وهران وهي محطة رئيسية يبلغ معدل إنتاج مياه الشرب فيها 500.000 م<sup>3</sup>/يوم، وتم التركيز على تشغيل تقنيات الأغشية وخاصة تكنولوجيا التناضح العكسي التي تعد قلب العملية داخل الشركة. قمنا بتحديد حجم نظام التناضح العكسي النظري والمحاكاة، ثم قمنا بتحسين نظام الذي يتضمن وجود مرحلة ثانية، والتي تعمل على زيادة معدل التحويل حتى 55٪ ونتيجة لذلك ستكون السعة الحالية 617760 م<sup>3</sup>/يوم، وبعد ذلك قمنا بدمج نظام استعادة الطاقة لتقليل تكاليف الاستهلاك الطاقوي، وأخيرا اختتمنا الاطروحة بحساب تقديري جيد لتكلفة مشروعنا

**الكلمات المفتاحية :** تحلية مياه البحر، التناضح العكسي، فلاش متعدد المراحل، الضغط التناضحي، النفاذية، الجودة، برنامج المحكاة توراي.

## Résumé :

L'Algérie est l'un des pays qui sont confortés par une pénurie significative en eau douce et accentué par la rareté des ressources d'eau conventionnelle, c'est pourquoi le dessalement s'impose aujourd'hui comme une solution cruciale pour répondre aux besoins croissants en eau potable.

Dans ce mémoire nous avons établi une étude profonde sur la performance de la station de dessalement El Magtaa dans la wilaya d'Oran qui est une station majeure avec un débit de production d'eau potable de 500 000 m<sup>3</sup>/jour, l'accent a été mis sur le fonctionnement de techniques membranaires notamment la technologie d'osmose inverse qui est le cœur de l'opération au sein de la société. Nous avons établi un dimensionnement du système d'osmose inverse à la chaîne théorique et simulatrice, puis nous avons fait une optimisation du système OI quelle s'agit d'avoir un deuxième étage, qui sert à augmenter le taux de conversion jusqu'à 55% et par conséquent la capacité actuelle sera 617 760 m<sup>3</sup>/jour, par la suite nous avons intégré le système de récupération d'énergie d'échanger de pression PX pour réduire les coûts de consommation énergétique. Enfin nous avons conclu le mémoire par un bon calcul estimatif du coût de notre projet.

**Mots-clés :** dessalement de l'eau de mer, osmose inverse, flash multi-étages, pression osmotique, perméabilité, qualité, logiciel chimie TORQY.

## **Abstract :**

---

Algeria is one of the countries which is confronted by a significant shortage of fresh water and accentuated by the scarcity of conventional water resources, which is why desalination is emerging today as a crucial solution to meet the growing needs for drinking water.

In this thesis we established an in-depth study on the performance of the El Magtaa desalination station in the wilaya of Oran which is a major station with a drinking water production rate of 500,000 m<sup>3</sup>/day, the emphasis was placed on the operation of membrane techniques in

particular reverse osmosis technology which is the heart of the operation within the company.

We established a sizing of the theoretical and simulating chain reverse osmosis system, then we made an optimization of the RO system which involves having a second stage, which serves to increase the conversion rate up to 55% and as a result the current capacity will be 617,760 m<sup>3</sup>/day, subsequently we integrated the PX pressure exchange energy recovery system to reduce energy consumption costs. Finally, we concluded the thesis with a good estimated calculation of the cost of our project.

**Keywords:** seawater desalination, reverse osmosis, multi-stage flash, osmotic pressure, permeability, quality, TORAY chemistry software.

## SOMMAIRE

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Introduction Générale..... | 1 |
|----------------------------|---|

### **CHAPITRE I : Les Ressources hydriques et le dessalement**

|                                              |   |
|----------------------------------------------|---|
| I.1. Introduction.....                       | 2 |
| I.2. Les ressources d'eau en Algérie.....    | 2 |
| I.3. Dessalement en Algérie.....             | 2 |
| I.4. Histoire de dessalement en Algérie..... | 3 |
| I.5. Conclusion .....                        | 3 |

### **CHAPITRE II : Le dessalement et la technologie d'osmose inverse**

|                                                       |   |
|-------------------------------------------------------|---|
| II.1. Introduction .....                              | 4 |
| II.2. Osmose inverse.....                             | 4 |
| II.3. Les types de membranes.....                     | 4 |
| II.3.1. Selon la structure .....                      | 4 |
| II.3.1.1. Membranes isotropes.....                    | 4 |
| II.3.1.2. Membranes anisotropes .....                 | 4 |
| II.3.1.3. Membranes composites .....                  | 5 |
| II.3.2. Selon la composition chimique.....            | 5 |
| II.3.2.1. Membrane en acétate de cellulose .....      | 5 |
| II.3.2.2. Membrane en polyamide .....                 | 5 |
| II.3.2.3. Membranes en poly-sulfone .....             | 5 |
| II.3.3. Selon leur configurations (les modules) ..... | 5 |
| II.3.2.1. Modules tubulaires .....                    | 5 |
| II.3.2.2. Modules à fibre creuses .....               | 5 |
| II.3.2.3. Modules à plaques .....                     | 6 |
| II.3.2.4. Modules spiralés .....                      | 6 |
| II.4. Conclusion .....                                | 6 |

### **CHAPITRE III : Présentation de zone d'étude**

|                                                                    |   |
|--------------------------------------------------------------------|---|
| III.1. Introduction .....                                          | 7 |
| III.2. La localisation géographique .....                          | 7 |
| III.2.1 Les bordures : .....                                       | 7 |
| III.3. Analyse physico-chimique d'eau de mer de la zone .....      | 8 |
| III.4. Le fonctionnement de la station de dessalement Magtaa ..... | 8 |
| III.5. Prétraitement .....                                         | 9 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.6. INTAKE (Prise d'eau de mer) :                                               | 9  |
| III.6.1. Pipelines :                                                               | 9  |
| III.6.2. Système de protection cathodique                                          | 9  |
| III.6.3. Dégrillage                                                                | 10 |
| III.6.4. Tamisage                                                                  | 10 |
| III.6.5. Système de chloration de la prise d'eau de mer                            | 10 |
| III.6.6. Système de pompage                                                        | 11 |
| III.7. Ultrafiltration UF                                                          | 11 |
| III.7.1. Retro-lavage (Back Wash)                                                  | 12 |
| III.7.2. Lavage chimique (CIP - Cleaning in Place)                                 | 13 |
| III.7.2.1. Étapes du CIP (Clean-In-Place)                                          | 13 |
| III.8. Traitement par Osmose Inverse (Reverse Osmosis-RO)                          | 14 |
| III.8.1. Système de pompage d'osmose inverse                                       | 15 |
| III.8.2. Système de récupération d'énergie (ERS)                                   | 15 |
| III.8.3. Système de dosage antitartre                                              | 15 |
| III.8.4. Système de dosage du méta bisulfite de sodium                             | 16 |
| III.8.5. Système de rinçage de l'alimentation SWRO                                 | 16 |
| III.8.6. Système de rinçage du faible total de solides dissous SWRO                | 16 |
| III.8.7. Système de nettoyage-en-place (CIP) SWRO                                  | 16 |
| III.8.7.1. Entartrage                                                              | 16 |
| III.8.7.2. Encrassement                                                            | 17 |
| III.8.7.3. Les étapes de CIP                                                       | 17 |
| III.9. Post-traitement                                                             | 18 |
| III.9.1. Système de dosage de l'hypochlorite de sodium (post-chloration)           | 18 |
| III.9.2. La reminéralisation (Système de dosage du CO <sub>2</sub> et de la chaux) | 19 |
| III.9.2.1. Les étapes de Reminéralisation                                          | 19 |
| III.10. Stockage et transport de l'eau produite                                    | 20 |
| III.11. Système de neutralisation et de décharge                                   | 21 |
| III.11.1. Fonctionnement général du système de neutralisation                      | 22 |
| III.11.2. Séquence de neutralisation                                               | 22 |
| III.12. Conclusion                                                                 | 22 |

## **CHAPITRE IV : Dimensionnement et analyse du système d'osmose inverse**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| IV.1. Introduction                                   | 23 |
| IV.2. Bilan hydraulique de la station de dessalement | 23 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.3. Dimensionnement de l'installation d'osmose inverse .....              | 23 |
| IV.3.1. Calcul de critique de quantité d'eau .....                          | 24 |
| IV.3.2. Paramètres standards des membranes : .....                          | 25 |
| IV.3.3. Les étapes de calcul : .....                                        | 26 |
| IV.4. La simulation avec le logiciel TORAY .....                            | 32 |
| IV.5. Le processus d'optimisation d'osmose inverse par logiciel TORAY ..... | 32 |
| IV.5.1. Les étapes de conception .....                                      | 32 |
| IV.5.2. Les résultats de simulation .....                                   | 42 |
| IV.6. Conclusion .....                                                      | 48 |

## **CHAPITRE V : Optimisation du système d'osmose inverse**

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| V.1. Introduction.....                                                                                         | 49 |
| V.2. Recommandations techniques pour l'optimisation du système de dessalement.....                             | 49 |
| V.3. Evaluation primaire de la performance d'une unité RO .....                                                | 49 |
| V.4. Etapes dévaluation .....                                                                                  | 50 |
| V.5. Les résultats d'analyse physico-chimique d'eau d'alimentation et perméat par la station El Magtaa : ..... | 54 |
| V.6 La configuration en deux étages .....                                                                      | 56 |
| V.6.1 Le choix de nombre des étages .....                                                                      | 56 |
| V.6.2 Le calcul le nombre des éléments .....                                                                   | 57 |
| V.6.3. Le Calcul du nombre de tubes de pression : .....                                                        | 57 |
| V.6.4. Le Choix du rapport d'etagement .....                                                                   | 57 |
| V.6.5. Les résultats finaux de simulation.....                                                                 | 58 |
| V.6.6 Le choix d'une Pompe boost.....                                                                          | 64 |
| V.6.7 L'installation d'un échangeur de pression .....                                                          | 66 |
| V.7. Conclusion .....                                                                                          | 67 |

## **CHAPITRE VI : Estimation du coût d'investissement**

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| VI.1. Introduction.....                                   | 68 |
| VI.2. Calcul économique.....                              | 68 |
| VI.3. Estimation des coûts d'investissement.....          | 68 |
| VI.3.1. Coût d'investissement de prétraitement .....      | 68 |
| VI.3.2. Coût d'investissement de réservoirs .....         | 68 |
| VI.3.3. Coût de l'équipement principal et auxiliaire..... | 69 |
| VI.3.4. Coût imprévu.....                                 | 69 |
| VI.4. Coût d'exploitation .....                           | 70 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| VI.4.1. Coût de consommation énergétique .....                                      | 70 |
| VI.4.2. Charge personnelle.....                                                     | 70 |
| VI.4.3. Coût d'entretien.....                                                       | 70 |
| VI.4.4. Coût de changement des membranes d'osmose inverse et d'ultrafiltration..... | 70 |
| VI.5. Coût global de la station.....                                                | 71 |
| VI.6. Montant total avec la TVA (Taxe à la Valeur Ajoutée).....                     | 71 |
| VI.7. Prix unitaire de mètre cube d'eau traité .....                                | 71 |
| VI.8. Conclusion .....                                                              | 71 |

## Conclusion générale

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Conclusion générale ..... | 72 |
|---------------------------|----|

## List des figures

### CHAPITRE II : Le dessalement et la technologie d'osmose inverse

|                                                |   |
|------------------------------------------------|---|
| Figure II. 1 : Membrane d'osmose inverse ..... | 4 |
|------------------------------------------------|---|

### CHAPITRE III : Présentation de zone d'étude

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure III. 1 : Image satellite de la wilaya d'Oran 35°42'00" Nord et 0°38'00" Ouest..... | 7  |
| Figure III. 2 : Schéma de procédé de la station de Magtaa .....                           | 9  |
| Figure III. 3 : Grilles de CBS .....                                                      | 10 |
| Figure III. 4 : système de pompage de prise d'eau.....                                    | 11 |
| Figure III. 5 : le système d'ultrafiltration .....                                        | 12 |
| Figure III. 6 : Le system d'Osmose Inverse (RO).....                                      | 14 |
| Figure III. 7 : Réservoir de stockage de CO2.....                                         | 20 |
| Figure III. 8 : Système de post-traitement.....                                           | 20 |
| Figure III. 9 : Réservoir de stockage .....                                               | 21 |

### CHAPITRE IV : Dimensionnement et analyse du système d'osmose inverse

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV. 1 : Fenêtre initiale du logiciel TORAY .....                                              | 32 |
| Figure IV. 2 : Fenêtre remplie de Projet Information .....                                           | 33 |
| Figure IV. 3 : Les différents types d'eau d'alimentation proposé par TORAY .....                     | 34 |
| Figure IV. 4 : Les paramètres de l'eau de l'alimentation .....                                       | 34 |
| Figure IV. 5 : Les ions de l'eau de l'alimentation .....                                             | 35 |
| Figure IV. 6 : Les unités de système.....                                                            | 36 |
| Figure IV. 7 : L'interface générale du logiciel.....                                                 | 37 |
| Figure IV. 8 : TORAY Design Guideline .....                                                          | 38 |
| Figure IV. 9 : TORAY Element Selection Tool .....                                                    | 39 |
| Figure IV. 10 : Les caractéristiques de la membrane TM820R-440 .....                                 | 39 |
| Figure IV. 11 : Configuration d'étage en fonction le taux de conversion TORAY .....                  | 39 |
| Figure IV. 12 : Configuration des nombres de tubes de pression et membranes .....                    | 40 |
| Figure IV. 13 : La conception de schéma du système d'osmose inverse sans récupération d'énergie..... | 40 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV. 14 : Le schéma de conception du système d'osmose inverse avec récupération d'énergie à 17°C..... | 41 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## **CHAPITRE V : Optimisation du système d'osmose inverse**

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure V. 1 : La configuration de systèmes .....                                          | 50 |
| Figure V. 2 : Les paramètres de la performance de systèmes.....                           | 51 |
| Figure V. 3 : Le débit de Perméat normalisé .....                                         | 52 |
| Figure V. 4 : Le passage de sels normalisé.....                                           | 53 |
| Figure V. 5 : La pression différentielle normalisée .....                                 | 54 |
| Figure V. 6 : Le schéma de système d'osmose inverse .....                                 | 58 |
| Figure V. 7 : Le schéma de conception d'un système d'osmose inverse en 2 étages à 17 °C.. | 59 |

## **List des Tableaux**

### **CHAPITRE III : Présentation de zone d'étude**

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tableau III. 1 : Qualité d'eau de mer de conception .....      | 8  |
| Tableau III. 2 : les durées recommandées de rétro lavage ..... | 12 |
| Tableau III. 3 : les durées recommandées de RO CIP .....       | 18 |
| Tableau III. 4 : paramètres d'eau portable .....               | 18 |

### **CHAPITRE IV : Dimensionnement et analyse du système d'osmose inverse**

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau IV. 1 : Les analyses d'eau de mer après le prétraitement.....                      | 24 |
| Tableau IV. 2 : Les résultats de calcul la balance ionique.....                            | 25 |
| Tableau IV. 3 : Les caractéristiques de membrane TM820R-440 .....                          | 25 |
| Tableau IV. 4 : Les résultats de calcul de la molalité .....                               | 26 |
| Tableau IV. 5 : Les concentrations d'eau d'alimentation, d'eau produit et d'eau rejet..... | 32 |
| Tableau IV. 6: Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage à 17 °C .....     | 42 |
| Tableau IV. 7 : Les résultats générales de la simulation du système à 17 °C .....          | 42 |
| Tableau IV. 8 : L'analyse chimique d'eaux de système osmose inverse à 17 °C.....           | 43 |
| Tableau IV. 9 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage à 15°C .....     | 45 |
| Tableau IV. 10 : Les résultats générales de la simulation par logiciel TORAY à 15°C.....   | 45 |
| Tableau IV. 11 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage à 30°C.....     | 47 |
| Tableau IV. 12 : Les résultats générales de simulation par logiciel TORAY à 30 °C.....     | 47 |

### **CHAPITRE V : Optimisation du système d'osmose inverse**

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau V. 1 : quelques recommandations pour l'optimisation de systèmes de dessalement MAGTAA..... | 49 |
| Tableau V. 2 : L'analyse physique d'eau de mer et d'eau traitée (perméat).....                     | 54 |
| Tableau V. 3 : Le nombre d'étages en traitement d'eau de mer .....                                 | 56 |
| Tableau V. 4 : Les résultats générales de la simulation du système par logiciel TORAY à 17°C ..... | 59 |
| Tableau V. 5 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage 1 et 2 à 17°C.....        | 60 |
| Tableau V. 6 : Les résultats générales de la simulation du système par logiciel TORAY à 15°C ..... | 61 |
| Tableau V. 7 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage 1 et 2 à 15°C.....        | 62 |
| Tableau V. 8 : Les résultats générales de la simulation du système par logiciel TORAY à 30°C ..... | 63 |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau V. 9 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage 1 et 2 à 30°C..... | 64 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## **CHAPITRE VI : Estimation du coût d'investissement**

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau VI. 1 : Le coût d'investissement de prétraitement .....             | 68 |
| Tableau VI. 2 : Le coût d'investissement de réservoir .....                 | 68 |
| Tableau VI. 3 : Le coût d'investissement de systèmes d'osmose inverse ..... | 69 |
| Tableau VI. 4 : Le coût d'investissement de systèmes de pompage .....       | 69 |
| Tableau VI. 5 : Le coût de la charge personnelle .....                      | 70 |

## **Liste d'abréviation**

CIP : Cleaning In Place

kWh : Kilo watt heure

MES : Matières En Suspension

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

OI : Osmose Inverse

PH : Potentiel hydrogène

PPM : partie par million

PX : Echangeur de pression

SDI : Indice de colmatage

SDT : Solides Dissous Totaux

SST : Solides en Suspension Totale

ERI : Système Échangeur Rotatif d'Energie

DWEER : Dual Work Exchanger Energy Recovery

SMBS : Métabisulfite de sodium

CBS : Coarse Bar Screens

TBS : Travelling Band Screens

FRP : Fibre-reinforced plastic

LTDS : faible teneur en solides dissous

HP : Pompe haute pression

PCV : Soupape de régulation de pression

# Introduction Générale

L'eau est un élément crucial dans la vie, jouant un rôle essentiel dans l'évolution et le développement des êtres vivants. Cependant plusieurs facteurs tels que la répartition inégale des ressources, la pollution de masses d'eau, la croissance démographique ainsi que et les périodes de sécheresse sévères intensifiés par le changement climatique, se cumulant et rendent la problématique de la raréfaction de sources en eau, en particulier l'eau douce critique ces dernières décennies.

Plusieurs pays sont confortés par la pénurie d'eau, notamment les pays développés. L'Algérie face à ce stress hydrique a mis en place depuis plusieurs années une stratégie globale et rigoureuse, investissement massivement dans le secteur de dessalement d'eau de mer. Afin de répondre à ses besoins en eau.

Parmi les installations majeures de dessalement en Algérie est la station de dessalement El Magtaa de la wilaya d'Oran dans la commune Mers El Hadjadj de qui fait l'objet de notre mémoire. Nous avons mené une analyse approfondie de performance et du fonctionnement de la station. En insistant sur les techniques membranaires notamment la technologie d'osmose inverse. Nous avons réalisé un dimensionnement du système d'osmose inverse selon deux approches complémentaires théorique et simulé à l'aide du logiciel de simulation TORAY permettant une meilleure compréhension du fonctionnement de cette technologie membranaire. Par la suite nous avons optimisé le système en intégrant un deuxième étage pour augmenter le taux de conversion de plus nous avons intégré un dispositif de récupération d'énergie pour réduire les coûts de consommation énergétique. Enfin un calcul estimatif de coûts d'investissement a été élaboré.

Pour atteindre l'objectif d'étude, notre mémoire est défini par d'abord une introduction sur les ressources hydriques et la situation de dessalement en Algérie, ensuite nous avons établis une étude bibliographique concernant les technologies de dessalement notamment la technologie d'osmose inverse et nous avons fait une vérification de dimensionnement de l'unité d'osmose inverse en implémentant deux méthode l'une est théorique et l'autre est basé sur le logiciel de simulation TORAY, ensuite nous avons établis une optimisation pour le système d'osmose inverse afin améliorer le performance et l'efficacité de traitement, et une estimation d'investissement de notre projet .

Enfin, nous avons une conclusion générale pour résumer notre étude.

**CHAPITRE I :**  
**Les Ressources hydriques et le dessalement en**  
**Algérie**

## **I.1. Introduction :**

Il est important de connaître que l'eau joue un rôle crucial dans la vie sur notre planète et notre quotidien, spécifiquement l'eau douce qui est indispensable pour la société et la santé humaine, où elle joue un rôle important dans les domaines quotidiens, industrielles, alimentaires et sanitaires.

A cause de la rareté et la mauvaise distribution d'eau douce, une croissance démographique continue (ce qui signifie une consommation croissante), les conséquences de changement climatique et exploitation abusive, nous devons rechercher des solutions alternatives pour combattre la pénurie d'eau, l'un de ces solutions est le dessalement en général et osmose inverse pour notre étude.

Le dessalement est une technologie qui sert à exploiter l'eau salée qui représente 97% de l'eau sur la surface de la Terre, et par conséquent nous pouvons minimiser la dépendance sur les ressources d'eau douce qui sont limitées, et parfois difficiles à exploiter.

La technologie de dessalement est fiable et stable, offre une eau potable qui suit les normes avec une façon indépendante des conditions météorologiques qui ont des influences négatives sur les sources traditionnelles.

## **I.2. Les ressources d'eau en Algérie :**

En l'Algérie, l'eau possède une caractéristique critique pour le développement de pays à cause de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré, Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les sources sont limitées.

Les potentialités hydriques sont actuellement évaluées à 16,3 milliards de m<sup>3</sup> :

- 9,8 milliards de m<sup>3</sup> d'eau superficielle
- 1,5 milliards de m<sup>3</sup> d'eau souterraine dans la région Nord
- 5 milliards de m<sup>3</sup> d'eau souterraine dans la région du Sahara septentrional.

Les disponibilités de ces ressources par habitant en année moyenne sont connues une diminution, en 1962 ils étaient 1500 m<sup>3</sup>/hab./an pour une population de 11,77 millions d'habitants, en 1990 ils étaient 720 m<sup>3</sup>/hab./an pour une population de 25.38 million d'habitants, en 1998 ils étaient 630 m<sup>3</sup>/hab./an pour une population de 30.05 million d'habitants, en 2013 ils étaient 500 m<sup>3</sup>/hab./an pour une population de 38.41 million d'habitants et passera en 2020 avec une population d'environ 44 millions d'habitants, à 261m<sup>3</sup> /hab./an.

Malgré le développement des infrastructures et les modifications dans le secteur, la mobilisation d'eau est réduite à 430 m<sup>3</sup>/h/an en 2020 à cause de la base pluviométrique qui est le résultat du changement climatique, c'est la raison pour l'orientation de l'Algérie vers le secteur de dessalement.[1]

## **I.3. Dessalement en Algérie :**

À cause de la pénurie d'eau l'Algérie a décidé de réduire sa dépendance vis-à-vis des aléas climatiques et investir massivement dans le secteur de dessalement pour assurer le développement socio-économique du pays, c'est pourquoi l'Algérie est le premier pays africains dans ce domaine, la production d'eau est environ 2.1 millions m<sup>3</sup>/j avec 14 stations de dessalement réparties sur le côtier algérien, et avec l'investissement continue la production va

augmenter à 3.6 millions m<sup>3</sup>/ avec l'addition de 5 nouvelles stations (chacune a une capacité de 300 000 m<sup>3</sup>/j) en 2025 et à l'horizon futur l'Algérie veut avoir 25 stations en service, c'est dans la vision à long terme établis par la gouvernement algérienne.[2]

#### **I.4. Histoire de dessalement en Algérie :**

Le secteur de dessalement d'eau de mer en Algérie était lié au secteur industriel et au développement du secteur pétrolier, initialement l'utilisation de cette technique pour l'usage domestique était presque nulle, sauf dans un cas exceptionnel, c'était le cas de l'unité de déminéralisation d'Ouled Djellal dans la wilaya de Biskra (sud-est algérien).

Dans le domaine industriel, le dessalement est utilisé pour la fourniture d'eau pour : Des chaudières, des systèmes de refroidissements et de traitement, la première installation était en 1964, 3 petits blocs de 8 m<sup>3</sup>/h chacun a été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew, le procédé était à « tubes submergés » à base pression, une autre installation à Arzew avec une capacité de 4560 m<sup>3</sup>/j. Le procédé utilisé est MSF, d'autres installations de dessalement déminéralisation en raison de la nécessité d'eau extra pure pour la production d'énergie électrique (Cap d'Janet à l'est d'Algérie) et les industries de liquéfaction (Arzew et Skikda), ensuite plusieurs stations ont été destinées à la consommation humaine.[3]

#### **I.5. Conclusion :**

À cause de plusieurs facteurs notamment le changement climatique, le stress hydrique devient une problématique auquel de nombreux pays du monde sont confrontés quand il s'agit d'acquérir l'eau potable. C'est pour ça plusieurs régions dont l'Afrique, le Moyen Orient, l'Australie étaient orienté vers le dessalement comme une solution alternative efficace et fiable. Cet intérêt a causé un développement technologique rapide avec des grands succès dans le domaine.

L'une de ces pays qui sont orientés vers le dessalement était l'Algérie, qui à cause de pics de sécheresse pendant les années passées a décidé d'établir une stratégie d'une priorité nationale pour la lutte contre le stress hydrique. L'Algérie a lancé des installations de dessalement d'eau de mer et les eaux saumâtres encadrés dans un vaste programme en un développement continue qui sert à atteindre un 60% de taux de satisfaction des besoins en l'eau potable. Le dessalement a devenu un pilier essentiel de la lutte contre le stress hydrique, offrant une fiabilité et sécurité hydrique sur le long terme.

## **CHAPITRE II :**

### **La technologie d'osmose inverse**

## II.1. Introduction :

À cause du stress hydrique et la réduction des ressources en eau douce, l'eau méditerranée deviens une source stratégique et cruciale pour plusieurs pays qui sert à l'exploiter en utilisant installations de dessalement, les procédés principales de dessalement utilisés sont soit techniques membranaires, soit techniques thermiques, chacune de ces méthodes procède certaines caractéristiques techniques, avantages, inconvénients et domaines d'application

## II.2. Osmose inverse :

L'osmose inverse est un processus de filtration membranaire qui permet de séparer sélectivement des éléments avec une taille supérieure à  $0.001\ \mu\text{m}$ , cela permet d'éliminer sels inorganiques, matières en suspension, gaz dissous et matières organiques, tandis que l'eau traverse les membranes semi-perméables, elle est considérée la technique membranaire la plus efficace, le système est généralement simple il se compose de d'une alimentation en eau, d'un flux perméable et d'un flux de rejet, le prétraitement est nécessaire pour éliminer les solides en suspension et les matières inorganiques en raison de minimiser la fréquence des colmatages et prolonger la durée de vie des membranes. [4]

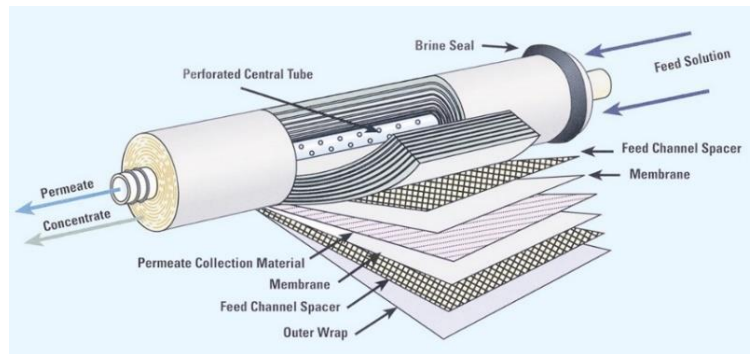


Figure II. 1 : Membrane d'osmose inverse [4]

## II.3. Les types de membranes :

Les membranes sont classifiées en fonction de drivers aspects : la forme, structure, matériaux de fabrications.....etc.

### II.3.1. Selon la structure :

On peut distinguer trois types qui sont

#### II.3.1.1. Membranes isotropes :

Ils sont appelés aussi membranes symétriques dont les propriétés structurales sont uniformes et constantes sur tous leur épaisseur de la cartouche, elles sont constituées par un seul matériau avec une distribution uniforme des pores.

#### II.3.1.2. Membranes anisotropes :

Ils sont appelés aussi membranes asymétriques dont les propriétés structurales varient toute l'épaisseur, de la surface vers l'intérieur de la membrane, elles sont constituées par un seul matériau de porosité variable

### **II.3.1.3. Membranes composites :**

Elles sont constituées par un assemblage de plusieurs matériaux de porosités différentes

### **II.3.2. Selon la composition chimique :**

Les types des membranes d'osmose inverse en termes de composition chimique sont :

#### **II.3.2.1. Membrane en acétate de cellulose :**

Ils sont des membranes qui sont fabriquées à partir d'un dérivé de la cellulose (un glucide complexe qui est le principale composant de la structure cellulaire des végétaux), où certains groupements hydroxyles par de groupes acétate, elles sont connues par une bonne résistance mécanique et certaine stabilité chimiques notamment contre le chlore et elles sont généralement moins chères

#### **II.3.2.2. Membrane en polyamide :**

Elles sont fabriquées à partir des polymères contenant des liaisons chimiques amides (-CONH-) à cause des certaines limites des membranes en acétate de cellulose, elles sont généralement plus stables sur un grand intervalle de pH (4-11) avec un flux plus grand et une grande résistance aux attaques biologiques, mais elles sont susceptibles à l'oxydation et moins résistent au chlore

#### **II.3.2.3. Membranes en poly-sulfone :**

Elles sont fabriquées à partir d'un polymère thermoplastique appelé poly-sulfone (PSU), cela donne un grand degré de stabilité thermique et chimique, avec une tolérance à un large gamme de pH, et à cause de leur caractère hydrophobe elles sont sensibles au colmatage par adsorption de molécules organiques.

### **II.3.3. Selon leur configurations (les modules) :**

Pour utiliser les membranes on doit les intégrer dans des supports appelés modules, ces modules sont :

#### **II.3.3.1. Modules tubulaires :**

Les membranes tubulaires, soit en matériaux organiques ou minéraux, sont placées les unes à côté des autres en parallèle dont le diamètre est entre 5 à 15 mm, Elles sont bien scellées à leurs extrémités pour éviter que l'eau ne s'échappe. L'eau à traiter passe à l'intérieur des tubes, pendant que l'eau propre, appelée perméat, est récupérée à l'extérieur et les impuretés concentrées restent à l'intérieur et sont évacuées à l'autre bout, elles sont connues par un faible colmatage, et elles sont efficaces pour le traitement des fluides chargées ou visqueux et sa surface membranaire optimisée, malgré que la consommation d'énergie importante et la compacité est très faible. [5]

#### **II.3.3.2. Modules à fibre creuses :**

Un ensemble de fibres creuses, mesurant de quelques centimètres à un mètre de longueur, avec un diamètre d'environ 100 à 20  $\mu\text{m}$ , formant un faisceau d'un diamètre inférieur à 3mm. Ces fibres sont assemblées en parallèle selon deux configurations possibles soit en Intérieur-Extérieur (Int-Ext) soit en Extérieur-Intérieur (Ext-Int) : la solution circule à l'extérieur des [6]

#### **II.3.3.3. Modules à plaques :**

Les membranes sont montées de chaque côté de cadres rigides, ce qui les rend très faciles à manipuler pour le nettoyage ou le remplacement. Cette configuration offre une bonne souplesse d'utilisation mais, ces systèmes ne sont pas idéals pour gros débits, elles ont une tendance à s'encrasser rapidement, et nécessitent souvent une étape de préfiltration pour fonctionner correctement.

#### **II.3.3.4. Modules spiralés :**

C'est une membrane plate qui est enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui récupère l'eau filtrée. Cela forme un cylindre en plusieurs couches, où le perméat suit un parcours en spirale pour aller vers le tube central, tandis que l'eau à traiter circule en ligne droite à travers les canaux. Ce type de module enroulé est très courant dans les installations d'osmose inverse. [7]

#### **II.4. Conclusion :**

Grâce à le développement technologique il existe plusieurs techniques qui sert à exploiter l'eau de mer et les eaux saumâtres afin de produire l'eau potable. Ce développement a aussi aidé de réduire les coûts de dessalement pendant les années, donc de plus en plus le dessalement devient une option préférable pour la production en eau potable.

Nous avons maintenant une variété des techniques de dessalement notamment la technologie d'osmose inverse qui de plus en plus devient le choix le plus favorable grâce à sa fiabilité et efficacité, la performance de cette technique dépend de plusieurs variables tels que tels que le type de membrane, la qualité d'eau d'alimentation, facteurs environnementaux, l'incorporation des systèmes de récupération d'énergie.....etc. Tous ces facteurs doivent être pris en considération pour assurer un usage optimal d'osmose inverse.

**CHAPITRE III :**  
**Présentation de la SDEM d'el Magtaa**

### III.1. Introduction :

Ce chapitre présente la station de dessalement de Mgtaa. Il décrit la localisation géographique, les conditions d'implantation, les principales caractéristiques techniques, ainsi que l'organisation des installations et les procédés mis en œuvre.

La station est une usine de production d'eau potable à partir d'eau de mer, dotée d'une capacité de production de 500 000 m<sup>3</sup>/jour, destinée à alimenter les trois wilayas d'Oran, Relizane et Mascara, elle intègre des technologies de pointe, notamment des systèmes membranaires d'ultrafiltration (UF) et d'osmose inverse (OI).

### III.2. La localisation géographique :

La wilaya d'Oran est située au nord-ouest algérien, elle se trouve à 432 km de la capitale d'Alger, elle se trouve au fond d'une baie ouverte au nord sur le golf d'Oran avec une longueur de 98 km et son relief est composé d'une bordure côtière de la mer méditerranée, de collines, d'une basse plaine littorale et d'un plateau, avec une altitude moyenne d'environ 106 mètres, et une superficie de 2 114 km<sup>2</sup>, Oran est considéré comme une ville importante dans la région de Maghreb et la deuxième ville d'Algérie.



Figure III. 1 : Image satellite de la wilaya d'Oran 35°42'00" Nord et 0°38'00" Ouest.

#### III.2.1 Les bordures :

- **Au nord** : mer méditerranée
- **Au sud** : wilaya de mascara
- **A l'ouest** : wilaya d'Aïn Témouchent
- **Au sud-ouest** : Wilaya de Sidi Bel Abbès
- **A l'est** : Wilaya de Mostaganem

La capacité de production d'eau potable de la station est d'environ 500 000 m<sup>3</sup>/j, répartie en deux flux (STREAM-1 et STREAM-2), en assurant une production de 250 000 m<sup>3</sup>/jour pour chacun, les deux flux sont généralement indépendants l'un de l'autre, bien qu'ils partagent

certains points communs, les deux flux sont en parallèle avec certains équipements en commun limité, même un grand accident (par exemple feu) n'affectera qu'un flux

La station de dessalement d'eau de mer de Magtaa (SDEMM) fonctionne selon un système d'exploitation de type "N+1", ce qui signifie que pour "N" équipements nécessaires au fonctionnement, un équipement supplémentaire est prévu en réserve. Ce concept garantit une production continue et sécurisée, même en cas de défaillance d'un composant essentiel.

### III.3. Analyse physico-chimique d'eau de mer de la zone :

Nous avons établi des analyses physico-chimiques de l'eau de mer de la station de dessalement, ces analyses sont très importantes pour connaître la qualité d'eau d'alimentation qui ont une influence sur le processus d'osmose inverse et la qualité d'eau de perméat.

D'après les analyses établis, nous pouvons remarquer que l'eau de mer présente une forte salinité et par conséquent une forte conductivité, ce qui représente un grand défi en ce qui concerne le processus d'osmose inverse. On remarque aussi également une forte présence de matière organique, ce qui nécessite de ce fait un pré-traitement efficace

**Tableau III. 1 : Qualité d'eau de mer de conception [8]**

| Paramètres    | Unités | Minimum | Maximum |
|---------------|--------|---------|---------|
| Température   | °C     | 14      | 26      |
| SDT           | mg/l   | 35000   | 39000   |
| SST           | mg/l   | 1       | 10      |
| Hydrocarbures | mg/l   | N/A     | <0.05   |
| Chlore        | mg/l   | 19000   | 22000   |
| Calcium       | mg/l   | N/A     | 490     |
| Sulfate       | mg/l   | N/A     | 3200    |
| Strontium     | mg/l   | N/A     | 10      |
| Baryum        | mg/l   | N/A     | 0.3     |
| Magnésium     | mg/l   | N/A     | 1550    |
| Bore          | mg/l   | N/A     | 5.0     |
| Bicarbonate   | mg/l   | 130     | 135     |
| pH            | /      | 7.8     | 8.2     |
| COT           | mg/l   | 0.1     | 0.5     |

### III.4. Le fonctionnement de la station de dessalement Magtaa :

La station de dessalement El Magtaa utilise plusieurs étapes clés pour le dessalement d'eau de mer, commençant par la partie de prétraitement qui dépend de l'élimination des matières grossières, colloïdales, organiques... etc., afin de protéger les équipements et minimiser le colmatage pour les membranes, Cette partie comprend une filtration grossière et des membranes d'ultrafiltration à basse pression, Ensuite on a la deuxième partie de traitement qui dépend des techniques membranaires, avant de passer par un post-traitement, qui permet d'ajuster le pH, de désinfecter et aussi de reminéraliser l'eau traitée, la rendant apte à la consommation.

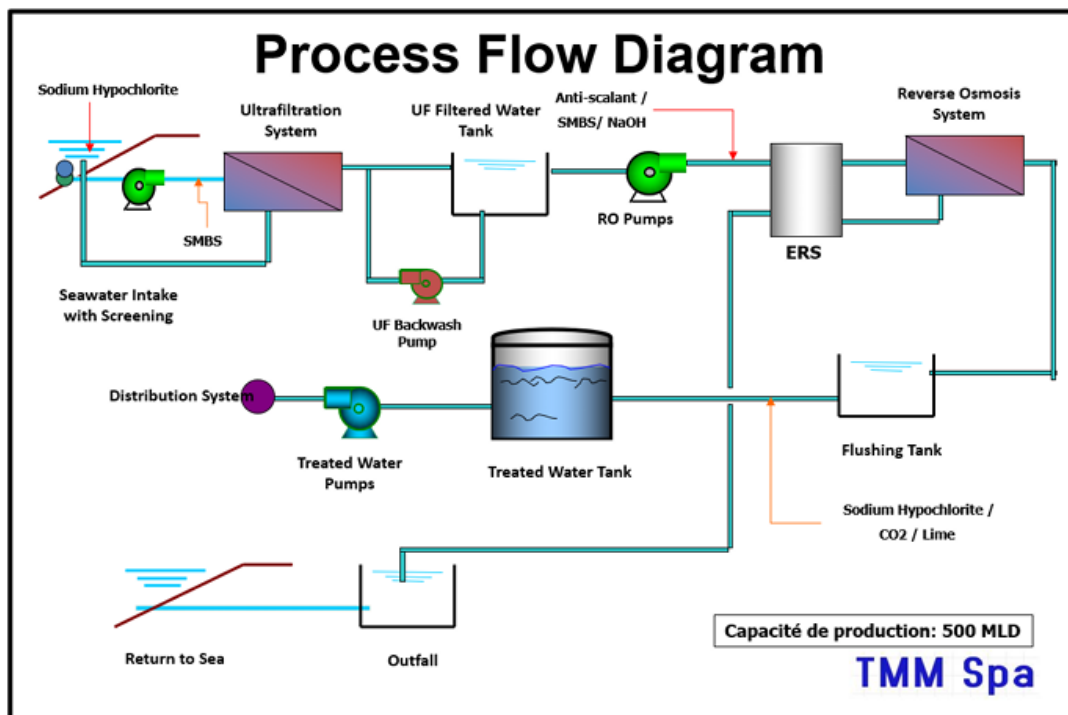


Figure III. 2 : Schéma de procédé de la station de Magtaa [8]

### III.5. Prétraitement :

Le prétraitement a l'objectif de préparer l'eau de mer de manière à limiter au maximum l'encrassement des membranes de l'unité d'osmose inverse (OI), ce qui permet de réduire les interruptions liées au nettoyage des membranes (CIP) (Cleaning In Place) et d'assurer un fonctionnement plus continu de l'installation.

La qualité d'eau d'alimentation issue du processus de prétraitement, destinée à alimenter l'unité d'osmose inverse, devra présenter une valeur de SDI (Silt Density Index = Indice De Colmatage) inférieure à 3,5 pendant au moins 90 % du temps de fonctionnement, et ne devra jamais la dépasser.

### III.6. INTAKE (Prise d'eau de mer) :

#### III.6.1. Pipelines :

L'alimentation d'eau de mer est de type gravitaire qui dépend de 3 conduites en PEHD avec une longueur entre 1 262 et 1 292 m et un diamètre entre 2 et 2.5 m avec une distance de 15 m entre les 3 conduites ils sont nommé A B C, les conduites sont en 9 m de profondeur sous sole avec 3 tours d'eau de 6.5 m de diamètres et il est en profondeur de 12 m sous mer, la matière de construction est béton. On a aussi un dosage fréquent de chlorure (traitement choque) dans les conduites en raison d'arrêté la prolifération des matières aquatiques et organique. L'alimentation en eau s'effectue via trois conduites avec une flexibilité de transfert de débit.

#### III.6.2. Système de protection cathodique :

Le but est de protéger les équipements de prise d'eau de mer contre la corrosion par maintenir une tension électrique de 30 à 380 mV (Point de consigne de 180 mV) entre structures métalliques et les anodes de zinc, ça nous donne une circulation du courant électrique entre les deux. Le système est automatique, l'automate mesure fréquemment la tension et va signaler le système pour maintenir la tension électrique.

Il faut noter que le processus de polarisation des surfaces en acier inoxydable peut être un processus de longue durée qui ne peut être achevé en quelques jours, Selon la composition de l'acier et la composition chimique de l'eau, la polarisation complète peut demander de 3 à 6 semaines.

### **III.6.3. Dégrillage :**

L'eau de mer va entrer la chambre de prise d'eau par quatre canaux de contrôle, chacun est équipé avec un batardeau. L'eau est captée dans une chambre d'une profondeur de 11 m

La filtration commence par l'une des quatre grilles grossières (dégrillage) appelées Coarse Bar Screens (CBS), avec un espacement de 20 mm, permettant d'éliminer les matières grossières, notamment les organismes aquatiques d'une taille plus de 1 cm.

Les cribles à barreaux (CBS) peuvent être commandés depuis le tableau de commande situé dans la zone de la prise d'eau de mer, Les CBS peuvent fonctionner en mode AUTO ou MANUEL.



**Figure III. 3 : Grilles de CBS**

### **III.6.4. Tamisage :**

Après les grilles grossières, nous avons quatre grilles fines (Travelling Band Screens - TBS), qui retiennent des impuretés d'une taille de plus de 200 µm, l'une d'entre eux étant en standby en cas d'opération d'urgence pendant la maintenance,

Les filtres à chaîne sont dotés d'un système de pulvérisation d'eau entièrement automatisé, composé d'une pompe, d'un tuyau et d'une soupape d'arrêt. L'eau de lavage circule à travers le tuyau, et la pression au niveau de la buse doit être maintenue à un minimum de 2,5 bars, ce qui est régulé par la soupape d'arrêt. À chaque mise en marche automatique d'un filtre à chaîne, un signal est transmis à la pompe de pulvérisation correspondante.

### **III.6.5. Système de chloration de la prise d'eau de mer :**

Pour minimiser la prolifération des êtres biologique/marines dans les conduites d'admission, la chambre d'admission et les têtes d'injection de l'UF, une injection intermittente d'hypochlorite de sodium ( $\text{NaOCl}$ ) est mise en œuvre dans le système de prise d'eau de mer, il s'agit d'un dosage choc au contraire d'une chloration continue qui favorise un encrassement biologique du système OI (Osmose inverse), il est recommandé d'avoir la chloration lorsque le système OI

n'est pas en service. La ligne de dosage doit être rincée à l'eau de mer et la soupape de décharge du (NaOCl) doit être fermée à la fin du dosage, pour éviter le lessivage lent du chlore de la ligne de dosage.

En raison de la nature fortement oxydante de l'hypochlorite de sodium (NaOCl), il est impératif que le chlore ne pénètre pas dans le système d'osmose inverse (OI), donc le chlore doit être éliminé de l'eau de mer avant son entrée dans le système OI par l'injection d'un agent réducteur. Dans ce procédé, une solution de métabisulfite de sodium (SMBS) est utilisée comme agent réducteur. La concentration recommandée est de 8 à 10 mg/l, et le chlore doit être complètement éliminé avant d'envoyer l'eau dans le système OI.

#### **III.6.6. Système de pompage :**

Le système se compose de cinq pompes centrifuges (quatre en service et une en secours), avec une pression qui varie entre 1,8 et 3,5 bars, et un débit moyen de 15 900 m<sup>3</sup>/h par pompe. Chaque flux est alimenté par deux pompes



**Figure III. 4 : système de pompage de prise d'eau**

#### **III.7. Ultrafiltration UF :**

L'ultrafiltration est une méthode de filtration permettant de séparer les particules dont la taille est comprise entre 0,001 et 0,1 micromètre. Le bâtiment d'ultrafiltration est alimenté par la station de pompage.

Il existe deux bâtiments d'ultrafiltration, chacun dédié à un seul flux (STREAM-1 et STREAM-2). Chaque bâtiment comprend 50 trains, un total de 100 trains pour l'ensemble de la station. Pour assurer une filtration efficace la pression de fonctionnement est généralement comprise entre 2 et 2,5 bars. Chaque bâtiment d'ultrafiltration est divisé en 5 ensembles (Banks), chaque ensemble comprenant 10 trains, désignés par les lettres A, B, C, D, E, F, G, H, J, K.

En fonctionnement normal, 9 trains sont en service, alors que le dixième est soit en rétro-lavage, soit en mode de nettoyage-en-place (CIP), soit soumis à un entretien.

Pour STREAM-1 et STREAM-2, chaque train est équipé par 120 membranes du modèle DUPONT SFD-2880XP

L'objectif principal de cette étape est de fournir au système d'osmose inverse (OI) une eau d'alimentation de qualité constante, avec une turbidité inférieure à 0,5 NTU et un SDI15 inférieur à 3,5. L'eau filtrée est stockée dans deux réservoirs pour stockage et rétro lavage, chacun ayant un volume de 8000 m<sup>3</sup> construit en béton et revêtu de peinture époxy

Pour prévenir le colmatage des membranes, un système de nettoyage automatique des trains d'ultrafiltration est activé fréquemment.



Figure III. 5 : le système d'ultrafiltration

### III.7.1. Retro-lavage (Back Wash) :

Afin de fournir au système d'OI une eau d'alimentation de qualité requise constante, (Turbidité inférieure à 0,5 NTU et SDI15 inférieur à 3,5), de prolonger la durée de vie et d'améliorer les performances des membranes UF, le système d'ultrafiltration (UF) dispose d'un système de rétro-lavage qui s'active automatiquement au bout d'une certaine durée de fonctionnement du système UF, ou qui est activé manuellement par l'opérateur.

Il s'agit d'un système destiné à préserver la qualité des installations en maintenant la capacité de perméabilité des membranes d'ultrafiltration (UF). Il se compose d'une pompe de lavage, d'un compresseur d'air, ainsi que d'un réservoir d'eau filtrée et de lavage.

Le procédé utilise une combinaison d'eau filtrée et d'air comprimé, injectée en flux inversé toutes les 40 minutes pendant 120 secondes. Le traitement s'effectue sur un seul train à la fois. L'air comprimé est injecté à un débit compris entre 2,3 et 3,4 m<sup>3</sup>/h, avec une pression inférieure ou égale à 1 bar (par module). Le flux de rétro-lavage est ensuite évacué directement dans l'émissaire.

Tableau III. 2 : les durées recommandées de rétro lavage [8]

| Paramètre                       | Durée (Secondes) |
|---------------------------------|------------------|
| Récurage à l'air                | 30               |
| Récurage à l'air + rétro-lavage | 40               |
| Vidange rejet                   | 30               |
| Vidange alimentation            | 30               |

### III.7.2. Lavage chimique (CIP - Cleaning in Place):

À l'aide de produits chimiques et de solutions de rinçage, ce processus a pour l'objectif de l'élimination des matières en suspension fines (MES) et des colloïdes. Cela peut être accompli de deux manières :

1. **Le nettoyage de routine** (Maintenance Cleaning – MC), effectué fréquemment et sur une courte durée (tous les 3 à 5 jours ou lorsque la pression transmembranaire (PTM) du train UF atteint ou dépasse 1,3 bar). Ce nettoyage dure généralement entre 30 et 50 minutes.
2. **Le nettoyage de récupération** (Recovery Cleaning – RC), appliqué lorsque la PTM ne peut plus être maintenue après plusieurs semaines d'exploitation. Ce nettoyage utilise de l'hypochlorite de sodium et de l'acide, et il est recommandé de le réaliser toutes les 20 à 30 journées de fonctionnement.

Le lavage chimique permet de traiter deux types principaux de colmatage :

- **Le colmatage minéral**, traité à l'aide d'acide chlorhydrique (HCl), en abaissant le pH entre 2 et 2,5.
- **Le colmatage organique**, traité avec une combinaison d'hypochlorite de sodium (NaOCl) et d'hydroxyde de sodium (NaOH), en élevant le pH entre 11 et 12.

Les deux types de colmatage sont traités successivement, l'un après l'autre.

#### III.7.2.1. Étapes du CIP (Clean-In-Place) :

1. **Préparation des solutions chimiques** : les produits chimiques sont transférés depuis les réservoirs de stockage vers les 8 réservoirs de CIP (une capacité de 20 m<sup>3</sup> pour chacun), à l'aide de 12 pompes doseuses et 8 pompes de UF-CIP (un débit de 850 m<sup>3</sup>/h et une charge de 2.5 bars). Les solutions chimiques sont préparées dans les réservoirs de CIP et elles sont circulées entre ces réservoirs et le système d'ultrafiltration en passant par 4 filtres à cartouche
- **L'hydroxyde de sodium (NaOH)** : il est stocké sous forme solide blanc et inodore dans 2 réservoirs de stockage avec un volume de 34 m<sup>3</sup> chacun, équipé avec 2 pompes de transfert (un débit de 5 m<sup>3</sup>/h et une charge de 2 bars) et 4 pompes de dosage (2 en service + 2 stand-by) avec (un débit 0.140 m<sup>3</sup>/h et une charge de 3.5 bars), concentration de 30 %
- **L'hypochlorite de sodium (NaOCl)** : il est stocké sous forme de solution liquide aqueuse dans 2 réservoirs de stockage avec un volume de 26 m<sup>3</sup> chacun, équipé avec 2 pompes de transfert (un débit de 5 m<sup>3</sup>/h et charge de 2 bars) et 4 pompes de dosage (2 en service + 2 stand-by) avec (un débit de 1.700 m<sup>3</sup>/h et une charge de 3.5 bars), concentration de 9%
- **L'acide hydrochlorique (HCL)** : : il est stocké dans un réservoir de stockage (une capacité de 13 m<sup>3</sup>), une pompe de transfert (un débit 5 m<sup>3</sup>/h et une charge de 2 bars) et 4 pompes de dosage (2 en service + 2 stand-by) avec (un débit de 0.4 m<sup>3</sup>/h et une charge de 3 bars), concentration de 6 %

2. **Prérinçage** : réalisé avec de l'eau de perméat osmotique (OI), en ouvrant l'entrée CIP (**CIP Inlet**) et en évacuant via les lignes (**CIP Waste**) et (**Reject Backwash**) pendant 300 secondes.
3. **Recirculation** : démarrage des 8 pompes CIP, ouverture de l'entrée CIP, et démarrage de la recirculation entre le train et les réservoirs pendant 480 secondes, avec une pression de 2 à 3 bars.
4. **Trempage (Soaking)** : accompagné de barbotage à l'air comprimé, pendant 900 secondes,
5. **Post-rinçage** : rinçage final durant 360 secondes.

### III.8. Traitement par Osmose Inverse (Reverse Osmosis-RO) :

L'osmose inverse est la technique de filtration très avancée et extrêmement fine, qui ne laisse passer que les particules d'eau. Il y a 25 trains, répartis en deux flux : 13 trains pour le flux 1 (12 trains + 1 de secours) et 12 pour le flux 2, Chaque train possède 216 tubes à haute pression, et chaque porte contient 7 membranes, avec un dispositif de récupération d'énergie (ERD) de type Turbo-Charger. Chaque train d'osmose inverse (OI) est équipé d'une pompe à haute pression (HP) en acier inoxydable super-duplex et d'une soupape de régulation de pression (PCV).

Le système d'osmose inverse pour l'eau de mer (SWRO) contient les éléments suivants :

- Pompes d'alimentation de l'osmose inverse (OI)
- Pompes haute pression (HP) de l'osmose inverse (OI)
- Dispositif de récupération d'énergie (Turbo-Charger)
- Soupape de régulation de pression (PCV)
- Tubes de pression et supports de l'OI
- Membranes de l'OI de type TORAY TM820R-440



Figure III. 6 : Le system d'Osmose Inverse (RO).

### **III.8.1. Système de pompage d'osmose inverse :**

Le système d'osmose inverse est équipé de 5 pompes pour chaque flux (4 pompes en fonctionnement + 1 en veille), avec une capacité de 5 850 m<sup>3</sup>/h chacune. Chaque pompe alimente le système OI en fournissant une pression d'environ 6,4 bars.

L'eau traitée est ensuite dirigée par des conduites vers les réservoirs RO Tank, avant d'être soumise au post-traitement, les rejets, quant à eux, sont envoyés vers le bassin de reminéralisation et de neutralisation.

### **II.8.2. Système de récupération d'énergie (ERS) :**

Le système membranaire dépend d'une membrane semi-perméable pour séparer l'eau douce du sel, mais ça nécessite une pression très élevée (environ 60 à 80 bars), donc on aura une grande consommation électrique (souvent > 3 kWh/m<sup>3</sup>). Il existe plusieurs types de systèmes de récupération d'énergie, pour notre station le système de (Turbo-Charger), qui fonctionne de la manière suivante :

Quand l'eau de mer traverse les membranes, une partie de l'eau (le rejet concentré ou saumure) est toujours sous haute pression et grâce à un système de type turbo chargeur hydraulique (appelé parfois turbo-chargeur ou turbo-échangeur de pression), on peut récupérer une grande partie de cette pression.

Au démarrage de système membranaire l'eau filtré entre le système d'osmose inverse (OI) avec une pression basse, le turbo-chargeur ne peut pas opérer car il n'y a pas encore un flux de rejet concentré, donc on dépend au début 100% sur le fonctionnement de pompe à haute pression, l'eau sous pression traverse la membrane et par résultat on a l'eau de perméat et l'eau saumure et une partie de l'eau rejeté traverse turbo-échangeur.

Le turbo-échangeur de pression contient une turbine, l'eau de saumure fait tourner cette turbine qui est reliée à un axe mécanique, L'axe transmet l'énergie de rotation à une pompe centrifuge ou piston, placée sur le circuit d'eau de mer brute, elle augmente la pression de l'eau de mer entrante.

L'eau est maintenant partiellement pressurisée avec une pression intermédiaire, Elle est ensuite envoyée vers une pompe haute pression, qui complète la montée en pression jusqu'au niveau nécessaire pour traverser la membrane, le cycle continue pendant que l'eau douce est produite.

### **III.8.3. Système de dosage antitartre :**

Le système d'antitartre est établi pour la réduction le colmatage et l'encrassement dans les systèmes membranaires, il est important de connaître que dans les systèmes OI la cause principale d'entartrage est la précipitation de carbonate de calcium dans le rejet de saumure.

Il est recommandé d'utiliser soit un dosage d'acide sulfurique ou d'un antitartre pour contrôler et minimiser l'effet de l'entartrage pour les membranes OI, Ce processus consiste à injecter une solution d'antitartre dans la conduite d'alimentation de l'OI de chaque flux.

Il est recommandé d'injecter en continu la solution d'antitartre, à une concentration de 0,6 à 1,1 mg/l. L'injection démarre dès que la commande de démarrage du train d'OI est donnée.

#### **III.8.4. Système de dosage du méta bisulfite de sodium :**

L'utilisation de SMBS ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) est pour l'élimination de chlore dans l'eau d'alimentation vers le système d'osmose inverse OI, car il est considéré comme un fort oxydant pour les membranes en réduisant leur durée de vie et compromettre la qualité d'eau de l'eau produite donc on doit assurer une concentration presque nulle en chlore. SMBS joue le rôle d'un agent réducteur du chlore libre, il élimine le chlore par une réaction chimique qui convertit le chlore en ions chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), une forme non toxique et cette réaction neutralise efficacement le chlore libre, rendant l'eau potable à diverses fins.

Le dosage nécessaire pour neutraliser 1 mg/l chlore libre est généralement environ 1,8 mg/l de SMBS. Le SMBS est en forme poudre il est dilué avant d'être utilisé dans le système, généralement, la concentration recommandée est de 5 mg/l.

#### **III.8.5. Système de rinçage de l'alimentation SWRO :**

Le système de rinçage d'alimentation de la station de dessalement SWRO est utilisé pour évacuer toute la saumure des tubes de pression lors de l'arrêt du système. L'eau utilisée pour cette opération est de l'eau d'alimentation prétraitée, provenant du réservoir de filtrat et du réservoir d'eau de rétro-lavage (flushing tank) avec un volume de 1280 m<sup>3</sup>. Le rinçage d'alimentation permet de nettoyer la surface des membranes et de retirer les résidus de saumure à l'aide d'un grand volume d'eau prétraitée, injectée à basse pression et à haut débit.

#### **III.8.6. Système de rinçage du faible total de solides dissous SWRO :**

Le système de rinçage à faible teneur en solides dissous (LTDS) de l'unité d'osmose inverse pour l'eau de mer (SWRO) est conçu pour éliminer l'encrassement des membranes sans utilisation de produits chimiques, Ce processus utilise de l'eau à faible concentration en TDS, prélevée depuis un réservoir de rinçage dédié. Le rinçage LTDS consiste à faire circuler un grand volume d'eau faiblement minéralisée, à basse pression et à haut débit, sur la surface des membranes. Cette méthode permet d'éliminer efficacement les dépôts biologiques légers, à condition qu'elle soit mise en œuvre de manière précoce, avant toute dégradation notable des performances du système. Il est recommandé d'effectuer un rinçage LTDS avant une opération de nettoyage en place (CIP)

#### **III.8.7. Système de nettoyage-en-place (CIP) SWRO :**

Le but du système de nettoyage-en-place (CIP) SWRO est pour éliminer la contamination de la surface des membranes (colmatage) en utilisant des produits chimiques et/ou en la séparant par interaction physique et chimique avec des produits de nettoyage.

La plupart des fabricants de modules d'OI préconisent de les nettoyer chimiquement lorsque le débit normalisé du flux enregistre une baisse de 10 à 15%. La fréquence de traitement est généralement une fois chaque 2 à 4 mois. Généralement il ayant 2 types de colmatages que on doit traiter :

##### **III.8.7.1. Entartrage :**

C'est un colmatage de type minérale, pendant l'écoulement à travers le processus d'osmose inverse la concentration en matières dissoutes augmente dans le débit de concentré, si la concentration de l'un des sels peu concentrés augmente au-delà de ses limites de saturation, il va donc précipiter sur la surface de la membrane ou provoquer un entartrage inorganique.

Si les membranes ne sont pas nettoyées dans un délai approprié, la formation de tartre pourra devenir irréversible et raccourcir la durée de vie utile des modules membranaires, car il augmente la résistance à l'écoulement du perméat à travers la membrane, toutefois la membrane devra être nettoyée chimiquement pour éliminer le tartre.

#### **III.8.7.2. Encrassement :**

C'est un colmatage du type organique, il se consiste d'un dépôt de matières organiques sur la surface de la membrane, et comme l'entartrage l'encrassement doit être évité, Si on arrive à aucune intervention sur les conditions de fonctionnement, l'encrassement entraînera une diminution du flux de perméat et comme l'entartrage La diminution du flux de perméat peut être compensée à court terme par l'augmentation de la pression de service.

Si le problème n'est pas corrigé l'encrassement a la possibilité de devenir irréversible, et minimiser la durée de de vie utile des modules membranaires

Le système CIP SWRO se compose de :

- 2 pompes de CIP avec une capacité de 1800 m<sup>3</sup>/h et une pression de 4 bars
- Les tubes de pression et supports de l'OI
- Les membranes d'OI
- 1 réservoir du CIP avec une capacité de 130 m<sup>3</sup>
- 1e filtre à cartouche du CIP
- 1 Réservoir de préparation des produits chimiques de l'OI avec une capacité de 3 m<sup>3</sup>

Le type de produits chimiques utilisés dépend de types do colmatage :

- Pour colmatage organique, un mélange de STTP (Sodium Tri-polyphosphate) et NaOH est utilisé pour augmenter le pH jusqu'à 11
- Pour colmatage minérale on utilise acide citrique où HCL pour diminuer le pH jusqu'à 2

Les 2 types de colmatage sont traité l'un après l'autre

#### **III.8.7.3. Les étapes de CIP :**

Le système de rinçage à faible teneur en solides dissous (LTDS) est toujours appliqué avant le nettoyage CIP l'eau utilisé est l'eau prétraité réserve dans le réservoir d'eau filtré (flushing tank) après le produit chimique est transféré vers réservoir CIP par ouvrir CIP Inlet et en utilisant une pompe de pression 4 bars

Le produites chimiques sont transféré du réservoir de préparation chimiques vers réservoir CIP par ouvrir CIP inlet, en utilisant 2 pompes la solution chimique est alimentée vers les trains en créant une circulation pendant 2h suivi par une période de trompage de 4h

Il faut noter que la fréquence de nettoyage dépend d'une chute de pression

**Tableau III. 3 : les durés recommandés de RO CIP [8]**

| Durées de CIP recommandées : |                 |
|------------------------------|-----------------|
| Paramètre                    | Durée (minutes) |
| 1 <sup>ère</sup> circulation | 30              |
| 1 <sup>er</sup> trempage     | 120             |
| 2 <sup>ème</sup> circulation | 30              |
| 2 <sup>ème</sup> trempage    | 120             |
| 3 <sup>ème</sup> circulation | 0               |
| 3 <sup>ème</sup> trempage    | 0               |
| Nombre de CIP                | 2               |

### III.9. Post-traitement :

C'est la dernière étape de déminéralisation d'eau de mer, pour avoir une eau de qualité adéquate aux consommations humaines. L'eau d'osmose inverse doit subir une série de traitements complémentaires, commençant par une désinfection et une reminéralisation supplémentaires afin de satisfaire aux spécifications de l'eau traitée.

L'eau post-traitée est donc désinfectée et reminéralisée et est stockée dans quatre (4) réservoirs et distribuée par trois (3) systèmes de distribution. Le système se compose de :

- Système de dosage de l'hypochlorite de sodium (post-chloration)
- Système de dosage du CO<sub>2</sub>
- Système de dosage de la chaux
- Réservoirs de stockage et station de pompage pour l'eau traitée

La qualité de l'eau produite doit satisfaire aux exigences suivantes :

**Tableau III. 4 : paramètres d'eau potable [8]**

| N° | Paramètre                         | Exigence                                       |
|----|-----------------------------------|------------------------------------------------|
| 1  | pH :                              | 7.0 - 8.5                                      |
| 2  | Indice de Langelier :             | 0 - 0.4                                        |
| 3  | TAC                               | 60 ppm de CaCO <sub>3</sub> (valeur minimale)  |
| 4  | Dureté totale (TH) :              | 80 ppm < TH < 150 ppm de CaCO <sub>3</sub>     |
| 5  | Total des solides dissous (TDS) : | 150 ppm < TDS < 500 ppm                        |
| 6  | Chlore résiduel <sup>1</sup>      | 1 ppm (valeur minimale)                        |
| 7  | Bore                              | Moyenne annuelle inférieure ou égale à 1,0 ppm |

#### III.9.1. Système de dosage de l'hypochlorite de sodium (post-chloration) :

Le système de dosage de l'hypochlorite de sodium est pour le but d'éliminer la prolifération des matières microbiennes dans les réservoirs de stockage, par l'injection d'hypochlorite de sodium (NaOCl), avec une concentration du chlore libre entre 0,2 mg/L et 0,5 mg/L et le produit chimique est réservé dans 2 réservoirs de stockage (volume de 22 m<sup>3</sup> pour chacun).

Le dosage est assuré par 4 pompes (une capacité de 220 l/h et une charge de 7 bars), la dose sera ajustée manuellement au niveau de la pompe, mais généralement l'ajustement est automatique.

### **III.9.2. La reminéralisation (Système de dosage du CO<sub>2</sub> et de la chaux) :**

L'eau de perméat est dite très déminéralisée et « agressive » due à la valeur fortement négative de l'indice de saturation de Langelier (LSI), ce qui nécessite une reminéralisation pour assurer un équilibre calo-carbonique, le perméat de l'OI est reminéralisé au moyen de dioxyde de carbone et de lait de chaux avant d'être transféré dans les réservoirs d'eau traitée.

La réaction chimique est établie quand le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) réagit avec l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)<sub>2</sub>), communément connu sous le nom de chaux) pour former du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>). Le dosage de ces produits chimiques est proportionnel au débit d'alimentation du post-traitement de l'OI pour chaque flux et avec une maintenance du dosage précise et prédéterminée, le pH du perméat est augmenté environ 8.0 et 8.5 et l'eau devient stable, propre à la consommation, est produite. À ce point, le perméat post-traité peut être appelé « eau traitée »

#### **III.9.2.1. Les étapes de Reminéralisation :**

Le CO<sub>2</sub> est stocké dans 4 réservoirs avec une volume de 52380 L sous certaines paramètres physico-chimiques par exemple pression de 26,0 bars et température admissible entre -50 et +50 °C, le dioxyde de carbone est sous forme liquide il va être dirigé vers 4 vaporisateurs (2 en service et 2 en stand-by).

Le débit est contrôlé par une vanne pour maintenir une dose de consigne en mg/l dans l'eau chlorée, l'injection du gaz est créée au moyen d'un système éjecteur qui est actionné par l'eau de service.

Le système de chaux consiste en plusieurs équipements pour stocker la poudre, créer une solution saturée de chaux et la doser dans les conduits d'amènes de perméat vers le réservoir de stockage de l'eau traitée afin d'ajuster le pH.

La chaux Ca(OH)<sub>2</sub> est stocké sous forme poudre hydratée dans 4 Silos (capacité de 210 m<sup>3</sup> chacun), les Silos sont fabriqués en acier et équipés de systèmes de contrôle de poussières et un système de vibration, la poudre du chaux est dosée dans le réservoir de préparation, il y a 4 réservoir de préparation de lait du chaux ( capacité de 6 m<sup>3</sup>, 2 en service et 2 en stand-by), le dosage se fait à partir de conduit de poudre commandé par un variateur de vitesse, le débit de chaux dans le réservoir de lait de chaux sera maintenu avec un rapport fixe par rapport au débit de l'eau de dilution entrant dans le saturateur de chaux.

Le lait de la chaux est injecté dans une canalisation qui alimente équitablement ces 4 saturateurs (capacité utile de 1310 m<sup>3</sup>) de chaux à un débit fixé par une des 6 pompes de transfert, (débit de 500 m<sup>3</sup>/h), pour le mélange avec l'eau de perméat (alimenté par 4 pompes de transfert de l'eau de perméat avec une capacité de 280 m<sup>3</sup>/h) pour former une solution nominale de 0.14% ( généralement nommée eau saturé en chaux), la solution saturé déborde vers le réservoir située dessus du saturateur et par gravité s'écoule vers le réservoir du stockage de l'eau saturé en chaux , après l'eau saturé s'écoule en descendant vers le saturateur , les impuretés dans la solution tombent en formant la boue au fond du saturateur.

Les 2 pompes des boues de eaux (1 pour chaque line de production) sont utilisées pour enlever les boues au fond des saturateur pour qu'elle soit réinjecter de nouveau dans le saturateur sur une base périodique de sorte que la chaux n'ayant pas encore réagi puisse se dissoudre, les insolubles accumulés dans le fond des saturateurs seront extraits par gravitation pour qu'elles soient évacuées dans des futs.

Pour chaque line de production, un réservoir de l'eau saturé en chaux est prévue comme intermédiaire entre le saturateur et le point de dosage, 3 pompes d'eau saturé (2 en service et 1 stand-by) sont prévues, ces pompes sont centrifuges horizontaux, une vanne de contrôle de débit de la pompe réglera l'écoulement de l'eau saturé selon le PH de l'eau entrant dans le réservoir d'eau traité.

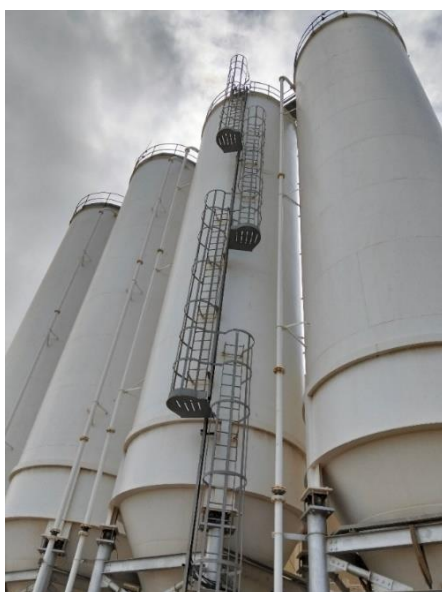


**Figure III. 7 : Réservoir de stockage de CO2**



**Figure III. 8 : Système de post-traitement**

### **III.10. Stockage et transport de l'eau produite :**

L'eau de perméat après la désinfection et reminéralisation, l'eau est stockée dans les réservoirs de stockage d'eau traité après stabilisation, pour chaque flux il y a 2 réservoirs d'une

capacité de 10 000 m<sup>3</sup> chaque un, ils sont installés en série afin de satisfaire la capacité nécessaire de stockage 40 000 m<sup>3</sup>

En fonctionnement normal, les réservoirs de service peuvent être sélectionnés au moyen d'un commutateur et les pompes sont activées par capteur de niveau du réservoir sélectionné ; les 4 pompes (3 en service + secours) de gavage sont conçues (avec une capacité de 6944 m<sup>3</sup>/h) pour pomper l'eau à la sortie du collecteur commun des réservoirs d'eau traitée. Trois conduites distinctes permettent de livrer l'eau traitée au client final. L'eau traitée est tirée du collecteur de gavage de l'eau traitée.



Figure III. 9 : Réservoir de stockage

### III.11. Système de neutralisation et de décharge :

Les déchets de l'usine qui contient plusieurs matières chimiques doivent être traités et neutralisés avant d'être rejetés dans l'émissaire en raison de la protection de l'environnement. Les déchets des zones suivantes sont envoyés vers le bassin de neutralisation afin de rectifier le pH avant l'élimination :

- CIP de l'UF
- CIP de l'OI
- Vidange du système de chaux
- Vidange du réservoir de CIP de l'UF
- Débordement, vidange et puisard du réservoir de CIP de l'OI

La saumure provenant du système d'osmose inverse RO sera acheminée vers la bêche de rejet, assurant ainsi un débit constant vers la mer. L'eau de rétro-lavage issue de l'unité d'ultrafiltration UF sera également envoyée vers cette bêche, Étant donné que le volume d'eau de rétro-lavage par cycle est relativement faible et que ces lavages sont fréquents, il n'est pas nécessaire d'installer un réservoir pour les eaux usées ; l'eau de rétro-lavage est directement envoyée à la bêche de rejet, L'eau provenant du réservoir de neutralisation est elle aussi dirigée vers la bêche de rejet. Avant d'être pompées vers celle-ci, les eaux résiduares sont d'abord neutralisées.

### **III.11.1. Fonctionnement général du système de neutralisation**

La solution chimique issue du nettoyage des unités d'ultrafiltration (UF) et d'osmose inverse (OI) est dirigée vers le bassin de neutralisation, où son pH est ajusté avant son élimination. En mode automatique, dès que le niveau du puisard atteint le seuil haut (point de consigne H), les pompes de service se mettent en marche pour faire circuler les eaux usées pendant environ cinq minutes. Cette étape permet de bien homogénéiser le liquide et de stabiliser la valeur initiale du pH.

Une séquence de neutralisation est ensuite lancée, utilisant de l'acide chlorhydrique et/ou de la soude caustique (hydroxyde de sodium) pour ajuster le pH dans les limites réglementaires autorisées pour le rejet.

Une fois que la solution est neutralisée et que le pH se situe dans la plage acceptable, les eaux traitées sont envoyées vers l'émissaire pour être évacuées hors site.

Si le niveau dans le réservoir de neutralisation dépasse le seuil de très haut niveau, une alerte s'affiche à l'écran : « Neutralization tank overflow » (Débordement du réservoir de neutralisation). Dans ce cas, aucun cycle de nettoyage en place (CIP) de l'UF ou de l'OI ne peut démarrer tant que le niveau n'est pas redescendu à une valeur suffisante pour accueillir de nouvelles eaux usées.

### **III.11.2. Séquence de neutralisation**

- Ouverture de la vanne motorisée de recirculation.
- Démarrage de la pompe lorsque le niveau de liquide dans le bassin est suffisant.
- Recirculation des eaux usées pendant 5 minutes et mesure du pH.
- Correction du pH :
  - Si le  $\text{pH} > 9 \rightarrow$  démarrage des pompes d'acide chlorhydrique jusqu'à atteindre un pH de 8,5.
  - Si le  $\text{pH} < 6 \rightarrow$  démarrage des pompes de soude jusqu'à atteindre un pH de 8,5.

Les pompes de dosage s'arrêtent automatiquement à la fin du temps de dosage défini. Si après une nouvelle phase de recirculation de 5 minutes, le pH reste hors limites, les pompes de dosage poursuivent leur fonctionnement. Une fois le pH stabilisé dans les plages définies, la vanne de décharge s'ouvre. Dès confirmation de cette ouverture, la vanne de recirculation se referme. Les eaux usées sont ensuite évacuées vers l'émissaire.

La saumure produite par le processus d'osmose inverse, équivalant à environ 55.5% du débit de captage est évacuée par gravité à travers une conduite en PEHD Cette conduite, d'une longueur de 900 mètres en mer, assure l'évacuation de la saumure.

### **III.12. Conclusion :**

La station de dessalement El Magtaa est considéré comme une infrastructure majeure de dessalement avec une capacité élevée de production d'eau potable, grâce l'implémentation de systèmes et de technologies avancées et sophistiqués.

Malgré la performance de la station, elle rencontre des problèmes opérationnels qui affectent le rendement, notamment le colmatage dans les membranes de système d'osmose inverse OI qui est causé par l'accumulation des matières en suspension et la proliférations des matières organiques, et par conséquent on a réduction de l'efficacité des membranes.

**CHAPITRE IV :**  
**Vérification dimensionnement et analyse du système  
d'osmose inverse**

#### IV.1. Introduction :

Après le prétraitement, l'eau est pompée vers le système d'osmose inverse à l'aide de 5 pompes par flux (4 pompes en fonctionnement + 1 en veille), avec une capacité de 5 850 m<sup>3</sup>/h chacune. Chaque pompe alimente le système OI en fournissant une pression d'environ 6,4 bars, le système d'osmose inverse est divisé en deux compartiments (deux flux) chaque flux a la capacité de production de 250 000 m<sup>3</sup>/j, dans ce chapitre pour simplifier cette étude, on prend le flux-01 (STREAM-01) car les deux flux sont identiques, donc nous dimensionnerons l'installation d'osmose inverse de flux-01 et nous appliquons les mêmes résultats sur flux-02 en basant sur les analyses physico-chimiques effectuées en laboratoire de la station de dessalement Maga (wilaya d'Oran), nous simulerons ensuite ces résultats à l'aide d'un logiciel, afin de comprendre le fonctionnement de système d'osmose inverse.

#### IV.2. Bilan hydraulique de la station de dessalement :

La station de dessalement El Magtaa a la capacité de production de 500 000 m<sup>3</sup>/j d'eau avec un taux de conversion de 44.5 % du système d'osmose inverse, donc on peut déterminer le débit d'alimentation pour système d'osmose inverse par la relation suivante :

$$Q_{AL} = Q_P / Y\% = 1\,123\,596 \text{ m}^3/\text{j}$$

**$Q_{AL}$  (m<sup>3</sup>/j) :** débit d'alimentation

**$Q_P$  (m<sup>3</sup>/j) :** débit de perméat

**$Y\%$  :** taux de conversion = 44.5%

Le taux 44.5% est choisi Pour limiter le colmatage, réduire la consommation énergétique et éviter une augmentation excessive de la concentration de rejet (fouling) et le débit d'alimentation sera 1 123 596 m<sup>3</sup>/j avec une salinité d'ordre 39 g/l

**500 000 m<sup>3</sup>/j (44.5 %) :** est l'eau dessalée produite à 500 ppm (selon les premières simulations faites dans le cadre de l'étude de cadrage de faisabilité).

**617 978 m<sup>3</sup>/j (55.5 %) :** est de rejet sous forme de saumure à une salinité d'environ 73,5 g/l.

Prenant en considération que le système d'osmose inverse est réparti sur deux lignes de production de façon indépendante, cette configuration est établie pour garantir une continuité partielle en cas d'arrêt ou de panne sur l'une de ces lignes, donc on peut effectuer les calculs pour une seule ligne, avec un débit d'alimentation d'osmose inverse d'environ 561 600 m<sup>3</sup>/j.

#### IV.3. Dimensionnement de l'installation d'osmose inverse :

Dans ce chapitre, on va dimensionner le système d'osmose inverse, basant sur les analyses physico-chimiques effectuées en laboratoire après l'ultrafiltration on va avoir une simulation ensuite les résultats à l'aide de logiciel On obtient les analyses expérimentales à partir du laboratoire de la station de dessalement de El Magtaa

**Tableau IV. 1 : Les analyses d'eau de mer après le prétraitement**

| <b>Paramètres</b>                              | <b>Valeurs</b> |
|------------------------------------------------|----------------|
| <b>TDS0 (mg/l)</b>                             | 39 885         |
| <b>Conductivité (µs/cm)</b>                    | 56 998         |
| <b>pH</b>                                      | 8              |
| <b>Température (°C)</b>                        | 26             |
| <b>Turbidité (NTU)</b>                         | 0.5            |
| <b>Les matières en suspension MES (mg/l)</b>   | 17             |
| <b>Pétrole et hydrocarbures (mg/l)</b>         | 0.0            |
| <b>Carbone Organique Totale COT (mg/l)</b>     | 0.5            |
| <b>Calcium Ca<sup>2+</sup> (mg/l)</b>          | 490            |
| <b>Magnésium Mg<sup>2+</sup> (mg/l)</b>        | 1550           |
| <b>Sodium Na<sup>+</sup> (mg/l)</b>            | 11960          |
| <b>Potassium K<sup>+</sup> (mg/l)</b>          | 535            |
| <b>Strontium Sr<sup>2+</sup> (mg/l)</b>        | 10             |
| <b>Bor B<sup>3+</sup></b>                      | 5              |
| <b>Somme des cations</b>                       | <b>14550</b>   |
| <b>Chlorures Cl<sup>-</sup></b>                | 22000          |
| <b>Sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>     | 3200           |
| <b>Bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> | 135            |
| <b>Somme des anions</b>                        | <b>25335</b>   |

#### IV.3.1. Calcul de critique de quantité d'eau :

##### 1. La balance ionique des eaux :

$$\text{Balance ionique} = \frac{|\sum \text{cations} - \sum \text{anion}|}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} < 3 \%$$

$$\text{La masse équivalent} = \frac{\text{la masse molaire}}{\text{valence}}$$

$$[\text{mg/l}] \text{ CaCO}_3 = \frac{\text{mg/l} \times 50}{\text{Me}}$$

$$[\text{Meq/l}] = \frac{\frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \text{valence}}{\text{Masse Molaire}}$$

##### 2. Le pH :

Le pH d'eau de mer après ultrafiltration est de 8.0 → 6.5 < 8.0 < 8.5 → vérifié

Le pH 8 est compatible avec les membranes standards, mais on doit toujours faire attention à la précipitation du carbonate de calcium.

**Tableau IV. 2 : Les résultats de calcul la balance ionique.**

| Les éléments                              | Valence | Ci[mg/l] | Masse molaire | Masse équivalente | [mg/l] caco3 | [Meq/l]         |
|-------------------------------------------|---------|----------|---------------|-------------------|--------------|-----------------|
| Calcium Ca <sup>2+</sup>                  | 2       | 490      | 40,0780       | 20.089            | 1219.5729    | 24.4523         |
| Magnésium Mg <sup>2+</sup>                | 2       | 1550     | 24,3050       | 12.1525           | 6377.2886    | 127.5457        |
| Sodium Na <sup>+</sup>                    | 1       | 11960    | 22,9898       | 22.9898           | 26011.5355   | 520.2307        |
| Potassium K <sup>+</sup>                  | 1       | 535      | 39,0983       | 39.0983           | 684.1729     | 13.6834         |
| Strontium Sr <sup>2+</sup>                | 2       | 10       | 87,6200       | 43.81             | 11.4129      | 0.2282          |
| Bor B <sup>3+</sup>                       | 3       | 5        | 10,8110       | 3.6036            | 69.3750      | 1.3874          |
|                                           |         |          |               |                   |              | <b>687.5273</b> |
| Chlorures Cl <sup>-</sup>                 | 1       | 22000    | 35,4530       | 35.4530           | 31026.9934   | <b>620.5398</b> |
| Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>     | 2       | 3200     | 96,0626       | 48.0313           | 3331.1611    | <b>66.62322</b> |
| Bicarbonate HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 1       | 135      | 61.0168       | 61.0168           | 110.6252     | <b>2.212505</b> |
|                                           |         |          |               |                   |              | <b>689.3755</b> |

Il faut noter que on passe de mg/l à meq/l parce qu'il existe une différence entre eux :

- **mg/l** : indique combien de masse d'un ion dans un 1 litre d'eaux
- **Meq/l** : il exprime la quantité de la charge électrique transportée par les ions, qui est essentielle pour les balances ioniques, l'équilibre acido-basique et l'osmolarité.

*Balance ionique = 0,134 % < 3 % → La balance ionique vérifie.*

Cela se signifie que les concentrations des ions mesurées sont fiables, Les analyses chimiques d'eaux sont cohérentes et complètes et il y a peu des ions mesurés où d'erreurs dans les mesures

#### **IV.3.2. Paramètres standards des membranes :**

Dans ce cas, on a choisi la membrane le module TM820R-440 qui est le mieux adapté aux eaux de mer, le système est sur un seul étage devisé en 13 unités (12 trains + 1 de secours)

**Tableau IV. 3 : Les caractéristiques de membrane TM820R-440**

| Les caractéristiques initiales                    | Les caractéristiques |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| Débit de production initial Q <sub>w</sub> (m3/j) | 35.6                 |
| Surface de la membrane (m <sup>2</sup> )          | 41                   |
| Diamètre D (Inches)                               | 8                    |
| Température T (°C)                                | 25                   |
| PH de l'eau d'alimentation                        | 8                    |
| Taux de Conversion y (%)                          | 44.5                 |
| Pression de fonctionnement P <sub>f</sub> (psi)   | 800                  |

|                                                             |        |
|-------------------------------------------------------------|--------|
| Concentration de l'eau d'alimentation (en NaCl) CF0 (mg /l) | 32 000 |
| Taux de rejet SR0 (%)                                       | 99.8   |
| Taux de passage de sel SP0 (%)                              | 0.2    |
| La perte de charge moyenne : $\Delta P_{FRO}/2$ (psi)       | 10     |
| Flux de perméat (APF) (l/m2.h)                              | 14     |

### IV.3.3. Les étapes de calcul :

#### 1. La molalité :

$$m_i = \frac{C_i \times 1000}{M_i \times (10^6 - \text{TDS})} \text{ donc } \sum m_i = 1.3194 \text{ (mol/kg)}$$

$M_i$  : masse molaire de l'élément (g)

$C_i$  : Concentration de l'élément i (mg/l)

TDS : Total des solides dissous (mg/l)

$$\text{TDS} = \sum C_i$$

$$\text{TDS} = 39885 \text{ (mg/l)}$$

Tableau IV. 4 : Les résultats de calcul de la molalité

| Les éléments                 | Valence | [mg/l] | Masse Molaire [g] | [Meq/l]    | $m_i$ [mol/kg] |
|------------------------------|---------|--------|-------------------|------------|----------------|
| Calcium $\text{Ca}^{2+}$     | 2       | 490    | 40.0780           | 24.4523    | 0.0127         |
| Magnésium $\text{Mg}^{2+}$   | 2       | 1550   | 24.3050           | 127.5457   | 0.0664         |
| Sodium $\text{Na}^+$         | 1       | 11960  | 22.9898           | 520.2307   | 0.5418         |
| Potassium $\text{K}^+$       | 1       | 535    | 39.0983           | 13.6834    | 0.0142         |
| Strontium $\text{Sr}^{2+}$   | 2       | 10     | 87.6200           | 0.2282     | 0.0001         |
| Bor $\text{B}^{3+}$          | 3       | 5      | 10.8110           | 1.3874     | 0.0004         |
| Chlorures $\text{Cl}^-$      | 1       | 22000  | 35.4530           | 31026.9934 | 0.6463         |
| Sulfate $\text{SO}_4^{2-}$   | 2       | 3200   | 96.0626           | 3331.1611  | 0.0346         |
| Bicarbonate $\text{HCO}_3^-$ | 1       | 135    | 47.9982           | 140.6302   | 0.0029         |

#### 2. Salinité équivalente exprimée en ppm NaCl :

$$C_F = \frac{1,12 \sum m_i \times 10^6}{38,5 + 1,12 \sum m_i} = 36963.7814 \text{ mg/l}$$

#### 3. Calcul de concentration de perméat et de rejet :

En utilisant l'équation de conservation de matière et l'équation de continuité :

$$Q_{\text{feed}} = Q_{\text{rejet}} + C_{\text{Perméat}}$$

$$Q_{\text{feed}} \times C_{\text{feed}} = Q_{\text{rejet}} \times C_{\text{rejet}} + Q_{\text{Perméat}} \times C_{\text{Perméat}}$$

$$C_{\text{feed}} = \text{TDS} = \sum C_i = 39885 \text{ mg/l}$$

À partir de taux de rejet  $S_r$  :

$$S_r = \left(1 - \frac{C_{\text{perméat}}}{C_{\text{feed}}}\right) = 99.8 \%$$

$$C_{\text{Perméat}} = C_{\text{feed}} - \frac{C_{\text{feed}} \times S_r}{100} = 79.77 \text{ mg/l}$$

On calcul la concentration de rejet  $C_{\text{rejet}}$  :

$$C_{\text{rejet}} = \frac{(Q_{\text{feed}} \times C_{\text{feed}}) - (Q_{\text{perméat}} \times C_{\text{perméat}})}{Q_{\text{rejet}}} C_{\text{rejet}} = 89549.4434 \text{ mg/l}$$

#### 4. Calcul la pression d'entraînement nette (Net Driving Pressure NDP) :

$$\text{NDP} = F_p - (O_p + P_p + 0.5 \times P_d) + P_{\text{OS Perméat}}$$

$F_p$  : Pression d'alimentation (bar)

$O_p$  : Pression osmotique (bar)

$P_p$  : Pression de perméat variée entre (1 et 2 bars)

$P_d$  : Perte de charge variée entre (1 et 3.5 bars)

$P_{\text{OS Perméat}}$  : Pression osmotique de perméat (bar)

D'après la loi de van 't Hoff :

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

$i$  : nombre des ions dans la solution

$R$  : la constante des gaz parfaits 0,08314 l bar /mol k

$C$  : concentration mol/l

$$O_p = 30.5145 \text{ bar}$$

On prend le TDS de perméat dans les normes pour calculer la pression osmotique de perméat

$$\text{TDS} = 500 \text{ ppm}$$

$$P_{\text{OS Perméat}} = 0.407 \text{ bar}$$

$$\text{NDP} = 22.3 \text{ bars}$$

#### 5. Les facteurs influençant sur le dimensionnement :

Les conditions de fonctionnement sont différentes des conditions standards de membrane, quelques corrections s'imposent, notamment sur le débit de production

#### 6. Le débit de production initiale dans les conditions standards est donné par :

$$Q_{w0} = K_{wi} \times (\Delta P_0 - \Delta \Pi_0)$$

En connaître le débit initial aux conditions standard précitées, il est possible de calculer la

Perméabilité de la membrane qui est à son tour utilisée dans conditions autres que standard :

$$K_{wi} = \frac{Q_{w0}}{(\Delta P_0 - \Delta \Pi_0)}$$

On pose :

$$K'_{w0} = \frac{1}{(\Delta P_0 - \Delta \Pi_0)} \text{ m}^3/\text{j.KPa}$$

**$K_{wi}$**  : Perméabilité initiale de la membrane

**$K'_{w0}$**  : Facteur de pression aux conditions standards

$$\Delta P_0 = P_{F0} - \frac{\Delta P_{FR}}{2}$$

**$\Delta P_0$**  : différence de pression à travers la membrane.

**$P_{F0}$**  : pression absolue de l'alimentation.

**$\Delta P_{FR}$**  : La perte de charge dans la membrane

Dans les conditions standards de membrane nous avons :

$$\Delta P_{FR} = 137.895 \text{ KPa}$$

$$P_{F0} = 5515.81 \text{ KPa}$$

$$\Delta P_0 = 5377.915 \text{ KPa}$$

**7. La différence de pression osmotique entre l'entrée et la sortie dans les conditions standards :**

$$\Delta \Pi_{FR0} = \frac{0.2654 \times C_{FR0} \times (T^\circ + 273.15)}{1000 - \frac{C_{FR0}}{1000}}$$

**8. La concentration en sel dans l'eau de rejet :**

$$Y = 44.5\%$$

$$C_{R0} = \frac{C_{F0}}{1 - Y} = 57657.6576 \text{ mg/l NaCl}$$

**9. La concentration moyenne en sel entre l'alimentation et le rejet :**

$$C_{FR0} = \frac{C_{F0} + C_{R0}}{2} = 44828.8288 \text{ mg/l NaCl}$$

$$\Delta \Pi_{FR0} = 3713.7436 \text{ KPa}$$

$$K'_{w0} = 6.0089 \times 10^{-4} \text{ KPa}^{-1}$$

**10. Le facteur de correction du flux de rétention de la membrane :**

Il sera déterminé en fonction de la pression de fonctionnement, la température sous la formule suivante :

- Si la pression de fonctionnement  $P \geq 800$  psi et température  $T > 25^\circ$   
 $\text{MFRC}_{3-5 \text{ ans}} = (1.5 \times 10^{-5} \times P - 0.0428) \times T - (0.00127 \times P) + 2.595$
- Si la pression de fonctionnement  $P \geq 800$  psi et température  $T \leq 25^\circ$

$$MFRC_{3-5 \text{ ans}} = 1.017^{-(1.079)^T} \times (P)^{3.209} \times 10^{-9}$$

On suppose que cette formule est valable pour ce type des membranes

$$T = 17^\circ\text{C} \leq 25^\circ\text{C} \text{ et } p = 800 \text{ psi}$$

$$MFRC_{3-5 \text{ ans}} = \mathbf{0.8806}$$

#### **11. Le facteur de correction de la température :**

Il sera déterminé par la formule suivant :

$$TCF = \frac{Q_w(t)}{Q_w(25^\circ\text{C})} = 1.03^{T-25}$$

Cette formule signifie que pour chaque degré Celsius au-dessus de 25 °C, le débit augmente d'environ 3 %.

Pour  $T = 17^\circ\text{C}$  qui correspond à la résultat des analyses

$$TCF = 0.7894$$

#### **12. Le débit de production de membrane à l'étage i :**

$$Q_{Pi} = PCF \times TCF \times MFRC_i \times Q_{W0}$$

Dans la station de dessalement MAGTAA le module TM820R-440 est utilisé car il est le mieux adapté aux conditions d'eaux de mer de la station sur un seul étage à 13 unités (12 + 1 secours) pour obtient le débit de production et réduire aux maximum le débit de rejet

$$\text{Taux de conversion totale } Y = 44.5 \%$$

#### **13. La Concentration d'alimentation :**

$$CF_{NaCl} = \mathbf{36963.7814 \text{ mg/l}}$$

#### **14. La Concentration de rejet :**

$$C_{R1} = \mathbf{66601.4079 \text{ mg/l}}$$

#### **15. La concentration moyenne en sel entre l'alimentation et le rejet :**

$$C_{FR0} = \mathbf{51782.5946 \text{ mg/l}}$$

#### **16. La différence de pression osmotique entre l'entrée et la sortie dans les conditions de travail :**

$$\Delta\Pi_{FR1} = \mathbf{4229.9085 \text{ KPa}}$$

#### **17. Le facteur de correction de pression :**

$$PCF_1 = K'_{w0} \times (\Delta P_1 - \Delta\Pi_{FR1})$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_0 = \mathbf{5377.915 \text{ KPa}}$$

$$K'_{w0} = \mathbf{6.0089 \times 10^{-4} \text{ KPa}^{-1}}$$

$$PCF_1 = \mathbf{0.6898 \text{ KPa}}$$

**18. Le facteur de correction du flux de rétention de la membrane :**

D'après l'équation et pour  $P_{F0} = 5515.81$  KPa,  $T = 17^\circ\text{C}$  (la température saisonnière d'eau de mer de la station) à durée de 3 ans  $\text{MFRC}_{3-5 \text{ ans}} = 0.8806$

**19. Le facteur de correction de la température :**

$$\text{TCF}_1 = \frac{Q_w(t)}{Q_w(25^\circ\text{C})} = 1.03^{T-25}$$

Pour  $T = 17^\circ\text{C}$

$$\text{TCF}_1 = 0.7894$$

**20. Débit de production de membrane à l'étage 1 :**

$$Q_{P1} = \text{PCF}_1 \times \text{TCF}_1 \times \text{MFRC}_1 \times Q_{W0} = 17.07 \text{ m}^3/\text{j}$$

**21. Débit d'alimentation de membrane à l'étage 1 :**

$$Q_{F1} = \frac{Q_{P1}}{Y} = 38.35 \text{ m}^3/\text{j}$$

**22. Débit de rejet du perméateurs de l'étage 1 :**

$$Q_{R1} = Q_{a1} - Q_{p1} = 21.28 \text{ m}^3/\text{j}$$

**23. Débit moyenne entre l'alimentation et le rejet de l'étage 1 :**

$$Q_{FR1} = \frac{Q_F + Q_R}{2} = 29.81 \text{ m}^3/\text{j}$$

**24. Débit spécifique de membrane :**

$$Q_{SP} = \text{APF} \times S_{\text{membrane}}$$

APF : Flux de perméat ( $\text{l}/\text{m}^2.\text{h}$ ) = 14

$S_{\text{membrane}}$  : Surface de membrane ( $\text{m}^2$ )

$$Q_{SP} = 13.776 \text{ m}^3/\text{j}$$

**25. Débit de production total :**

$$Q_{\text{Ptot}} = Q_{al} \times Y = 249912 \text{ m}^3/\text{j}$$

**26. Le nombre de membranes :**

$$N_p = \frac{Q_{\text{Ptot}}}{Q_{sp}} = 18141.1 \approx 18142 \text{ membranes}$$

qui correspond au nombre des membranes dans la station

**27. Calculer le nombre des membranes par unité :**

$$N_{pi} = \frac{N_p}{i} = 1511.8 \approx 1512 \text{ membranes}$$

**28. Le débit produit par unité :**

$$Q_{p \text{ unité } i} = 13.776 \times 1512 = 20829.312 \text{ m}^3/\text{j} = 867.888 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 29. Le débit de production totale :

$$Q_{P \text{ tot}} = \sum_{i=1}^{n=12} Q_{P \text{ unité } i} = 249951.744 \text{ m}^3/\text{j}$$

### 30. Le débit de rejet totale :

$$Q_{R \text{ tot}} = Q_{\text{feed}} - Q_{P \text{ tot}}$$

$$Q_{R \text{ tot}} = 311648.56 \text{ m}^3/\text{j}$$

On va calculer le taux de conversion pour vérifier :

$$Y = \frac{Q_{P \text{ tot}}}{Q_{\text{Feed}}} \times 100\% = 44.5 \%$$

La conversion est de **44,5 %** donc c'est vérifié.

### 31. Le facteur de correction du passage de sel :

$$SPCF1 = \frac{C_{F0} \times [(P_{FR0} - P_{P0}) - (\Delta \Pi_{FR0} - \Pi_{P0})] \times \Pi_{FR1}}{C_{F1} \times [(P_{FR1} - P_{P1}) - (\Delta \Pi_{FR1} - \Pi_{P1})] \times \Pi_{FR0}}$$

$C_{F0}$  : concentration de l'eau d'alimentation (en NaCl)

$$C_{F0} = 32000 \text{ mg/l}$$

$C_{F1}$  : concentration de l'eau d'alimentation de l'étage

$$C_{F1} = 36963.7814 \text{ mg/l}$$

$P_{FR0}$  : La pression moyenne dans le perméateurs dans les conditions standards

- $P_{FR0} = \Delta P_0 = 5377.915 \text{ KPa}$
- $P_{FR1} = P_{FR0} = 5377.915 \text{ KPa}$

$P_{P0}$  : surpression au niveau du bac de stockage dans les conditions standards

$P_{P1}$  : surpression au niveau du bac de stockage dans les conditions de travail

- $P_{P0} = 0$
- $P_{P1} = 0$

### 32. La pression osmotique dans les conditions de travail :

$$\Pi_{pi} = 0.075 \times \Pi_{FRi}$$

- $\Pi_{P0} = 280.236 \text{ Kpa}$
- $\Pi_{P1} = 317.3444 \text{ Kpa}$

$$SPFC1 = 1.28$$

### 33. Calcul le taux de passage de sel :

Pour calculer le passage de sels on va estimer les valeurs à partir des données calculer par le logicielle TORAY

**Tableau IV. 5 : Les concentrations d'eau d'alimentation, d'eau produit et d'eau rejet**

| Etage 1                    |                |
|----------------------------|----------------|
| Salinité TDS <sub>p1</sub> | Salinité TDSR1 |
| 195.642                    | 71867.818      |

L'eau produit procède une salinité de 195.642 ppm et 71867.818 ppm pour l'eau de rejet

#### IV.4. La simulation avec le logiciel TORAY :

Le logiciel TORAY est un programme de calcul et simulation utilisé pour concevoir, modéliser et optimiser des systèmes de traitement d'eau par des techniques membranaires (notamment osmose inverse), en prenant en considération les performances réelles des membranes TORAY selon certains conditions (Température, salinité, pression .....etc.) pour avoir le maximum de l'efficacité et une qualité optimale de l'eau, le logiciel assure une conception fiable de notre système et au même temps minimise les coûts d'investissement soit énergétiques où opérationnelles

#### IV.5. Le processus d'optimisation d'osmose inverse par logiciel TORAY :

##### IV.5.1. Les étapes de conception :

##### 1. Activation du Guide me mode :

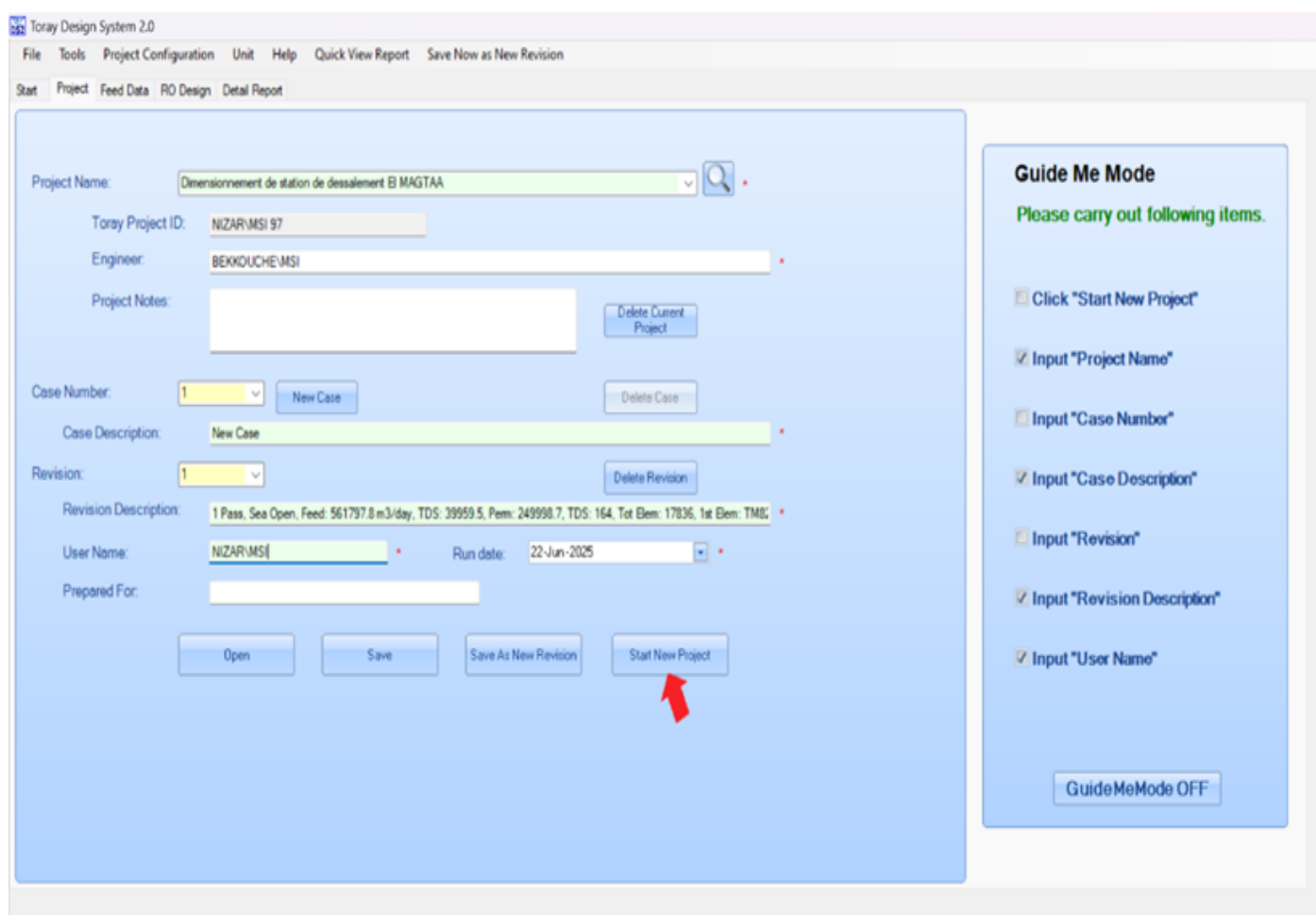


**Figure IV. 1 : Fenêtre initiale du logiciel TORAY**

C'est étape sélective généralement pour les utilisateurs qui manque l'expérience avec ce type de logiciel, Cette fonction peut être activée ou désactivée à partir de l'onglet « Démarrer » (situé sur le côté droit de la page), ou via le menu « Configuration du projet »

## 2. Introduction des informations concernant le projet

Dans cette étape, l'utilisateur doit remplir toutes les informations qui permettent de définir les préférences qui seront utilisées tout au long du projet, telles que le nom de projet, nom d'utilisateur, numéro de cas, description de cas, et description de la révision.

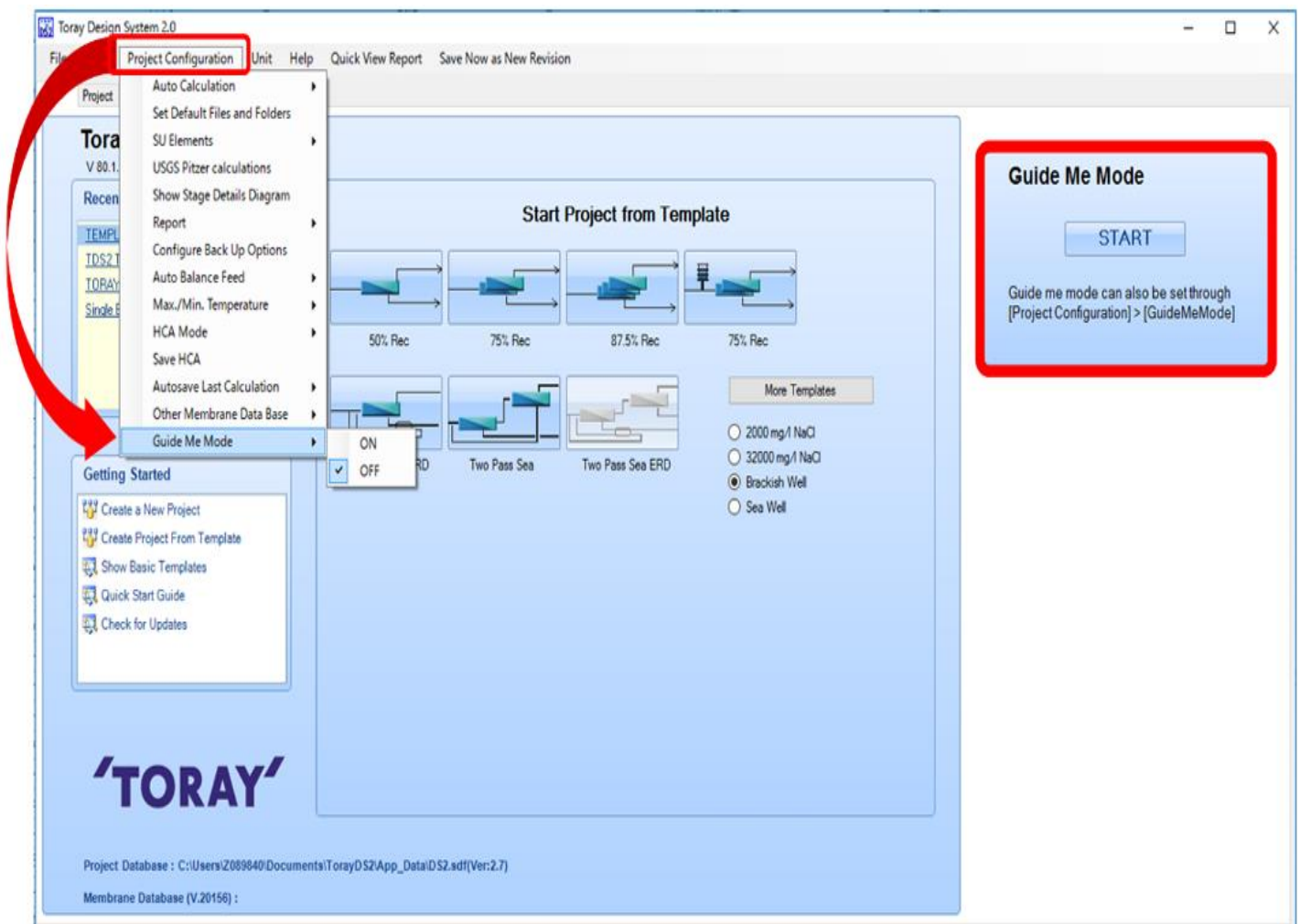


Figure IV. 2 : Fenêtre remplie de Projet Information

## 3. Introduction des paramètres de qualité d'eau de mer :

L'utilisateur peut entrer plusieurs paramètres nécessaires qui décide la qualité d'eau de mer d'alimentation, ces paramètres sont cruciaux pour l'optimisation des systèmes d'osmose inverse ces paramètres sont :

- **Température :** la température influence la viscosité de l'eau, quand elle diminue, l'eau devient plus visqueuse et inversement une température élevée diminue la viscosité, donc par conséquent la température influence le flux à travers les membranes, une température élevée peut augmenter le flux, mais il y a un risque d'endommager les membranes.

- **pH** : le pH de l'eau brute influence la solubilité des sels et les performances de membranes, un pH inapproprié peut endommager la membrane (dégradation) et réduire son efficacité.
- **La salinité** : elle est mesurée en TDS (Total Dissolved Solids), et considérée comme un paramètre important pour déterminer le type de membrane à utiliser et les conditions de fonctionnement du système.

Avant d'entrer les paramètres d'eau d'alimentation on doit préciser le type d'eau d'alimentation :

Figure IV. 3 : Les différents types d'eau d'alimentation proposé par TORAY

| Species | % Sat'n Feed | Conc                |
|---------|--------------|---------------------|
| CaSO4   | 27.55        | % of Max Solubility |
| BaSO4   | 0.00         | % of Max Solubility |
| SrSO4   | 19           | % of Max Solubility |
| PO4     | 0            | % of Max Solubility |
| SiO2    | 0.0          | % of Max Solubility |
| CaF2    | 0.0          | % of Max Solubility |
| LSI     | 0.89         |                     |

Figure IV. 4 : Les paramètres de l'eau de l'alimentation

Ions

| Cations            |            |          |            |
|--------------------|------------|----------|------------|
| Current Stream : 1 |            |          |            |
| Ions               | mg/l       | mEq/L    | ppm CaCO3  |
| Ca                 | 490.00     | 24.4511  | 1223.66    |
| Mg                 | 1550.00    | 127.5458 | 6383.03    |
| Na                 | 12036.66   | 523.5653 | 26201.83   |
| K                  | 535.00     | 13.6836  | 684.79     |
| Ba                 |            |          |            |
| Sr                 | 10.0000    | 0.2283   | 11.42      |
| NH4                |            |          |            |
| Fe                 |            |          |            |
| Totals             | 14621.6621 | 689.4740 | 34504.7270 |

| Anions |            |          |            |
|--------|------------|----------|------------|
| Ions   | mg/l       | mEq/L    | ppm CaCO3  |
| HCO3   | 135.00     | 2.2125   | 110.72     |
| Cl     | 21999.65   | 620.5300 | 31054.42   |
| SO4    | 3200.00    | 66.6239  | 3334.19    |
| NO3    |            |          |            |
| F      |            |          |            |
| Br     |            |          |            |
| B      |            |          |            |
| SiO2   |            |          |            |
| PO4    |            |          |            |
| CO3    | 3.23       | 0.1077   | 5.39       |
| CO2    | 1.60       | 0.0363   | 1.82       |
| Totals | 25337.8816 | 689.4741 | 34504.7316 |

Reset Ion

**Figure IV. 5 : Les ions de l'eau de l'alimentation**

Si l'utilisateur ne connaît pas la composition ionique de l'eau d'alimentation mais qu'il connaît la teneur totale en solides dissous (TDS), on peut supposer que tous les TDS sont du NaCl en utilisant le bouton « Définir les TDS comme NaCl » dans la boîte « Paramètres d'alimentation ».

#### **4. Vérification des unités de système :**

L'utilisateur doit préciser les unités de système. Pour modifier les unités, cliquez sur « Unit » dans la barre de menu et sélectionnez les unités que vous souhaitez utiliser dans la fenêtre contextuelle.

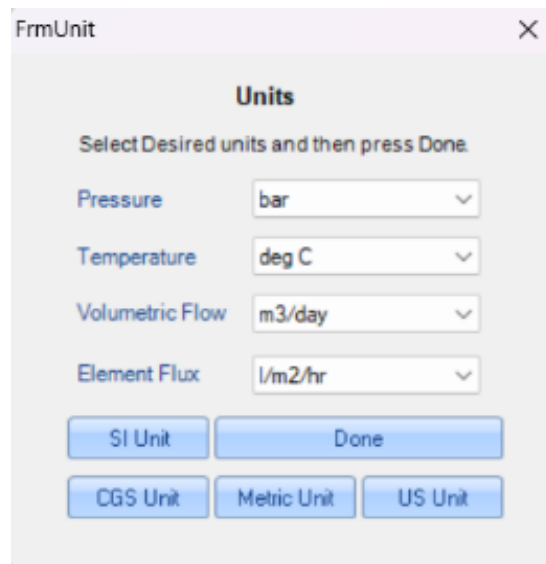


Figure IV. 6 : Les unités de système

### 5. Choix du taux de conversion et le débit de production :

Avant le design, l'utilisateur doit établir deux éléments de trois données, le débit d'alimentation, le débit de production et le taux de conversion.

En général le taux de conversion est dans les stations de dessalements d'eau de mer est entre 30 et 60 % :

- Un taux de conversion de 10% est réservé pour les stations de dessalement de petite taille ayant un prétraitement sommaire, avec une consommation énergétique qui n'est pas importante.
- Un taux de conversion de 30 à 40% est adapté pour les installations de capacité importante ayant un prétraitement complet et où la réduction des investissements et de consommation d'énergie est importante.
- Un taux de conversion de 45 à 60 % est utilisé pour réduire les coûts en particulier lorsque la salinité de l'eau de mer n'est pas trop élevée (35 à 37 g/l). [9]

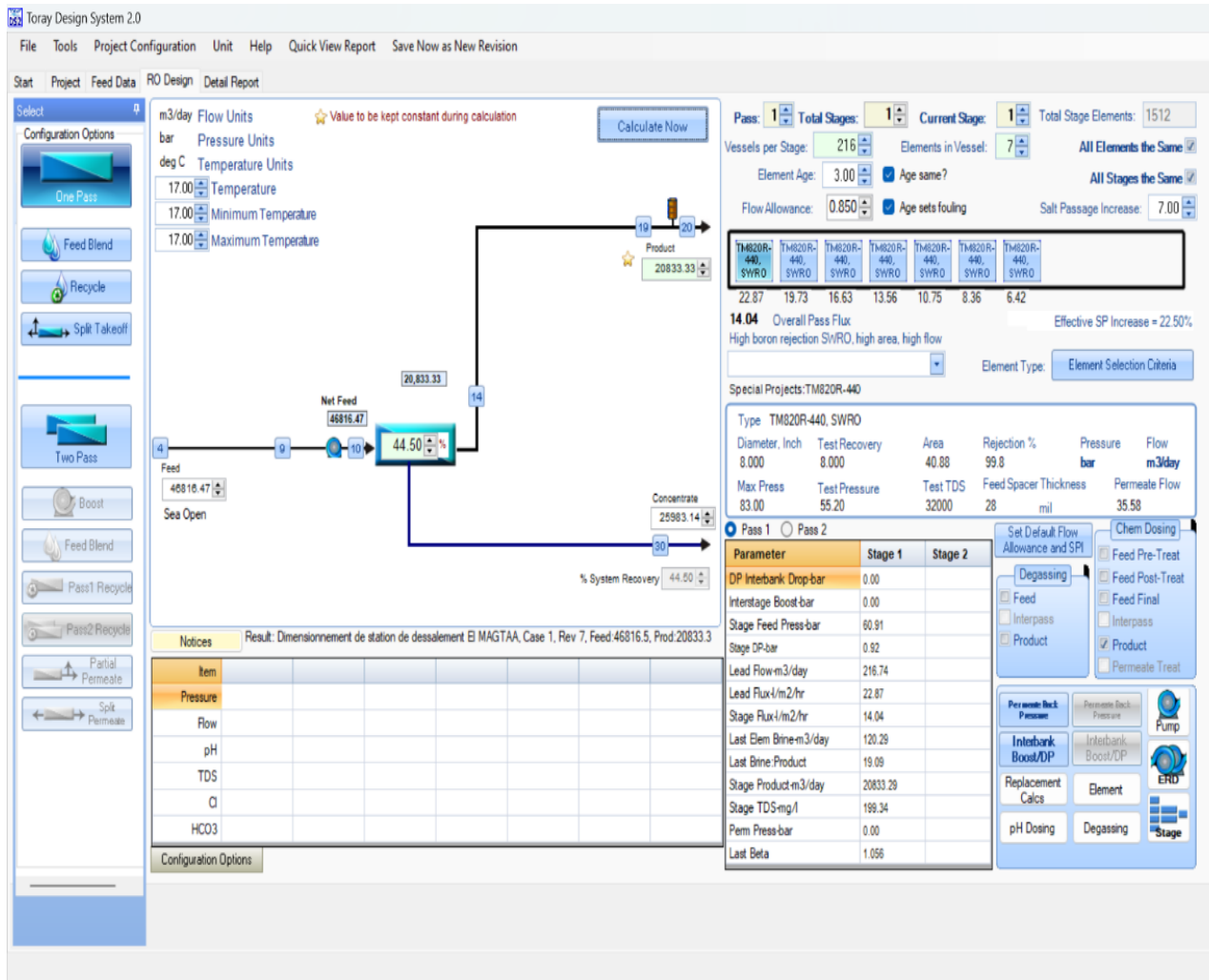


Figure IV. 7 : L'interface générale du logiciel

## 6. Détermination du flux de perméat :

La valeur de flux est déterminée à partir d'un désigne guidé par le logiciel TORAY, qui permet de modéliser, d'analyser et d'améliorer les performances des membranes en fonction de la pression, de la température et de la composition de l'eau pour optimiser et maximiser l'efficacité du procédé de dessalement par osmose inverse.

Dans notre cas le flux de perméat est entre 12 et 16 L/m²/h, il est conseillé de choisir une valeur modérée même si cela nécessite un plus grand nombre de membranes, pour prolonger la durée de vie des membranes et garantir une résistance et une durabilité accrues des membranes sur le long terme. 'utilisateur peut le trouver dans l'onglet « help » dans « Design guidelines ».

| for TORAY RO Elements            |             |         | Original Feed Water Source (All values are related to RO Feed before Catridge Filters) |                       |               |                        |                  |             |             |                           |                      |                                            |
|----------------------------------|-------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|------------------------|------------------|-------------|-------------|---------------------------|----------------------|--------------------------------------------|
| Design Guideline                 |             |         | RO Permeate                                                                            | RO Permeate (High pH) | Brackish Well | Brackish Surface MF/UF | Brackish Surface | Sea Well    | Sea Open    | Tertiary Waste (Filtered) | Tertiary Waste MF/UF | Dimension                                  |
| Parameter                        | Condition   | Dimens  |                                                                                        |                       |               |                        |                  |             |             |                           |                      |                                            |
| Feed SDI @ 15 min.               | Range       | %/min   | < 1                                                                                    | < 1                   | 1 - 2         | 1 - 2                  | < 3              | 1 - 2       | < 3         | 3 - 4                     | 2 - 3                |                                            |
|                                  | Limit       | %/min   | < 1                                                                                    | < 1                   | < 3           | < 3                    | < 4              | < 3         | < 4         | < 5                       | < 3                  | FLUX                                       |
| Typical average system flux      | Range       | l/m2/hr | 30.0 - 39.0                                                                            | 30.0 - 39.0           | 25.0 - 32.0   | 23.0 - 29.0            | 18.0 - 23.0      | 15.0 - 19.0 | 12.0 - 16.0 | 9.00 - 13.0               | 15.0 - 21.0          | <input type="checkbox"/> gfd               |
|                                  | Limit       | l/m2/hr | < 45.0                                                                                 | < 45.0                | < 34.0        | < 30.0                 | < 25.0           | < 19.0      | < 16.0      | < 14.0                    | < 21.0               | <input checked="" type="checkbox"/> l/m2/h |
| Max. lead element flux           | Limit       | l/m2/hr | 48.0                                                                                   | 48.0                  | 43.0          | 39.0                   | 31.0             | 35.0        | 28.0        | 19.0                      | 25.0                 | <input type="checkbox"/> l/m2/d            |
| Min. Brine: Pemeate Ratio, la... | -           | -       | 3:1                                                                                    | 3:1                   | 4:1           | 5:1                    | 6:1              | 7:1         | 7:1         | 7:1                       | 7:1                  | FLOW                                       |
| Max. element Recovery            | Limit       | %       | 30%                                                                                    | 30%                   | 20%           | 17%                    | 15%              | 13%         | 13%         | 12%                       | 12%                  | <input type="checkbox"/> ltr/min           |
| Max. feed flow                   | 8"          | m3/day  | 410                                                                                    | 410                   | 380           | 360                    | 310              | 360         | 310         | 290                       | 310                  | <input type="checkbox"/> m3/hr             |
|                                  | 4"          | m3/day  | 86.0                                                                                   | 86.0                  | 82.0          | 77.0                   | 67.0             | 77.0        | 67.0        | 62.0                      | 67.0                 | <input checked="" type="checkbox"/> m3/day |
| Min. brine flow                  | 8"          | m3/day  | 58.0                                                                                   | 72.0                  | 72.0          | 72.0                   | 86.0             | 86.0        | 86.0        | 86.0                      | 86.0                 | <input type="checkbox"/> Gal/day           |
|                                  | 4"          | m3/day  | 12.0                                                                                   | 12.0                  | 14.0          | 14.0                   | 17.0             | 17.0        | 17.0        | 17.0                      | 17.0                 | <input type="checkbox"/> Gal/min           |
| Max. dP / vessel                 | Design      | bar     | < 3.00                                                                                 | < 3.00                | < 3.00        | < 3.00                 | < 2.00           | < 3.00      | < 2.00      | < 2.00                    | < 2.00               | <input type="checkbox"/> kGal/day          |
|                                  | Oper. limit | bar     | 4.00                                                                                   | 4.00                  | 4.00          | 4.00                   | 4.00             | 4.00        | 4.00        | 4.00                      | 4.00                 | PRESSURE                                   |
| Max. dP / element                | Design      | bar     | 1.00                                                                                   | 1.00                  | 1.00          | 1.00                   | 1.00             | 1.00        | 1.00        | 1.00                      | 1.00                 | <input checked="" type="checkbox"/> bar    |
| Flow Allowance (3-5 years)       | Design      | %       | 95 - 94                                                                                | 95 - 94               | 85 - 80       | 85 - 80                | 81 - 75          | 88 - 84     | 85 - 80     | 73 - 65                   | 77 - 70              | <input type="checkbox"/> MPa               |
| Typical SP increase/year 1)      | Design      | %       | 5%                                                                                     | 10%                   | 10%           | 10%                    | 15%              | 7%          | 7%          | 20%                       | 15%                  | <input type="checkbox"/> KPa               |
| Concentr. Polarization Index (*) | Limit       | -       | 1.3                                                                                    | 1.3                   | 1.2           | 1.2                    | 1.2              | 1.2         | 1.2         | 1.2                       | 1.2                  | <input type="checkbox"/> Kg/cm2            |
|                                  |             |         |                                                                                        |                       |               |                        |                  |             |             |                           |                      | <input type="checkbox"/> psi               |

\* different membrane types will be considered by determining the "recommended pump pressure"

1) Parameters can be adjusted in the Toray Design System design program

Figure IV. 8 : TORAY Design Guideline

## 7. Sélection le type et caractéristiques de la membrane :

L'utilisateur peut choisir le type de membranes en fonction de plusieurs paramètres : la salinité, le potentiel de colmatage, le taux de rejet, le débit de production et la consommation d'énergie.

Généralement pour les débits qui sont supérieurs à 2.3 m3/h (10 gpm), l'utilisateur choisit des éléments d'un diamètre de 8 pouces (201 mm) et d'une longueur de 40 pouces (1016 mm).

Ils existent plusieurs types de membranes pour les petites systèmes, l'utilisateur peut vérifier le site <https://www.toray.com/> pour plusieurs informations

Dans notre cas nous choisissons membrane TM820R-440, le logiciel TORAY offre une grande sélection de membranes, l'utilisateur doit cliquer sur «Element Selection Criteria».

Figure IV. 9 : TORAY Element Selection Tool

| Type                  | TM820R-440, SWRO |
|-----------------------|------------------|
| Diameter, Inch        | 8.000            |
| Test Recovery         | 8.000            |
| Area                  | 40.88            |
| Rejection %           | 99.8             |
| Pressure              | bar              |
| Flow                  | m3/day           |
| Max Press             | 83.00            |
| Test Pressure         | 55.20            |
| Test TDS              | 32000            |
| Feed Spacer Thickness | 28 mil           |
| Permeate Flow         | 35.58            |

Figure IV. 10 : Les caractéristiques de la membrane TM820R-440

## 8. Décider la configuration de l'étage et les tubes de pression :

La configuration de la scène dans un système dépend principalement du taux de récupération du système. Empiriquement, elle suivra la "règle empirique" suivante :

| Recovery Rate | Below 50% | 50% ~ 75% | Above 75% |
|---------------|-----------|-----------|-----------|
| No. of Stage  | 1         | 2         | 3         |

Figure IV. 11 : Configuration d'étage en fonction le taux de conversion TORAY

Et la quantité d'éléments à chaque étape est généralement considérée comme la moitié de la quantité de l'étage précédent.

Et pour choisir la longueur du tube de pression, il généralement contient 4 à 7 membranes.

Dans l'onglet «RO Design », l'utilisateur peut entrer ces informations dans la partie supérieure droite de la page

Put total no. of stages

Adjust here to move between stages

Pass: 1 Total Stages: 1 Current Stage: 1 Total Stage Elements: 10

Vessels per Stage: 2 Elements in Vessel: 5 All Elements the Same ☒

Set the no. of vessels per stage

Set the no. of elements per vessel

Figure IV. 12 : Configuration des nombres de tubes de pression et membranes

## 9. La conception de schéma du système d'osmose inverse et l'exécution des calculs :

Après la finition de design, l'utilisateur peut cliquer sur «Calculate Now» pour effectuer les calculs et Pour les résultats pour certains éléments par exemple l'eau d'alimentation après la pompe (Icon No. 10), faites glisser icône vers la colonne en bas de la page

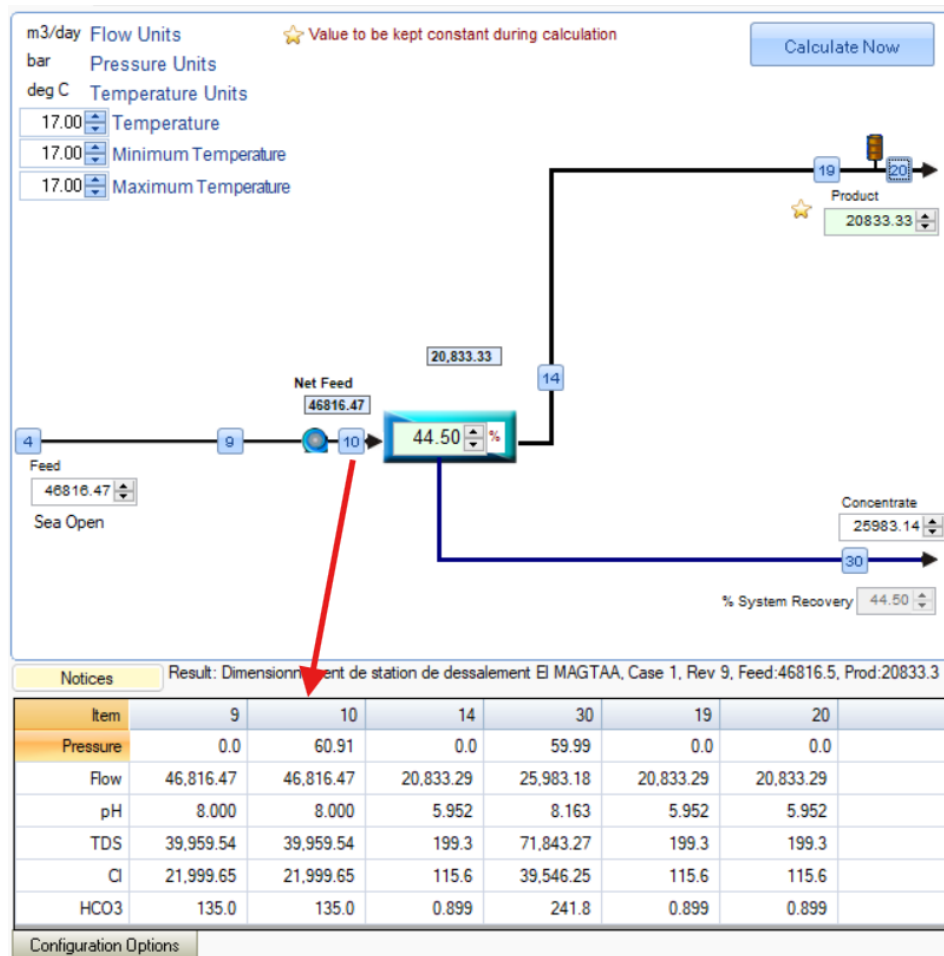


Figure IV. 13 : La conception de schéma du système d'osmose inverse sans récupération d'énergie

## 10. Le choix des récupérateurs d'énergie :

Les récupérateurs d'énergies dans les systèmes osmose inverse sont très importants, ils améliorent l'efficacité énergétique et réduisent la consommation spécifique d'énergie, cette dernière représente l'énergie nécessaire pour produire 1 mètre cube d'eau dessalée, ces dispositifs réduisent la consommation énergétique de 30 à 60% par la récupération de l'énergie hydraulique du flux de rejet à haute pression (concentrat) et la réinjectent dans le système, sans ERD on doit avoir des coûts d'exploitation plus élevés, au contraire d'avoir ces dispositifs

d'ERD dans les systèmes d'osmose inverse qui non seulement optimisent l'efficacité énergétique mais aussi rendent processus de dessalement plus durable et économique

Le type de dispositif d'ERD dans notre station de dessalement est un Turbo-Charger modèle HTC-AT-7200 avec une pression maximale de 82.7bar, on 25 Turbo-Charger pour chacun de train de production.

D'après la simulation l'énergie spécifique sans récupérateurs d'énergie est égale 4.891 kWh/m<sup>3</sup> avec une pression d'alimentation de 60.91bar et après l'introduction de récupérateurs d'énergie, nous pouvons voir que l'énergie spécifique devient 2,993, cette valeur est presque 60 % de la valeur d'énergie spécifique sans récupérateur d'énergie.

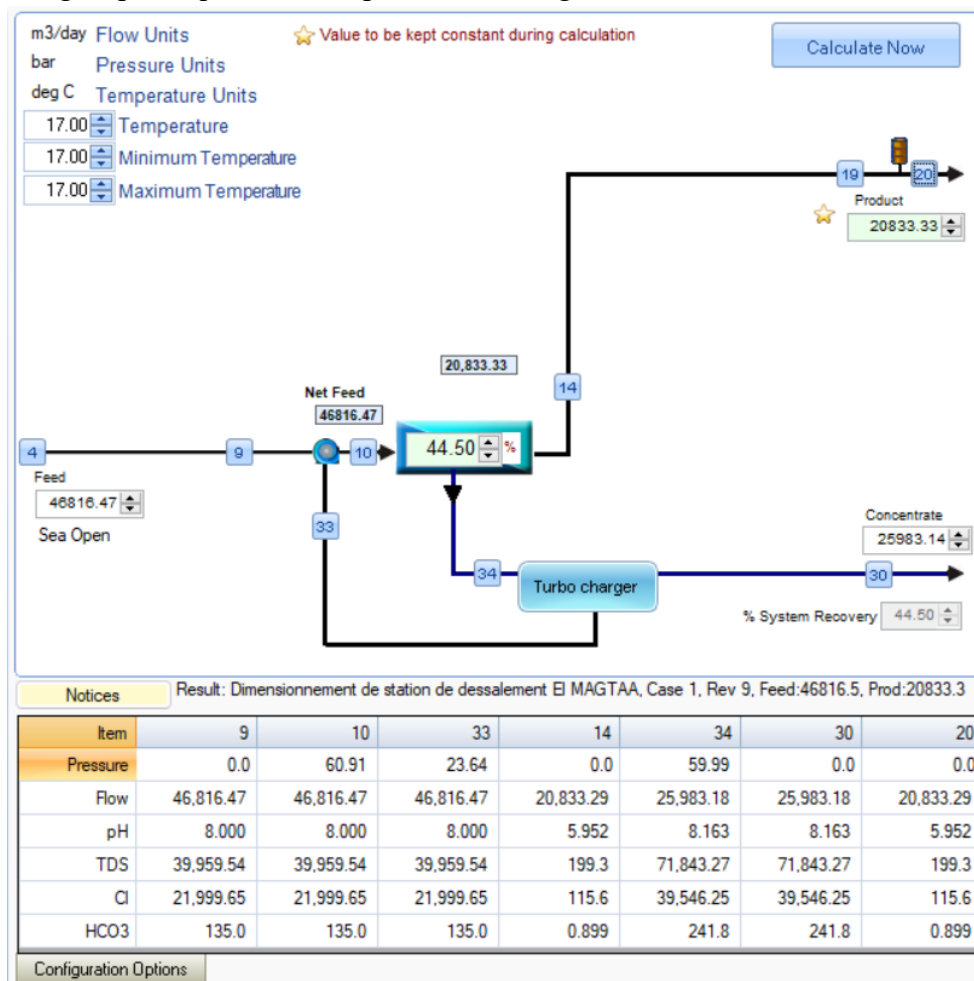


Figure IV. 14 : Le schéma de conception du système d'osmose inverse avec récupération d'énergie à 17°C

## IV.5.2. Les résultats de simulation :

### 1. Pour une température de 17 °C :

**Tableau IV. 6: Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage à 17 °C**

| Stage/Bank Data         | Pass1   | Stage 1    |
|-------------------------|---------|------------|
| Lead Element Type       |         | TM820R-440 |
| Last Element Type       |         | TM820R-440 |
| Total Elements          | 1512    | 1512       |
| Total Vessels           | 216     | 216        |
| Elements per Vessel     |         | 7          |
| Feed Flow               | m3/day  | 46.816     |
| Product Flow            | m3/day  | 20.833     |
| Average Flux            | l/m2/hr | 14.045     |
| Brine Flow              | m3/day  | 25.983     |
| Recovery %              | %       | 44.50 %    |
| Feed Pressure           | bar     | 60.91      |
| dP Elements             | bar     | 0.920      |
| Boost Pressure          | bar     | 0.0        |
| Piping Loss             | bar     | 0.0        |
| Net (Boost - dP piping) | bar     | 0.0        |
| Brine Pressure          | bar     | 59.99      |
| Permeate Pressure       | bar     | 0.0        |
| Feed TDS                | mg/l    | 39.960     |
| Perm TDS                | mg/l    | 199.3      |
| Lead Element            | Pass1   | Stage 1    |
| Feed Flow               | m3/day  | 216.7      |
| Product Flow            | m3/day  | 22.43      |
| Product TDS             | mg/l    | 90.48      |
| Flux                    | l/m2/hr | 22.87      |
| Last Element            | Pass1   | Stage 1    |
| Product Flow            | m3/day  | 6.301      |
| Product TDS             | mg/l    | 550.8      |
| Brine/Product Ratio     | ratio   | 19.090     |
| Brine Flow              | m3/day  | 120.3      |
| Net Driving Pressure    | bar     | 8.402      |
| Beta                    |         | 1.056      |

**Tableau IV. 7 : Les résultats générales de la simulation du système à 17 °C**

|                                   |                    | Overall                      | Pass 1            |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|
| Raw water TDS                     | mg/l               | 39,959.5                     | 39,959.5          |
| EC @25C / @17.00C                 | uS                 | 56,997.9 / 47,303            | 56,997.9 / 47,303 |
| Feed Pressure                     | bar                | 0.0                          | 60.91             |
| Temperature                       | deg C              | 17.000 Min:17.000 MAX:17.000 |                   |
| Total DP                          | bar                | 0.920                        | 0.920             |
| Brine Pressure                    | bar                | 0.0                          | 59.99             |
| Flow Allowance                    | 3.00 yrs           |                              | 0.850             |
| SP % Increase (Max)               | 3.00 yrs           |                              | 22.50%            |
| Recovery                          | %                  | 44.50%                       | 44.5%             |
| Feed Flow                         | m3/day             | 46.816                       | 46.816            |
| Product Flow                      | m3/day             | 20.833                       | 20.833            |
| Average Flux                      | l/m2/hr            | 14.045                       | 14.045            |
| Concentrate Flow                  | m3/day             | 25.983                       | 25.983            |
| Product TDS                       | mg/l               | 199.3                        | 199.3             |
| Concentrate TDS                   | mg/l               | 71,843                       | 71,843            |
| Primary HP Pump kW                | kilowatt           | 2,597.72                     | 2,597.72          |
| Turbocharger   GenericPower Saved | kilowatt           | 1,279.56                     |                   |
| ERD Discharge Pressure            | bar                | 0.0                          |                   |
| Power Consumption                 | kWh/m <sup>3</sup> | 2.993                        | 2.993             |

**Tableau IV. 8 : L'analyse chimique d'eaux de système osmose inverse à 17 °C**

| Ions                         |                  | Feed            | NetFeed         | Conc            | Product       | RO Permeate   |
|------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| Ca                           | mg/l             | 490.0           | 490.0           | 882.3           | 0.741         | 0.741         |
| Mg                           | mg/l             | 1,550           | 1,550           | 2,791           | 2.343         | 2.343         |
| Na                           | mg/l             | 12,037          | 12,037          | 21,632          | 70.01         | 70.01         |
| K                            | mg/l             | 535.0           | 535.0           | 960.5           | 4.351         | 4.351         |
| Ba                           | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| Sr                           | mg/l             | 10,000          | 10,000          | 18,006          | 0.0151        | 0.0151        |
| NH4                          | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| Fe                           | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| HCO3                         | mg/l             | 135.0           | 135.0           | 241.8           | 0.899         | 0.899         |
| Cl                           | mg/l             | 22,000          | 22,000          | 39,546          | 115.6         | 115.6         |
| SO4                          | mg/l             | 3,200           | 3,200           | 5,761           | 5.371         | 5.371         |
| NO3                          | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| F                            | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| Br                           | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| B(Boron)                     | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| SiO2                         | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| PO4                          | mg/l             | 0.0             | 0.0             | 0.0             | 0.0           | 0.0           |
| CO3                          | mg/l             | 3,231           | 3,231           | 10,619          | 3.99E-05      | 3.99E-05      |
| CO2                          | mg/l             | 1,600           | 1,600           | 1,859           | 1.763         | 1.763         |
| TDS                          | mg/l             | 39,960          | 39,960          | 71,843          | 199.3         | 199.3         |
| EC @25C / @17.00C            | uS               | 56,998 / 47,303 | 56,998 / 47,303 | 92,170 / 76,732 | 412.0 / 336.3 | 412.0 / 336.3 |
| pH                           | pH               | 8.000           | 8.000           | 8.163           | 5.952         | 5.952         |
| Osmotic Press (DS1 / Pitzer) | bar              | 28.534 / 27.90  | 28.534 / 27.90  | 50.694 / 51.99  | 0.158 / 0.16  | 0.158 / 0.16  |
| LSI / SDSI                   |                  | 0.89 / 0.00     | 0.89 / 0.00     | 1.87 / 0.59     | -5.76 / -5.85 | -5.76 / -5.85 |
| CaSO4 / SrSO4 %              | %                | 27.5% / 19.1%   | 27.5% / 19.1%   | 59.0% / 50.3%   | 0.0% / 0.0%   | 0.0% / 0.0%   |
| BaSO4 / SiO2 %               | %                | 0.0% / 0.0%     | 0.0% / 0.0%     | 0.0% / 0.0%     |               |               |
| Pitzer % Solubility          | Calcite/Dolomite | 175% / 6,287%   | 175% / 6,287%   | 677% / 99,136%  |               |               |
| Pitzer % Solubility          | CaSO4/SrSO4      | 28% / 29%       | 28% / 29%       | 56% / 58%       |               |               |

Généralement dans le dimensionnement d'un système d'osmose inverse on doit prendre en considération l'effet de température sur la performance des membranes

- 1. Température élevée :** elle joue un rôle dans l'augmentation à le flux de perméat travers les membranes de système d'osmose inverse une élévation de 1°C, cause une augmentation de 3% de flux de perméat[10], car l'eau d'alimentation devient moins visqueux facilitant sa diffusion à travers la membrane,  
La température peut causer une réduction de consommation énergétique par atteindre un même débit de perméat à une pression plus faible, elle influence aussi le rejet des sels par une réduction léger (les pores de la membrane deviennent un peu grands) mais si la température est trop élevée (supérieur à 30°C), elle peut endommager les membranes donc il est important de connaître l'intervalle de température toléré par notre membrane
- 2. Température basse :** elle diminue le flux de perméat travers les membranes de système d'osmose inverse à cause de l'augmentation de la viscosité d'eau d'alimentation donc elle peut réduire la production d'eau produire et en plus une température très basse (généralement moins de 15 °C) peut endommager les membranes, donc il est important d'assurer que la température ne descende pas trop bas.

La configuration de système d'osmose inverse sera faite entre l'intervalle de températures moyennes de l'eau de mer

## 2. Les résultats de simulation à 15°C :

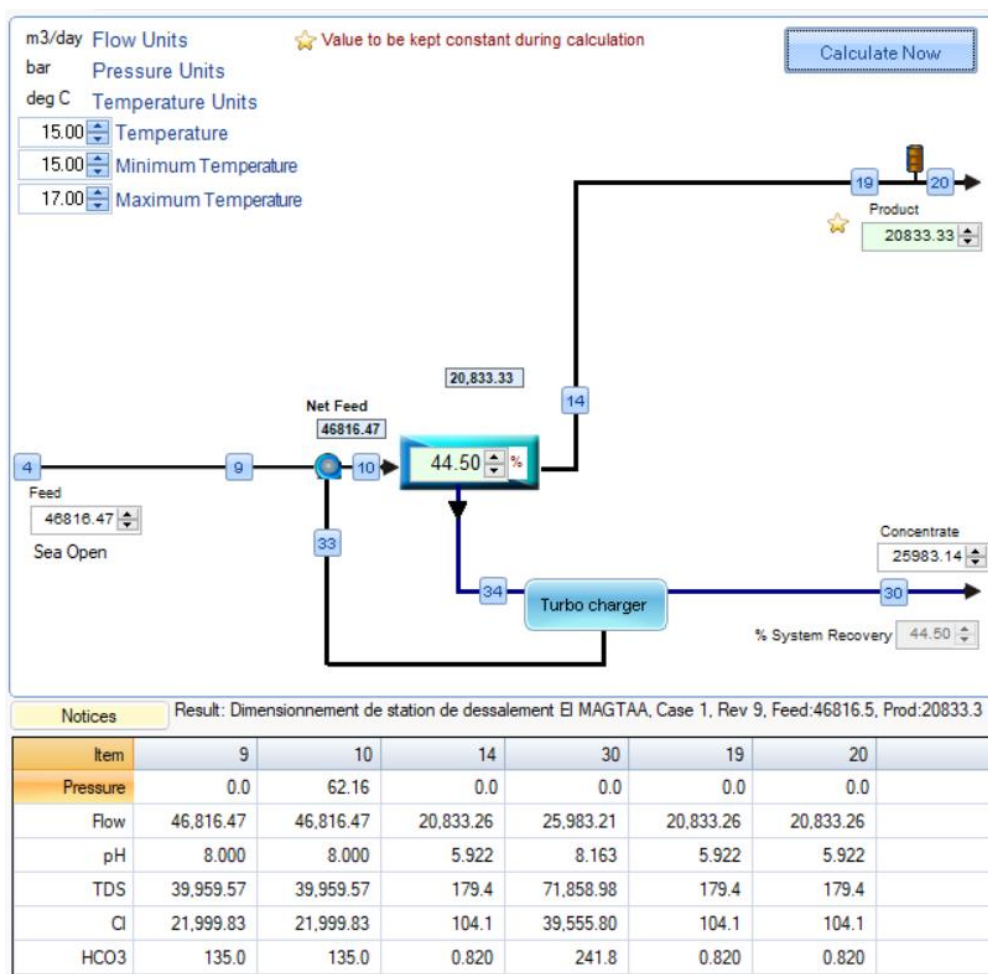


Figure IV. 14 : Le schéma de conception la conception de schéma du système d'osmose inverse à 15°C

**Tableau IV. 9 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage à 15°C**

| Stage/Bank Data         | Pass1   | Stage 1    |
|-------------------------|---------|------------|
| Lead Element Type       |         | TM820R-440 |
| Last Element Type       |         | TM820R-440 |
| Total Elements          | 1512    | 1512       |
| Total Vessels           | 216     | 216        |
| Elements per Vessel     |         | 7          |
| Feed Flow               | m3/day  | 46,816     |
| Product Flow            | m3/day  | 20,833     |
| Average Flux            | l/m2/hr | 14.045     |
| Brine Flow              | m3/day  | 25,983     |
| Recovery %              | %       | 44.50 %    |
| Feed Pressure           | bar     | 62.16      |
| dP Elements             | bar     | 0.962      |
| Boost Pressure          | bar     | 0.0        |
| Piping Loss             | bar     | 0.0        |
| Net (Boost - dP piping) | bar     | 0.0        |
| Brine Pressure          | bar     | 61.20      |
| Permeate Pressure       | bar     | 0.0        |
| Feed TDS                | mg/l    | 39,960     |
| Perm TDS                | mg/l    | 179.4      |
| Lead Element            | Pass1   | Stage 1    |
| Feed Flow               | m3/day  | 216.7      |
| Product Flow            | m3/day  | 21.78      |
| Product TDS             | mg/l    | 84.03      |
| Flux                    | l/m2/hr | 22.20      |
| Last Element            | Pass1   | Stage 1    |
| Product Flow            | m3/day  | 6.654      |
| Product TDS             | mg/l    | 471.4      |
| Brine/Product Ratio     | ratio   | 18.077     |
| Brine Flow              | m3/day  | 120.3      |
| Net Driving Pressure    | bar     | 9.578      |
| Beta                    |         | 1.064      |

**Tableau IV. 10 : Les résultats générales de la simulation par logiciel TORAY à 15°C**

|                     |          | Overall                      | Pass 1              |
|---------------------|----------|------------------------------|---------------------|
| Raw water TDS       | mg/l     | 39,959.6                     | 39,959.6            |
| EC @25C / @15.00C   | uS       | 56,998.1 / 44,879.4          | 56,998.1 / 44,879.4 |
| Feed Pressure       | bar      | 0.0                          | 62.16               |
| Temperature         | deg C    | 15.000 Min:17.000 MAX:17.000 |                     |
| Total DP            | bar      | 0.962                        | 0.962               |
| Brine Pressure      | bar      | 0.0                          | 61.20               |
| Flow Allowance      | 3.00 yrs |                              | 0.850               |
| SP % Increase (Max) | 3.00 yrs |                              | 22.50%              |
| Recovery            | %        | 44.50%                       | 44.5%               |
| Feed Flow           | m3/day   | 46,816                       | 46,816              |
| Product Flow        | m3/day   | 20,833                       | 20,833              |
| Average Flux        | l/m2/hr  | 14.045                       | 14.045              |
| Concentrate Flow    | m3/day   | 25,983                       | 25,983              |
| Product TDS         | mg/l     | 179.4                        | 179.4               |
| Concentrate TDS     | mg/l     | 71,859                       | 71,859              |
| Primary HP Pump kW  | kilowatt | 2,652.45                     | 2,652.45            |

### Remarques :

1. La pression d'alimentation maximale pour le système est de 62,16 bars.
2. Le flux de système est 14,045 l/m<sup>2</sup>/h, il est dans l'intervalle recommandé.
3. Le TDS de perméat est de 179,4 ppm, ce qui est la plus extrême haute qualité, ce qui conforme aux normes de potabilité.

### 3. Les résultats de simulation à 30°C :

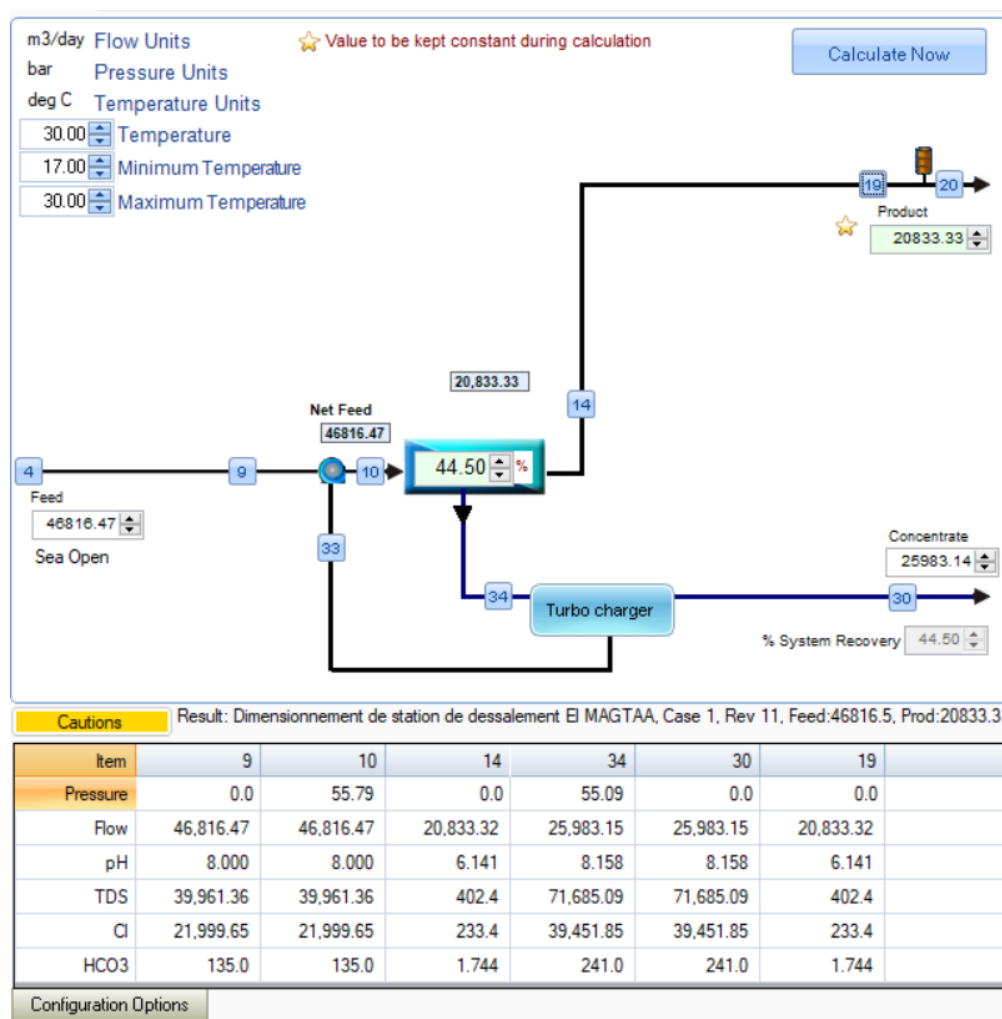


Figure IV. 15 : Le schéma du système d'osmose inverse à 30°C

**Tableau IV. 11 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage à 30°C**

|                                   |                    | Overall                   | Pass 1              |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| Raw water TDS                     | mg/l               | 39,961.4                  | 39,961.4            |
| EC @25C / @30.00C                 | uS                 | 56,999.4 / 63,058.9       | 56,999.4 / 63,058.9 |
| Feed Pressure                     | bar                | 0.0                       | 56.55               |
| Temperature                       | deg C              | 30.00 Min:30.00 MAX:30.00 |                     |
| Total DP                          | bar                | 0.704                     | 0.704               |
| Brine Pressure                    | bar                | 0.0                       | 55.85               |
| Flow Allowance                    | 3.00 yrs           |                           | 0.850               |
| SP % Increase (Max)               | 3.00 yrs           |                           | 22.50%              |
| Recovery                          | %                  | 44.50%                    | 44.5%               |
| Feed Flow                         | m3/day             | 46,816                    | 46,816              |
| Product Flow                      | m3/day             | 20,833                    | 20,833              |
| Average Flux                      | l/m2/hr            | 14.045                    | 14.045              |
| Concentrate Flow                  | m3/day             | 25,983                    | 25,983              |
| Product TDS                       | mg/l               | 401.9                     | 401.9               |
| Concentrate TDS                   | mg/l               | 71,686                    | 71,686              |
| Primary HP Pump kW                | kilowatt           | 1,996.52                  | 1,996.52            |
| Turbocharger   GenericPower Saved | kilowatt           | 1,510.09                  |                     |
| ERD Discharge Pressure            | bar                | 0.0                       |                     |
| Power Consumption                 | kWh/m <sup>3</sup> | 2.300                     | 2.300               |

**Tableau IV. 12 : Les résultats générales de simulation par logiciel TORAY à 30 °C**

| Stage/Bank Data         | Pass1   | Stage 1    |
|-------------------------|---------|------------|
| Lead Element Type       |         | TM820R-440 |
| Last Element Type       |         | TM820R-440 |
| Total Elements          | 1512    | 1512       |
| Total Vessels           | 216     | 216        |
| Elements per Vessel     |         | 7          |
| Feed Flow               | m3/day  | 46,816     |
| Product Flow            | m3/day  | 20,833     |
| Average Flux            | l/m2/hr | 14.045     |
| Brine Flow              | m3/day  | 25,983     |
| Recovery %              | %       | 44.50 %    |
| Feed Pressure           | bar     | 55.79      |
| dP Elements             | bar     | 0.699      |
| Boost Pressure          | bar     | 0.0        |
| Piping Loss             | bar     | 0.0        |
| Net (Boost - dP piping) | bar     | 0.0        |
| Brine Pressure          | bar     | 55.09      |
| Permeate Pressure       | bar     | 0.0        |
| Feed TDS                | mg/l    | 39,961     |
| Perm TDS                | mg/l    | 402.4      |
| Lead Element            | Pass1   | Stage 1    |
| Feed Flow               | m3/day  | 216.7      |
| Product Flow            | m3/day  | 27.82      |
| Product TDS             | mg/l    | 145.9      |
| Flux                    | l/m2/hr | 28.36      |
| Last Element            | Pass1   | Stage 1    |
| Product Flow            | m3/day  | 4.231      |
| Product TDS             | mg/l    | 1.601      |
| Brine/Product Ratio     | ratio   | 28.43      |
| Brine Flow              | m3/day  | 120.3      |
| Net Driving Pressure    | bar     | 3.548      |
| Beta                    |         | 1.023      |

#### 4. Remarques :

1. Le TDS de perméat atteint la valeur maximale de 402.4 ppm qui conforme encore aux normes de potabilité
2. La pression d'alimentation minimale pour le système est 55.79 bars

## 5. L'interprétation :

D'après la simulation on peut remarquer que :

1. La valeur de TDS (Total dissous solides) calculée est généralement similaire aux résultats établis par le logiciel TORAY, cette étude confirme l'efficacité de l'installation d'un système d'osmose inverse OI.
2. Il est important de noter que la qualité de l'eau produit est notamment inférieure aux normes algériennes d'eau potable
3. il est nécessaire d'avoir une reminéralisation pour augmenter la salinité d'eau afin de conformer aux normes de potabilité d'eau
4. La reminéralisation consiste d'ajouter des minéraux essentiels à l'eau dessalée pour améliorer le goût, la qualité et les bénéfices pour la santé humaine, elle généralement suivi l'osmose inverse OI
5. Le processus est expliqué en détail dans le chapitre précédent mais généralement, la reminéralisation consiste d'ajouter le CO<sub>2</sub> et le chaud
6. L'eau de rejet est très chère en chlorure, magnésium, potassium et autres ions c'est causé par le taux de conversion 44.5%
7. Le nombre des éléments établis par logiciel TORAY est 1512 pour chaque unité c'est-à-dire 18144 membranes total dans flux 1

## IV.6. Conclusion :

Dans ce chapitre on a établi le dimensionnement par deux méthodes, un est basé sur calculs manuelles et l'autre est par une simulation en utilisant le logiciel TORAY pour le système osmose inverse de station de dessalement d'eau de mer Magtaa avec une capacité de production de 500 000 mg/l d'eau destiné à l'usage domestique en suivant des étapes de calcul précise. Le but de notre dimensionnement est pour comprendre le fonctionnement de système d'osmose inverse et ses facteurs influents. Le système est équipé des éléments suivants :

1. Pompes d'alimentation de l'osmose inverse (OI)
2. Pompes haute pression (HP) de l'osmose inverse (OI)
3. Dispositif de récupération d'énergie (Turbo-Charger)
4. Soupape de régulation de pression (PCV)
5. Tubes de pression et supports de l'OI
6. 12 unités d'osmose inverse avec total de 18 144 Membranes de l'OI
7. Un rejet de débit m<sup>3</sup>/j
8. Une production d'eau de OI 20 833.33 m<sup>3</sup>/j pour chaque unité de production

En plus, avec la simulation qui est réalisé par logiciel TORAY pour une unité de production on a des résultats efficaces qui montre que :

1. La salinité d'eau de perméat est de 199.3 ppm (mg/l)
2. La salinité d'eau de rejet est de 71 843 ppm (mg/l)
3. L'énergie spécifiques est de 2.993 kWh/m<sup>3</sup>

Nous avons établi un calcul d'erreur qui concerne la salinité d'eau de perméat et de rejet pour ces deux méthodes, nous avons remarqué que le taux d'erreur est 0.01 qui est moins de 0.03 ce qui vérifie le dimensionnement de station de dessalement

**CHAPITRE V :**  
**Optimisation du système d'osmose inverse**

## V.1. Introduction :

La station de dessalement MAGTAA est l'une des stations majeures en Algérie qui assure un débit d'eau potable de 500 000 m<sup>3</sup>/j, malgré ça notre station a connu plusieurs problèmes qui ont influencé sa performance, à tel que point que la production actuelle est environ 420 000, cela peut être justifié par certains problèmes membranaires comme le colmatage, entartrage ou encrassement, plusieurs dégradations des équipements et autres problèmes, dans ce chapitre nous essayons d'optimiser notre système de dessalement

## V.2. Recommandations techniques pour l'optimisation du système de dessalement :

Nous avons proposé certaines recommandations techniques pour optimiser et améliorer notre système de dessalement, ces recommandations sont généralement les plus souvent pour l'industrie de déminéralisation et de dessalement et pour notre cas elles sont basées sur les observations faites et l'état de la station afin de rendre l'étude plus réaliste et adaptée aux contraintes industrielles :

**Tableau V. 1 : quelques recommandations pour l'optimisation de systèmes de dessalement MAGTAA**

| Élément                  | Recommandation                                 | Justification technique                                                          |
|--------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Prétraitement            | Ajouter un filtre à charbon actif (GAC ou PAC) | Éliminer le chlore libre et les matières organiques et protéger les membranes RO |
| Double passe RO          | Intégrer une seconde étape RO                  | Améliorer la qualité du perméat pour des usages exigeants (< 10 µS/cm)           |
| Surdimensionnement       | Prévoir un facteur de sécurité de 20 à 30 %    | Compenser le vieillissement, les nettoyages fréquents et les débits variables    |
| Nettoyage en place (CIP) | Installer un système de nettoyage chimique     | Maintenir les performances membranaires et réduire les arrêts prolongés          |

Dans ce chapitre nous avons choisi l'option de de double passe OI c'est-à-dire nous voulons intégrer une deuxième étape ou étage dans notre système d'osmose inverse à partir du logiciel de simulation TORAY, nous voulons examiner plusieurs options de configuration possibles

## V.3. Evaluation primaire de la performance d'une unité RO :

Malgré les restrictions et les limites concernant les données analytiques de notre système d'osmose inverse, nous pouvons avoir une observation initiale qui aide à détecter d'éventuels problèmes, à orienter les actions correctives et à comprendre les tendances de performance de la station, ce qui est précieux pour assurer une production d'eau optimale et fiable.

Nous avons analysé la performance d'unité d'osmose inverse pendant 1 mois en utilisant le logiciel TORAY TRAK qui permet d'évaluer et normaliser les performances des éléments membrane d'osmose inverse (RO) produits par Toray, nous pouvons comparer les performances actuelles des membranes dans le système en tenant en compte des variables opérationnelles comme la température et la salinité

## V.4. Etapes dévaluation :

Le logiciel, souvent fourni sous forme de fichiers Excel faciles à utiliser, supporte plusieurs types de systèmes, qu'il s'agisse d'un seul étage ou de deux étages. Il inclut des outils pour importer et exporter les données, des graphiques déjà prêts à l'emploi, ainsi que des formules de normalisation basées sur la norme ASTM D4516 (une méthode qui permet de normaliser les données de performance des membranes d'osmose inverse). Tout cela aide à suivre précisément la performance des membranes d'osmose inverse Toray, et à savoir quand il est temps de faire un nettoyage ou un entretien, pour garder la station au meilleur de son fonctionnement.[11]

### 1. Le choix du type de configuration :

Dans notre cas, c'est une seule étape (one stage totale)

### 2. La configuration des informations de système :

On introduire le type de membrane, nombre des tubes de pression, nombre des éléments et les unités de systèmes.

| Measured Permeate Flow Values                                              |                                                                                                                                    | Toray Trak Excel           |                     | Single (1) Stage System, Total Perm Flow |                              |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| Overall / Total Perm Flow                                                  |                                                                                                                                    | 3.1.5                      | Version - NO MACROS |                                          |                              |
|                                                                            |                                                                                                                                    | 2019-09-18                 | Date Released       |                                          |                              |
| System Configuration Information - Select Elements / Units                 |                                                                                                                                    |                            |                     |                                          |                              |
| Overall                                                                    |                                                                                                                                    | STAGE 2 - not used         | STAGE 3 - not used  |                                          |                              |
| Select Element Model                                                       | TM820R-440                                                                                                                         | TM720L-400                 | TM720L-400          |                                          |                              |
| Select Number of vessels/stage                                             | 216                                                                                                                                | not used                   | not used            |                                          |                              |
| Select Number of elements/vessel                                           | 7                                                                                                                                  | not used                   | not used            |                                          |                              |
| Number of elements/stage and total                                         | 1,512.00                                                                                                                           | not used                   | not used            | 1,512.00                                 | TOTAL ELEMENTS               |
| Membrane area/stage and total                                              | 61,806.02                                                                                                                          | not used                   | not used            | 61,806.02                                | TOTAL AREA M^2               |
| Flux/stage and total                                                       | 0.31                                                                                                                               | not used                   | not used            | 0.31                                     | Average Reference Flux (LMH) |
| Baseline permeate flow/stage and total                                     | 19.00 m3/hr                                                                                                                        | not used                   | not used            | 19.00                                    | Baseline Permeate Flow Rate  |
| Select Temperature Units                                                   | <input type="radio"/> Deg F<br><input checked="" type="radio"/> Deg C                                                              | DO NOT CHANGE THIS AREA!!! |                     | <== Select Temperature Units             |                              |
| Select Pressure Units                                                      | <input type="radio"/> psi<br><input checked="" type="radio"/> bar<br><input type="radio"/> kpa                                     | C TempUnits                |                     | <== Select Pressure Units                |                              |
| Select Flow Units                                                          | <input type="radio"/> gpm<br><input checked="" type="radio"/> m^3/hr<br><input type="radio"/> l/min<br><input type="radio"/> l/sec | bar PressUnits             |                     | <== Select Flow Units                    |                              |
| NOTE: If you change anything here, recalculate the whole sheet Ctrl+Alt+F9 |                                                                                                                                    |                            |                     |                                          |                              |

Figure V. 1 : La configuration de systèmes

### 3. Introduire les informations de performance de système :

On clique sur « Data » ou on doit remplir des informations concernant la performance du système qui sont la température, la conductivité de l'eau d'alimentation, du perméat

| Data Entry Cells are YELLOW with Black Text |                     |                                    |       |            |                    |                         |              |               |                        |               |                        |                         |
|---------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------|------------|--------------------|-------------------------|--------------|---------------|------------------------|---------------|------------------------|-------------------------|
| USE CONFIGURATION SHEET FOR UNITS ==>       |                     |                                    | C     | uS         | uS                 | m3/hr                   | m3/hr        | bar           | bar                    | bar           | m3/hr                  | bar                     |
| DATE & TIME                                 | Elapsed Time<br>day | Comments                           | Temp  | Feed<br>uS | Overall<br>Perm uS | Overall<br>Perm<br>Flow | Conc<br>Flow | Feed<br>Press | Final<br>Conc<br>Press | Perm<br>Press | Feed<br>Flow<br>Calc'd | Overall<br>DP<br>Calc'd |
| 2025-01-01                                  |                     | <First Data goes here>             | 17.3  | ####       | 498                | 700.0                   | 873.0        | 57.4          | 56.7                   | 0.1           | #####                  | 0.67                    |
| 2025-01-02                                  | 1                   | Tip for cleaner graphs -           | 17.0  | ####       | 508.0              | 700.00                  | 873.03       | 57.54         | 56.74                  | 0.09          | 1573.03                | 0.80                    |
| 2025-01-03                                  | 2                   | Only add a date when you have data | 17.0  | ####       | 425.1              | 700.00                  | 873.03       | 57.54         | 56.74                  | 0.09          | 1573.03                | 0.80                    |
| 2025-01-04                                  | 3                   | Formulas exist to row ~200. Below  | 17.0  | ####       | 532.4              | 700.00                  | 873.00       | 57.54         | 56.74                  | 0.09          | 1573.00                | 0.80                    |
| 2025-01-05                                  | 4                   | R200, copy row to add more data    | 17.0  | ####       | 516.8              | 700.00                  | 873.03       | 57.54         | 56.74                  | 0.09          | 1573.03                | 0.80                    |
| 2025-01-06                                  | 5                   |                                    | 17.0  | ####       | 534.3              | 700.00                  | 873.03       | 57.54         | 56.74                  | 0.09          | 1573.03                | 0.80                    |
| 2025-01-07                                  | 6                   |                                    | 17.3  | ####       | 604.5              | 700.00                  | 873.03       | 57.41         | 56.74                  | 0.09          | 1573.03                | 0.67                    |
| 2025-01-08                                  | 7                   |                                    | 16.9  | ####       | 538.2              | 700.00                  | 873.03       | 57.58         | 56.91                  | 0.09          | 1573.03                | 0.67                    |
| 2025-01-09                                  | 8                   |                                    | 16.6  | ####       | 563.6              | 700.00                  | 873.03       | 57.66         | 56.95                  | 0.09          | 1573.03                | 0.71                    |
| 2025-01-10                                  | 9                   |                                    | 16.8  | ####       | 557.1              | 700.00                  | 873.03       | 57.66         | 56.95                  | 0.09          | 1573.03                | 0.71                    |
| 2025-01-11                                  | 10                  |                                    | 17.6  | ####       | 533.0              | 695.00                  | 866.79       | 57.24         | 56.55                  | 0.09          | 1561.79                | 0.69                    |
| 2025-01-12                                  | 11                  |                                    | 17.6  | ####       | 565.5              | 695.00                  | 866.79       | 57.24         | 56.55                  | 0.09          | 1561.79                | 0.69                    |
| 2025-01-13                                  | 12                  |                                    | 15.7  | 56600      | 581.8              | 695.00                  | 866.79       | 58.06         | 57.33                  | 0.09          | 1561.79                | 0.73                    |
| 2025-01-14                                  | 13                  |                                    | 15.4  | 56500      | 590.9              | 693.00                  | 864.30       | 58.16         | 57.43                  | 0.09          | 1557.30                | 0.73                    |
| 2025-01-15                                  | 14                  |                                    | 15.9  | 56700      | 568.8              | 692.00                  | 863.05       | 57.91         | 57.19                  | 0.09          | 1555.05                | 0.72                    |
| 2025-01-16                                  | 15                  |                                    | 16.6  | 56700      | 551.9              | 690.00                  | 860.56       | 57.56         | 56.86                  | 0.09          | 1550.56                | 0.70                    |
| 2025-01-17                                  | 16                  |                                    | 16.7  | 56500      | 553.2              | 683.00                  | 851.83       | 57.38         | 56.69                  | 0.09          | 1534.83                | 0.69                    |
| 2025-01-18                                  | 17                  |                                    | 15.1  | ####       | 507.0              | 685.00                  | 854.32       | 58.13         | 57.41                  | 0.09          | 1539.32                | 0.72                    |
| 2025-01-19                                  | 18                  |                                    | 15.8  | ####       | 514.2              | 693.00                  | 864.30       | 57.97         | 57.25                  | 0.09          | 1557.30                | 0.72                    |
| 2025-01-20                                  | 19                  |                                    | 15.7  | ####       | 520.0              | 688.00                  | 864.30       | 57.92         | 57.20                  | 0.09          | 1552.30                | 0.72                    |
| 2025-01-21                                  | 20                  |                                    | 18.4  | 56600      | 526.5              | 685.00                  | 854.32       | 56.75         | 56.08                  | 0.09          | 1539.32                | 0.67                    |
| 2025-01-22                                  | 21                  |                                    | 17.0  | 56500      | 527.8              | 685.00                  | 854.32       | 57.31         | 56.62                  | 0.09          | 1539.32                | 0.69                    |
| 2025-01-23                                  | 22                  |                                    | 17.5  | ####       | 529.8              | 685.00                  | 854.32       | 57.11         | 56.43                  | 0.09          | 1539.32                | 0.68                    |
| 2025-01-24                                  | 23                  |                                    | 17.4  | 56500      | 531.1              | 682.00                  | 850.58       | 57.10         | 56.42                  | 0.09          | 1532.58                | 0.68                    |
| 2025-01-25                                  | 24                  |                                    | 17.6  | 56500      | 561.6              | 680.00                  | 902.08       | 56.98         | 56.30                  | 0.09          | 1582.08                | 0.68                    |
| 2025-01-26                                  | 25                  |                                    | 17.70 | ####       | 585.0              | 680.00                  | 902.08       | 56.94         | 56.26                  | 0.09          | 1582.08                | 0.68                    |
| 2025-01-27                                  | 26                  |                                    | 18.6  | ####       | 536.1              | 680.00                  | 902.08       | 56.60         | 55.94                  | 0.09          | 1582.08                | 0.66                    |
| 2025-01-28                                  | 27                  |                                    | 18.9  | ####       | 601.3              | 670.00                  | 835.61       | 56.32         | 55.67                  | 0.09          | 1505.61                | 0.65                    |
| 2025-01-29                                  | 28                  |                                    | 16.8  | ####       | 516.8              | 670.00                  | 835.61       | 57.11         | 56.43                  | 0.09          | 1505.61                | 0.68                    |
| 2025-01-30                                  | 29                  |                                    | 16.4  | 56500      | 575.3              | 700.00                  | 873.03       | 57.87         | 57.15                  | 0.09          | 1573.03                | 0.72                    |
| 2025-01-31                                  | 30                  |                                    | 23.2  | 56500      | 567.5              | 720.00                  | 897.97       | 55.75         | 55.11                  | 0.09          | 1617.97                | 0.64                    |

Figure V. 2 : Les paramètres de la performance de systèmes

#### 4. Les résultats :

Le logiciel Toray Trak nous offre des graphs de performance normalisé de système OI ces graphs sont pour le débit de perméat, passage des sels, pression différentielle et du flux spécifique, ils aident à optimiser la maintenance et la gestion des membranes RO, permettant d'allonger leur durée de vie et de maintenir la qualité de l'eau traitée.

##### 1. Le débit de perméat normalisé :

Le graphique montre que le système d'osmose inverse est bien entretenu, avec des pics de performance liés aux nettoyages réalisés.

Les baisses ponctuelles correspondent aux phases où la membrane se salit, mais le fait que le débit remonte rapidement témoigne que les actions correctives ont été efficaces.

La ligne bleue représente un seuil de référence qui sert à déclencher une intervention si le débit de perméat normalisé approche ce niveau critique.

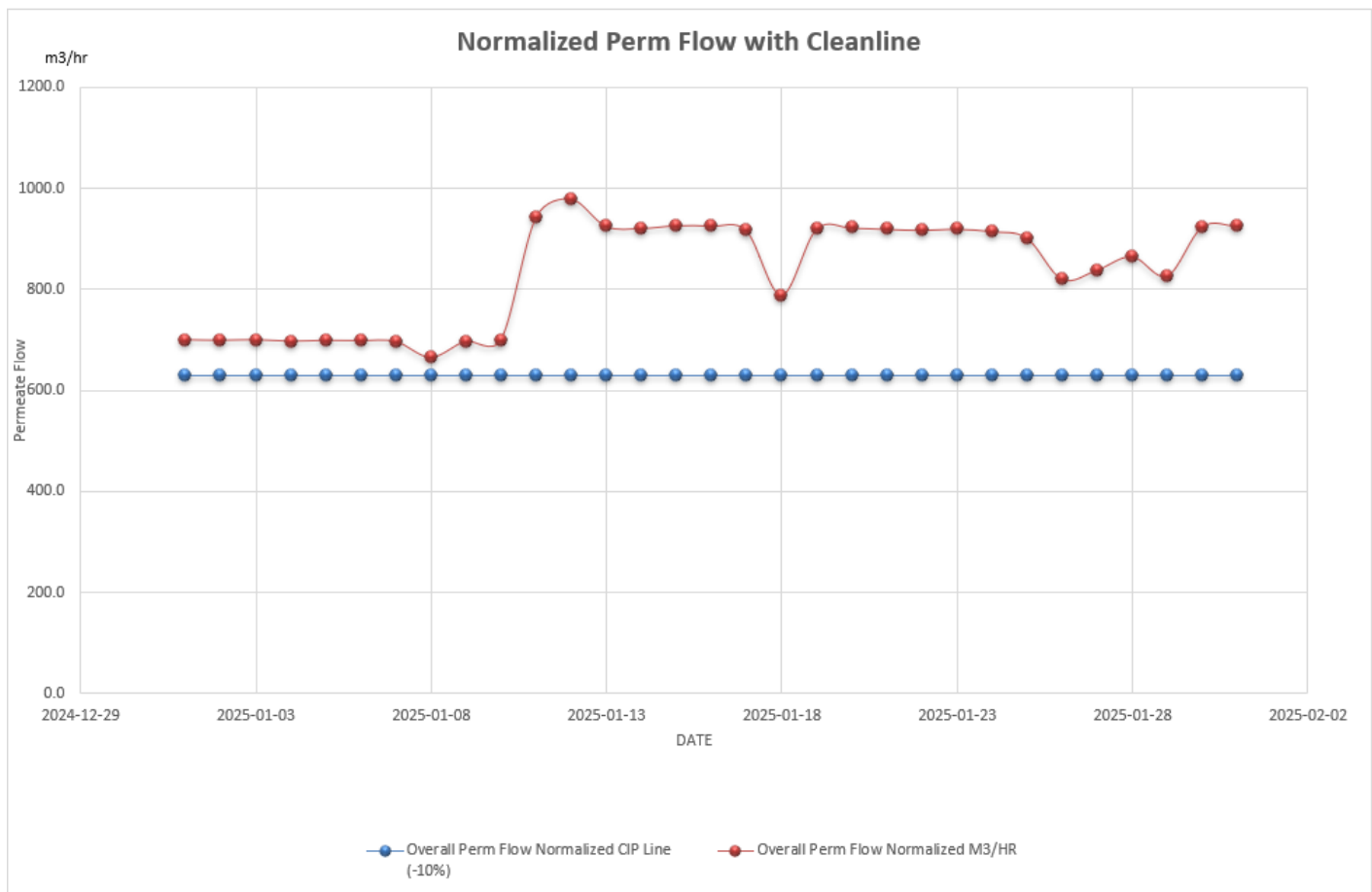


**Figure V. 3 : Le débit de Perméat normalisé**

## 2. Le passage de sels normalisée :

Ce graphique permet de suivre la qualité de l'eau produite par la membrane à travers la capacité de retenir les sels, quand on observe une augmentation du passage de sel, cela signifie souvent que la membrane commence à être encrassée ou qu'elle s'abîme avec le temps. Mais le passage des sels reste généralement en dessous de la ligne de référence (la ligne CIP) dans la majorité du temps, donc la membrane fonctionne bien et l'eau produite garde une bonne qualité et conforme aux normes attendues.

Si le passage de sel dépasse cette limite, c'est un signal d'alarme qu'il faut nettoyer la membrane pour éviter des dommages plus importants et garantir la qualité de l'eau sur le long

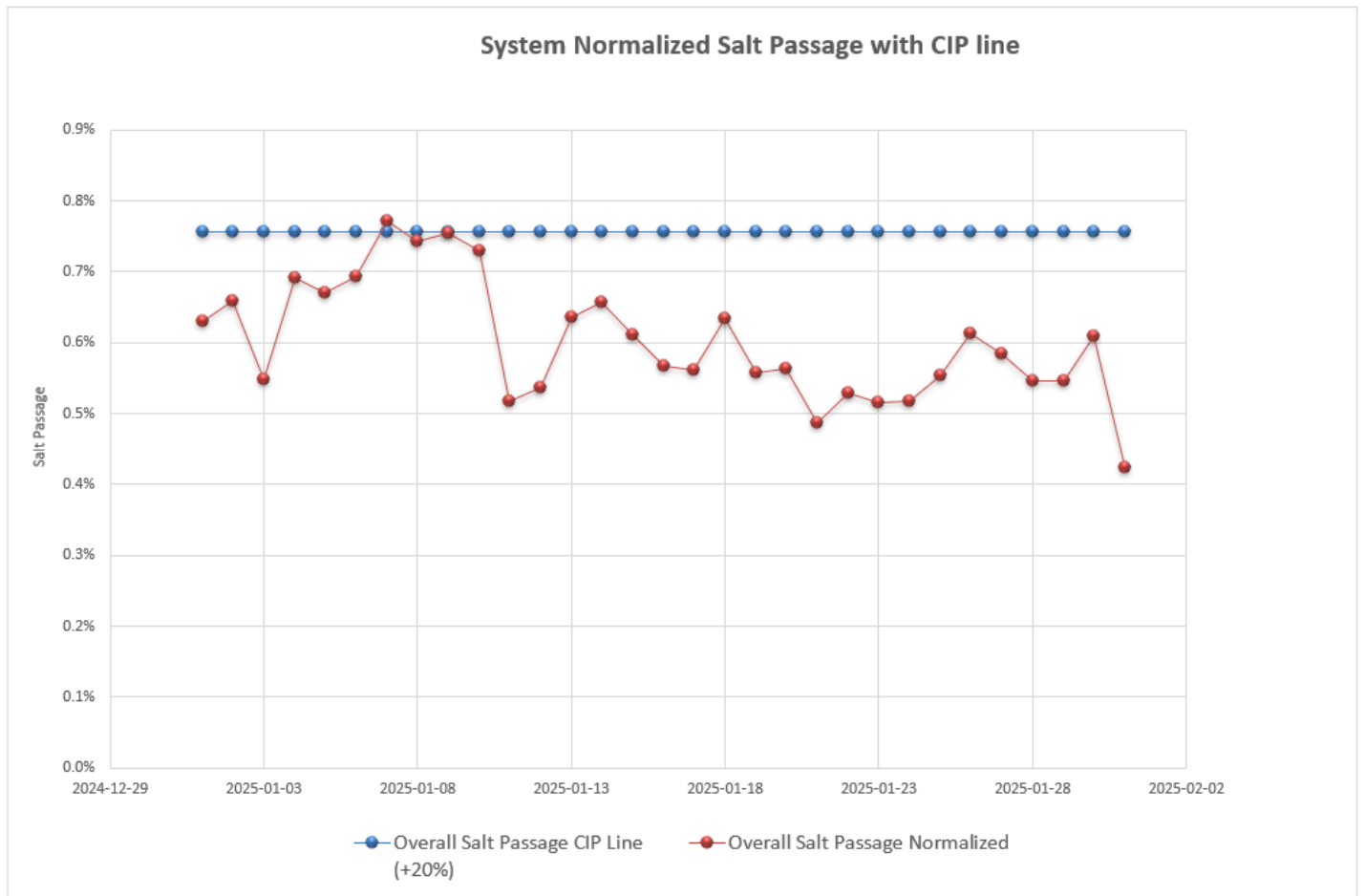


Figure V. 4 : Le passage de sels normalisé

### 3. Pression différentielle normalisée :

La différence entre les deux courbes montre clairement que le nettoyage CIP peut vraiment améliorer la performance du système. Quand nous avons un manque de nettoyage, la pression nécessaire pour garder le même débit augmente, ce qui fait consommer plus d'énergie.

La baisse progressive de la courbe rouge indique qu'il est important de faire des nettoyages réguliers des membranes pour que le système fonctionne toujours bien. Lorsque on fait le nettoyage, la pression redevient stable ce qui est un bon signe, cela veut dire que le système est bien entretenu et en bonne santé.

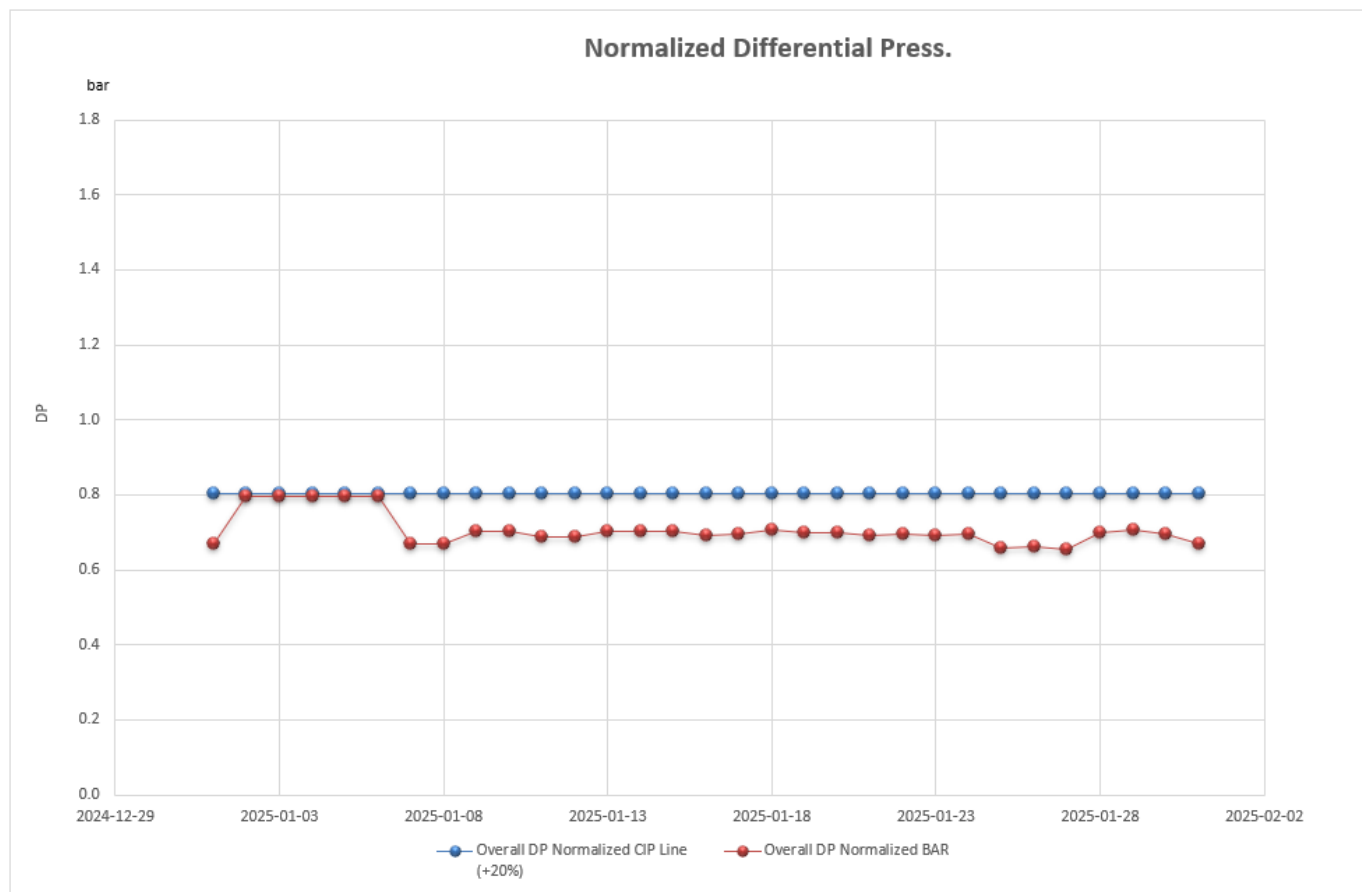


Figure V. 5 : La pression différentielle normalisée

### V.5. Les résultats d'analyse physico-chimique d'eau d'alimentation et perméat par la station El Magtaa :

Nous avons établi des analyses physiques de l'eau de mer et l'eau traitée (perméat) chez le laboratoire de la station pendant le mois de janvier, les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau V. 2 : L'analyse physique d'eau de mer et d'eau traitée (perméat)

| Paramètre  | PH          |            | Température °C |            | Conductivité µs/cm |            | TDS mg /L  |            | Turbidité NTU |            | Chlore Ppm  |            |
|------------|-------------|------------|----------------|------------|--------------------|------------|------------|------------|---------------|------------|-------------|------------|
|            | Eau traitée | Eau de mer | Eau traitée    | Eau de mer | Eau traitée        | Eau de mer | Eau Traité | Eau de mer | Eau traitée   | Eau de mer | Eau Traitée | Eau De mer |
| 2025-01-01 | 8.40        | 8.44       | 17.1           | 17.3       | 497.9              | 45760      | 766        | 39480      | 0.320         | 0.78       | 1.03        | 0.00       |
| 2025-01-02 | 8.40        | 8.41       | 17.2           | 17.0       | 508                | 45490      | 783        | 39760      | 0.290         | 0.571      | 1.38        | 0.00       |
| 2025-01-03 | 8.44        | 8.41       | 17.7           | 17.0       | 425.1              | 45500      | 654        | 39620      | 0.240         | 0.630      | 1.12        | 0.00       |
| 2025-01-04 | 8.40        | 8.42       | 16.8           | 17.0       | 532.35             | 45400      | 819        | 39760      | 0.220         | 0.530      | 1.09        | 0.00       |
| 2025-01-05 | 8.50        | 8.42       | 14.7           | 17.0       | 516.75             | 45490      | 795        | 39620      | 0.280         | 0.389      | 1.11        | 0.00       |
| 2025-01-06 | 8.50        | 8.41       | 16.7           | 17.0       | 534.3              | 45470      | 822        | 39550      | 0.300         | 0.383      | 1.46        | 0.00       |
| 2025-01-07 | 8.50        | 8.39       | 18.2           | 17.3       | 604.5              | 45620      | 930        | 39760      | 0.280         | 0.637      | 1.07        | 0.00       |
| 2025-01-08 | 8.39        | 8.40       | 16.8           | 16.9       | 538.2              | 43270      | 828        | 39620      | 0.270         | 0.459      | 1.10        | 0.01       |
| 2025-01-09 | 8.33        | 8.40       | 17.2           | 16.6       | 563.55             | 45250      | 867        | 39550      | 0.240         | 0.557      | 1.21        | 0.00       |
| 2025-01-10 | 8.50        | 8.37       | 18.5           | 16.8       | 557.05             | 45620      | 857        | 39410      | 0.220         | 0.532      | 1.00        | 0.01       |
| 2025-01-11 | 8.46        | 8.41       | 17.9           | 17.6       | 533                | 57190      | 820        | 39480      | 0.230         | 0.812      | 1.34        | 0.00       |

|            |      |      |      |       |        |       |     |       |       |       |      |      |
|------------|------|------|------|-------|--------|-------|-----|-------|-------|-------|------|------|
| 2025-01-12 | 8.50 | 8.41 | 18.8 | 17.6  | 565.5  | 58400 | 870 | 39480 | 0.260 | 0.241 | 1.38 | 0.00 |
| 2025-01-13 | 8.40 | 8.40 | 16.8 | 15.7  | 581.75 | 56600 | 895 | 39620 | 0.230 | 0.815 | 1.42 | 0.00 |
| 2025-01-14 | 8.45 | 8.39 | 16.0 | 15.4  | 590.85 | 56500 | 909 | 39550 | 0.250 | 0.869 | 1.07 | 0.00 |
| 2025-01-15 | 8.34 | 8.39 | 16.9 | 15.9  | 568.75 | 56700 | 875 | 39690 | 0.240 | 0.801 | 1.16 | 0.00 |
| 2025-01-16 | 8.41 | 8.39 | 16.6 | 16.6  | 551.85 | 56700 | 849 | 39690 | 0.210 | 0.492 | 1.05 | 0.01 |
| 2025-01-17 | 8.50 | 8.40 | 16.6 | 16.7  | 553.15 | 56500 | 851 | 39550 | 0.270 | 0.487 | 1.14 | 0.00 |
| 2025-01-18 | 8.50 | 8.49 | 16.8 | 15.1  | 507    | 50720 | 780 | 39480 | 0.250 | 0.527 | 1.18 | 0.00 |
| 2025-01-19 | 8.36 | 8.49 | 16.6 | 15.8  | 514.15 | 56370 | 791 | 39550 | 0.240 | 0.733 | 1.00 | 0.01 |
| 2025-01-20 | 8.83 | 8.49 | 16.0 | 15.7  | 520    | 56600 | 800 | 39620 | 0.250 | 0.208 | 1.22 | 0.00 |
| 2025-01-21 | 8.50 | 8.68 | 16.5 | 18.4  | 526.5  | 56600 | 810 | 39620 | 0.220 | 0.237 | 1.08 | 0.00 |
| 2025-01-22 | 8.36 | 8.40 | 17.5 | 17.0  | 527.8  | 56500 | 812 | 39550 | 0.220 | 0.395 | 1.02 | 0.00 |
| 2025-01-23 | 8.35 | 8.39 | 17.7 | 17.5  | 529.75 | 56600 | 815 | 39620 | 0.250 | 0.236 | 1.42 | 0.00 |
| 2025-01-24 | 8.36 | 8.44 | 17.6 | 17.4  | 531.06 | 56500 | 817 | 39550 | 0.270 | 0.299 | 1.19 | 0.00 |
| 2025-01-25 | 8.37 | 8.41 | 17.8 | 17.6  | 561.6  | 56500 | 864 | 39550 | 0.250 | 0.241 | 1.00 | 0.00 |
| 2025-01-26 | 8.25 | 8.40 | 18.5 | 17.70 | 585    | 53240 | 900 | 39830 | 0.200 | 0.344 | 1.30 | 0.01 |
| 2025-01-27 | 8.50 | 8.38 | 18.0 | 18.6  | 596.05 | 54200 | 917 | 39620 | 0.290 | 0.199 | 1.00 | 0.00 |
| 2025-01-28 | 8.50 | 8.40 | 18.4 | 18.9  | 601.25 | 55120 | 925 | 39620 | 0.240 | 0.341 | 1.00 | 0.01 |
| 2025-01-29 | 8.37 | 8.41 | 17.6 | 16.8  | 516.75 | 53250 | 795 | 39550 | 0.180 | 0.571 | 1.03 | 0.00 |
| 2025-01-30 | 8.50 | 8.42 | 16.5 | 16.4  | 575.25 | 56500 | 885 | 39550 | 0.230 | 0.646 | 1.07 | 0.00 |
| 2025-01-31 | 8.50 | 8.44 | 16.8 | 23.2  | 567.45 | 56500 | 873 | 39550 | 0.270 | 0.635 | 1.50 | 0.00 |

D'après les analyses établis nous pouvons remarquer que pour l'eau d'alimentation le pH n'est pas constant, il varie entre 8.37 et 8.68, le pH d'eau traité est généralement entre 8.34 et 8.50 ce qui conforme aux normes de potabilité d'après l'organisation de la santé mondiale (OMS) et les normes européennes qui concernent les eaux destinées à la consommation humaines.

Nous savons que la conductivité est reliée proportionnellement à la quantité des solides dissous dans l'eau TDS donc plus la concentration de matière dissoute et est élevée, plus la conductivité est élevée. Nous observons que la conductivité pour l'eau de mer est très élevée, la valeur moyenne est 27018.7µs/cm et peut atteindre le maximum de 58400 µs/cm. La valeur de conductivité pour l'eau traitée est généralement dans l'intervalle de potabilité.

La valeur moyenne de TDS est élevée pour l'eau de mer, variant entre 39410 et 39760 ppm et entre 654 et 930 ppm pour l'eau traité en raison de la forte présence d'ions dans l'eau de mer. Nous pouvons remarquer que la valeur pour l'eau traitée est supérieure aux normes de la potabilité, D'après les valeurs mémoires nous pouvons déduire que le taux de rejet est environ 97% qui est inférieur à la valeur initiale 99 %, ce qui est expliqué par un colmatage persistant des membranes d'osmose inverse.

Nous pouvons remarquer que la turbidité d'eau traité est inférieure à la turbidité d'eau de mer, ce qui est expliqué par la rétention des matières en suspension (MES) par les membranes d'ultrafiltration pendant le prétraitement. Ces valeurs respectent bien les normes (0,5 NTU) selon l'OMS.

La teneur du chlore a été réduite par le métabisulfite de sodium, avant le passage d'eau dans le système d'osmose inverse, pour éviter la dégradation des membranes du Polyamide aromatique

En conclusion, d'après l'analyse primaire sur une unité d'osmose inverse nous pouvons former une idée générale sur la performance du système, nous pouvons dire que le système est en état d'insuffisance.

Nous avons remarqué que le débit de perméat horaire est inférieur au débit moyen ce qui signifie que nous devons mettre en place certaines modifications pour optimiser la performance de notre système de dessalement.

## V.6 La configuration en deux étages :

Elle est considérée comme une partie de l'optimisation du système de dessalement RO, elle permet d'améliorer le rendement de récupération de l'eau, d'augmenter l'efficacité de dessalement et de réduire le coût énergétique.

La configuration en deux étages sera faite à logiciel de TORAY avec une procédure qui est similaire au dimensionnement en un seul étage

### V.6.1 Le choix de nombre des étages :

Le nombre des étages n'est pas choisi arbitrairement, il est en fonction de taux de conversion souhaité, du nombre des éléments par tube de pression et de la qualité d'eau d'alimentation, la règle est simple : Plus le taux de récupération est élevé et la qualité de l'eau d'alimentation est faible, plus on faudra avoir d'éléments en série pour atteindre le résultat désiré.

Il est aussi important de prendre à considération que le nombre d'étages définit le nombre de tubes de pression, à travers ces derniers l'eau d'alimentation (feed)

Tableau V. 3 : Le nombre d'étages en traitement d'eau de mer [12]

| Taux de récupération en (%) | Nombre d'éléments en série | Nombre d'étages (6 éléments par tube) | Nombre d'étages (7 éléments par tube) | Nombre d'étages (8 éléments par tube) |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 35-40                       | 6                          | 1                                     | 1                                     | -                                     |
| 40-45                       | 7-12                       | 2                                     | 1                                     | 1                                     |
| 45-50                       | 8-12                       | 2                                     | 2                                     | 1                                     |
| 55-60                       | 12-14                      | 2                                     | 2                                     | -                                     |

Pour notre conception, nous allons garder le débit d'alimentation et augmenter le taux de conversion jusqu'à 55 %, et dans notre dimension nous avons 6 éléments par tube

Donc les nouveaux débits de conception devront :

- **Débit d'alimentation :**  $Q_{al} = 561\ 600\ m^3/j$
- **Débit d'alimentation par unité :**  $Q_{al\ unité\ i} = 46\ 800\ m^3/j$
- **Débit de perméat totale :**  $Q_{p\ totale} = 308\ 880\ m^3/j$

- **Débit de perméat par unité :**  $Q_{p \text{ unité } i} = 25\,740 \text{ m}^3/\text{j}$
- **Débit de rejet totale :**  $Q_{r \text{ totale}} = 252\,720 \text{ m}^3/\text{j}$
- **Débit de rejet par unité :**  $Q_{r i} = 21\,060 \text{ m}^3/\text{j}$

#### V.6.2 Le calcul le nombre des éléments :

$$N_p = \frac{Q_{P \text{ totale}}}{Q_{sp}}$$

Tell que :

$Q_{SP}$  : débit spécifique

$$Q_{SP} = APF \times S_{\text{membrane}}$$

APF : flux de perméat  $\text{l/m}^2.\text{h}$

$S_{\text{membrane}}$  : surface de membrane  $\text{m}^2$

$$N_p = 28986.48 \approx 28987 \text{ éléments}$$

$$N_{p \text{ unité } i} = \frac{28987}{12} = 2415.58 \approx 2416 \text{ éléments}$$

#### V.6.3. Le Calcul du nombre de tubes de pression :

Nous gardons les tubes de pression standards qui contient 6 membranes, on devise les nombres des éléments  $N_p$  par la capacité des tubes  $N_{EPT}$  (nombre d'éléments par éléments)

$$N_T = \frac{N_p}{N_{EPT}} = 4831.16 = 4832 \text{ tubes de pression}$$

$$N_{T \text{ unité } i} = \frac{4832}{12} = 402.6 \approx 403 \text{ tubes de pression par unité}$$

#### V.6.4. Le Choix du rapport d'étagement :

Les étapes suivantes sont applicables pour tous les systèmes, mais elles sont particulièrement réservées aux éléments de 8 pouces, où nous pouvons avoir un grand nombre de tubes de pression.

Concernant les petits systèmes, la conception et le dimensionnement sont réalisés à partir des éléments en série et un recyclage de rejet, ce qui peut assurer la maintenance de débits appropriés d'eau d'alimentation et de rejet.

À la condition que les tubes de pression contiennent le même nombre des éléments, nous pouvons avoir un étagement optimal tel que chaque étage a la même fraction de taux de conversion total de systèmes, ainsi nous pouvons calculer le rapport de l'étagement par la relation suivante :

$$R = \left[ \frac{1}{1-Y} \right]^{\frac{1}{N}}$$

Avec :

R : le rapport de l'étagement

N : nombre de l'étage

Y : taux de conversion

Donc :

$$R = \left[ \frac{1}{1-0.55} \right]^{\frac{1}{2}} = \mathbf{1.50}$$

Le nombre de tubes de pression du premier étage  $N_T(1)$  est déterminé par la formule suivante :

$$N_T(1) = \frac{N_T}{1 + R^{-1}} = \mathbf{218.4 \approx 219 \text{ tubes de pression}}$$

Le nombre de tubes de pression du deuxième étage est calculé par la formule suivante :

$$N_V(2) = \frac{N_T(1)}{R} = \mathbf{146 \text{ tubes de pression}}$$

Pour le choix des membranes, le même type de membrane pour le premier étage TM820R-400 et TM820R-440 pour le deuxième étage

Nous avons choisi un flux transmembranaire de 12 l/m<sup>2</sup>.h qui est faible même si cela implique que nous devons utiliser plus grand nombre de membranes, c'est pour que les membranes durent plus longtemps, et nous pouvons éviter leur remplacement et nettoyage le plus possible

#### V.6.5. Les résultats finaux de simulation :

Les simulations sont actualisées par le logiciel TORAY, aux températures minimales, maximales et à la conception, en prenant principalement la différence de viscosité qui a une influence

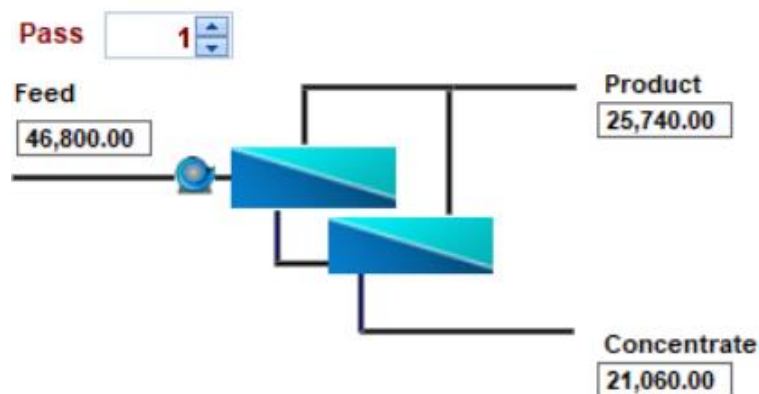


Figure V. 6 : Le schéma de système d'osmose inverse

### 1. Les résultats de simulation à 17 °C :

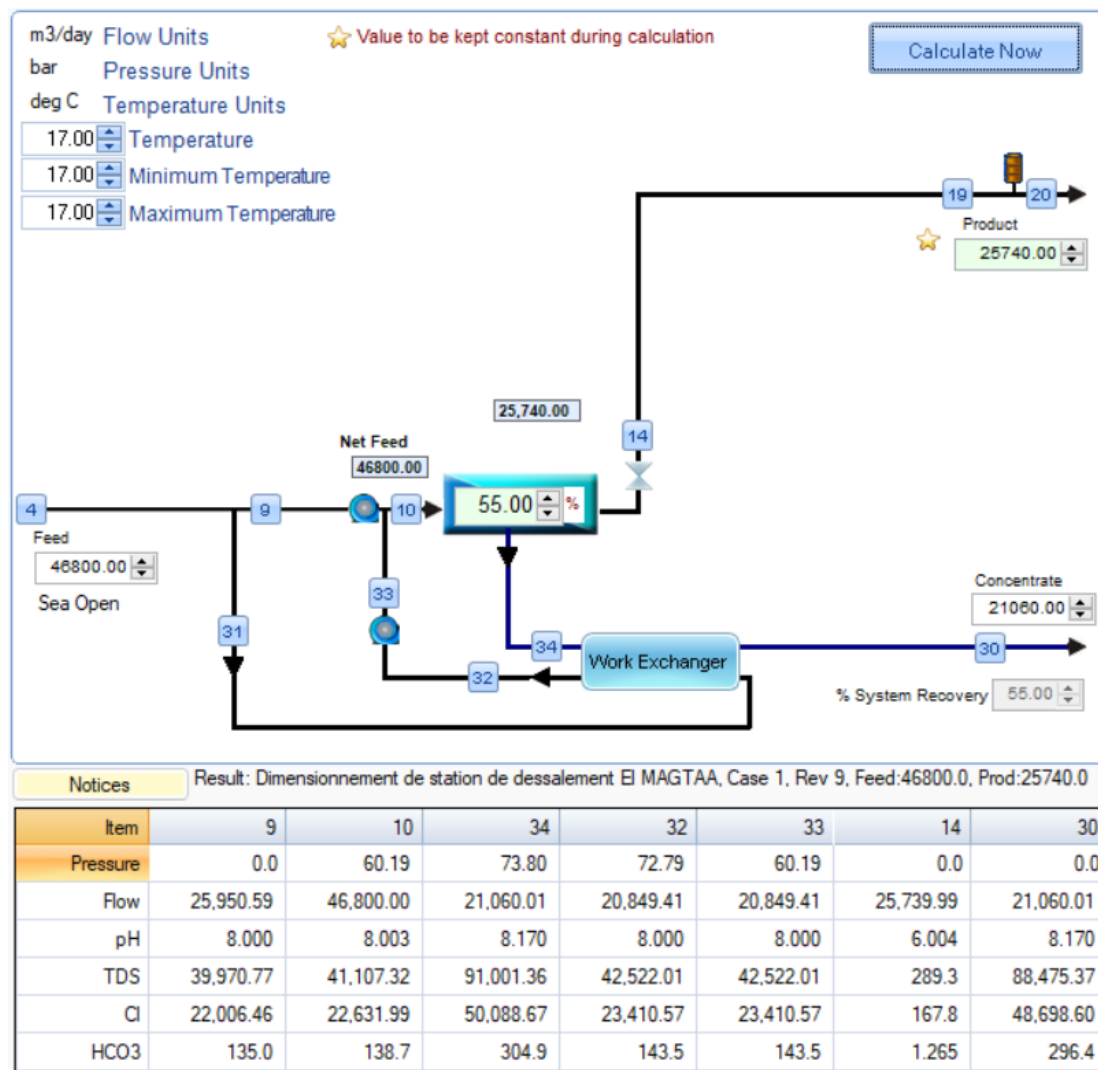


**Figure V. 7 : Le schéma de conception d'un système d'osmose inverse en 2 étages à 17 °C**

**Tableau V. 4 : Les résultats générales de la simulation du système par logiciel TORAY à 17°C**

|                                    |          | Overall                     | Pass 1              |
|------------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------|
| Raw water TDS                      | mg/l     | 39,970.8                    | 41,107.3            |
| EC @25C / @17.00C                  | uS       | 57,011.4 / 47,314.3         | 58,297.5 / 48,388.7 |
| Feed Pressure                      | bar      | 0.0                         | 60.19               |
| Temperature                        | deg C    | 17.000 Min:30.00 MAX:17.000 |                     |
| Total DP                           | bar      | 1.391                       | 1.391               |
| Brine Pressure                     | bar      | 0.0                         | 73.80               |
| Flow Allowance                     | 3.00 yrs |                             | 0.850               |
| SP % Increase (Max)                | 3.00 yrs |                             | 22.50%              |
| Recovery                           | %        | 55.00%                      | 55.0%               |
| Feed Flow                          | m3/day   | 46,800                      | 46,800              |
| Product Flow                       | m3/day   | 25,740                      | 25,740              |
| Average Flux                       | l/m2/hr  | 12.047                      | 12.047              |
| Concentrate Flow                   | m3/day   | 21,060                      | 21,060              |
| Product TDS                        | mg/l     | 289.3                       | 289.3               |
| Concentrate TDS                    | mg/l     | 88,475                      | 91,001              |
| Primary HP Pump kW                 | kilowatt | 2,301.15                    | 2,680.81            |
| Isobaric Device   ERI              | kilowatt | 1,807.04                    |                     |
| Power Saved                        | kilowatt |                             |                     |
| ERD Booster Power Used             | kilowatt | -379.7                      |                     |
| ERD Discharge Press & Booster Rise | bar      | 0.0                         | -12.596             |
| Power Consumption                  | kWh/m^3  | 2.146                       | 2.500               |

Nous pouvons extraire les notes suivantes :

1. La pression d'alimentation maximale pour le système est de 60.19 bars.
2. Le flux de système est 12,047 l/m<sup>2</sup>/h ; il est dans l'intervalle recommandé.
3. Le TDS de perméat est de 289,3 ppm, ce qui conforme aux normes de potabilité
4. Le système RO a un taux de conversion 55%
5. La consommation énergétique spécifique avec l'installation d'un échangeur de pression est 2.146 KWh/ m<sup>3</sup>

**Tableau V. 5 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage 1 et 2 à 17°C**

| Stage/Bank Data         | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
|-------------------------|---------|------------|------------|
| Lead Element Type       |         | TM820R-400 | TM820R-440 |
| Last Element Type       |         | TM820R-400 | TM820R-440 |
| Total Elements          | 2304    | 1440       | 864        |
| Total Vessels           | 384     | 240        | 144        |
| Elements per Vessel     |         | 6          | 6          |
| Feed Flow               | m3/day  | 46,800     | 28,226     |
| Product Flow            | m3/day  | 18,574     | 7,166      |
| Average Flux            | l/m2/hr | 14.409     | 8.454      |
| Brine Flow              | m3/day  | 28,226     | 21,060     |
| Recovery %              | %       | 39.69 %    | 25.39 %    |
| Feed Pressure           | bar     | 60.19      | 74.67      |
| dP Elements             | bar     | 0.517      | 0.874      |
| Boost Pressure          | bar     | 0.0        | 15.000     |
| Piping Loss             | bar     | 0.0        | 0.0        |
| Net (Boost - dP piping) | bar     | 0.0        | 15.000     |
| Brine Pressure          | bar     | 59.67      | 73.80      |
| Permeate Pressure       | bar     | 0.0        | 0.0        |
| Feed TDS                | mg/l    | 41,107     | 68,042     |
| Perm TDS                | mg/l    | 177.4      | 579.4      |
| Lead Element            | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
| Feed Flow               | m3/day  | 195.0      | 196.0      |
| Product Flow            | m3/day  | 19.288     | 13.265     |
| Product TDS             | mg/l    | 95.08      | 301.6      |
| Flux                    | l/m2/hr | 21.55      | 13.522     |
| Last Element            | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
| Product Flow            | m3/day  | 7.159      | 4.498      |
| Product TDS             | mg/l    | 385.0      | 1,228      |
| Brine/Product Ratio     | ratio   | 16.427     | 32.51      |
| Brine Flow              | m3/day  | 117.6      | 146.3      |
| Net Driving Pressure    | bar     | 9.337      | 9.953      |
| Beta                    |         | 1.088      | 1.034      |

1. L'étage 1 a un taux de conversion 39.69% et pour l'étage 2 c'est 25.39%
2. La pression d'alimentation est 60,19 bars pour l'étage 1 et 74.67 bars pour l'étage 2
3. Le TDS de perméat pour l'étage 1 est 177,4 ppm et 1,52 ppm pour l'étage 579,4

## 2. Les résultats de simulation à 15°C :

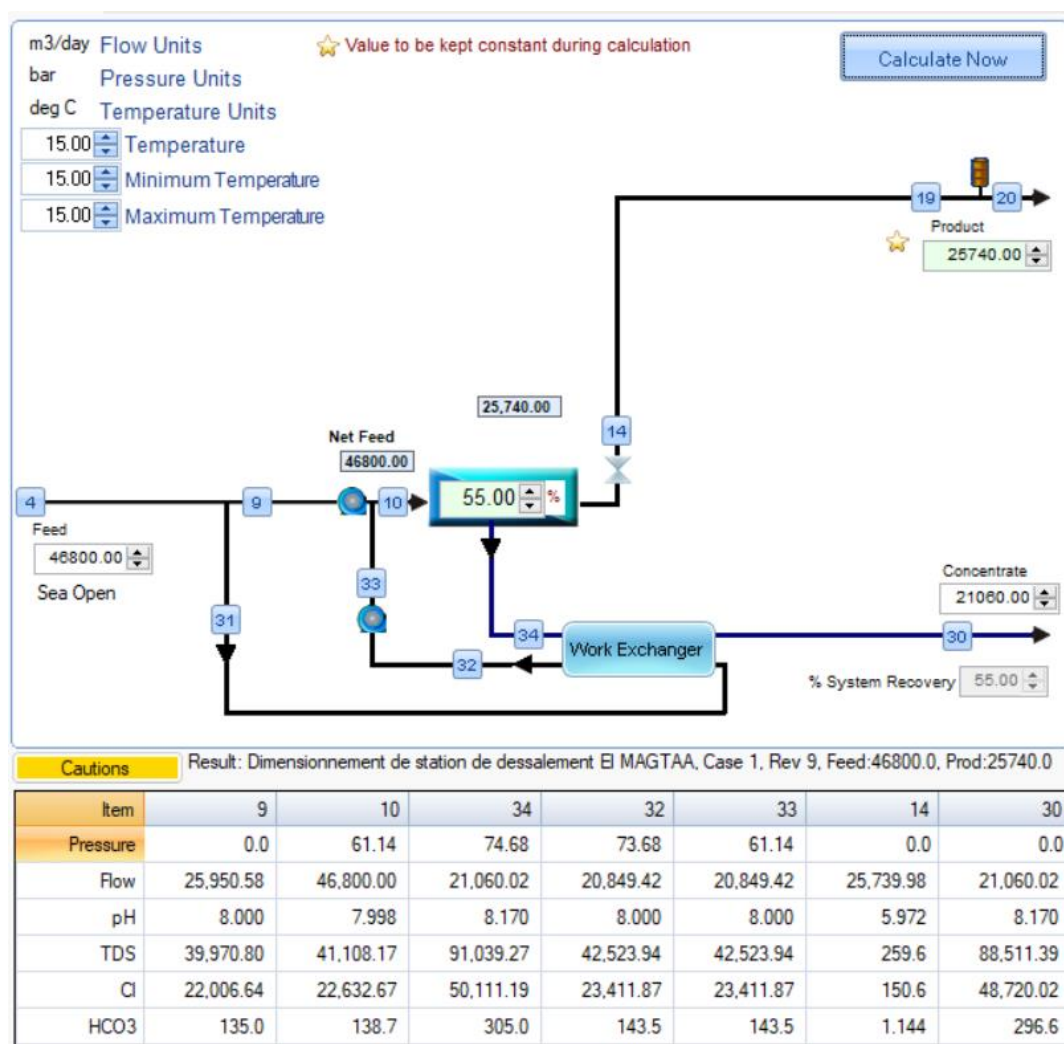


Figure V. 8 : Le schéma de conception d'un système d'osmose inverse en 2 étapes à 15°C

Tableau V. 6 : Les résultats générales de la simulation du système par logiciel TORAY à 15°C

|                                    |                    | Overall                     | Pass 1              |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|
| Raw water TDS                      | mg/l               | 39,973.1                    | 41,110.5            |
| EC @25C / @15.00C                  | uS                 | 57,014.3 / 44,892.3         | 58,301.5 / 45,914.6 |
| Feed Pressure                      | bar                | 0.0                         | 61.14               |
| Temperature                        | deg C              | 15.000 Min:30.00 MAX:15.000 |                     |
| Total DP                           | bar                | 1.452                       | 1.452               |
| Brine Pressure                     | bar                | 0.0                         | 74.69               |
| Flow Allowance                     | 3.00 yrs           |                             | 0.850               |
| SP % Increase (Max)                | 3.00 yrs           |                             | 22.50%              |
| Recovery                           | %                  | 55.00%                      | 55.0%               |
| Feed Flow                          | m3/day             | 46,800                      | 46,800              |
| Product Flow                       | m3/day             | 25,740                      | 25,740              |
| Average Flux                       | l/m2/hr            | 12.047                      | 12.047              |
| Concentrate Flow                   | m3/day             | 21,060                      | 21,060              |
| Product TDS                        | mg/l               | 259.6                       | 259.6               |
| Concentrate TDS                    | mg/l               | 88,516                      | 91,044              |
| Primary HP Pump kW                 | kilowatt           | 2,338.71                    | 2,716.76            |
| Isobaric Device   ERIPower Saved   | kilowatt           | 1,829.75                    |                     |
| ERD Booster Power Used             | kilowatt           | -378.0                      |                     |
| ERD Discharge Press & Booster Rise | bar                | 0.0                         | -12.543             |
| Power Consumption                  | kWh/m <sup>3</sup> | 2.181                       | 2.533               |

Nous pouvons extraire les notes suivantes :

1. La pression d'alimentation maximale pour le système est de 61,14 bars.
2. Le flux de système est 12,047 l/m<sup>2</sup>/h ; il est dans l'intervalle recommandé.
3. Le TDS de perméat est de 259,6 ppm, ce qui conforme aux normes de potabilité
4. Le système RO a un taux de conversion 55%

**Tableau V. 7 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage 1 et 2 à 15°C**

| Stage/Bank Data        | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
|------------------------|---------|------------|------------|
| Lead Element Type      |         | TM820R-400 | TM820R-440 |
| Last Element Type      |         | TM820R-400 | TM820R-440 |
| Total Elements         | 2304    | 1440       | 864        |
| Total Vessels          | 384     | 240        | 144        |
| Elements per Vessel    |         | 6          | 6          |
| Feed Flow              | m3/day  | 46,800     | 28,354     |
| Product Flow           | m3/day  | 18,446     | 7,294      |
| Average Flux           | l/m2/hr | 14.309     | 8.606      |
| Brine Flow             | m3/day  | 28,354     | 21,060     |
| Recovery %             | %       | 39.41 %    | 25.73 %    |
| Feed Pressure          | bar     | 61.14      | 75.60      |
| dP Elements            | bar     | 0.540      | 0.912      |
| Boost Pressure         | bar     | 0.0        | 15.000     |
| Piping Loss            | bar     | 0.0        | 0.0        |
| Net (Boost- dP piping) | bar     | 0.0        | 15.000     |
| Brine Pressure         | bar     | 60.60      | 74.68      |
| Permeate Pressure      | bar     | 0.0        | 0.0        |
| Feed TDS               | mg/l    | 41,108     | 67,746     |
| Perm TDS               | mg/l    | 160.2      | 511.0      |
| Lead Element           | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
| Feed Flow              | m3/day  | 195.0      | 196.9      |
| Product Flow           | m3/day  | 18.684     | 13.296     |
| Product TDS            | mg/l    | 88.26      | 269.7      |
| Flux                   | l/m2/hr | 20.87      | 13.553     |
| Last Element           | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
| Product Flow           | m3/day  | 7.419      | 4.667      |
| Product TDS            | mg/l    | 333.4      | 1.066      |
| Brine/Product Ratio    | ratio   | 15.924     | 31.34      |
| Brine Flow             | m3/day  | 118.1      | 146.3      |
| Net Driving Pressure   | bar     | 10.412     | 10.889     |
| Beta                   |         | 1.097      | 1.038      |

1. L'étage 1 a un taux de conversion 39,41% et pour l'étage 2 c'est 25,73%
2. La pression d'alimentation est 61,14 bars pour l'étage 1 et 75,60 bars pour l'étage 2
3. Le TDS de perméat pour l'étage 1 est 160,2 ppm et 511,0 ppm pour l'étage
4. La valeur de DP 1,45 bar dépasse légèrement la valeur de référence 1,40 bar

### 3. Les résultats de simulation à 30°C :

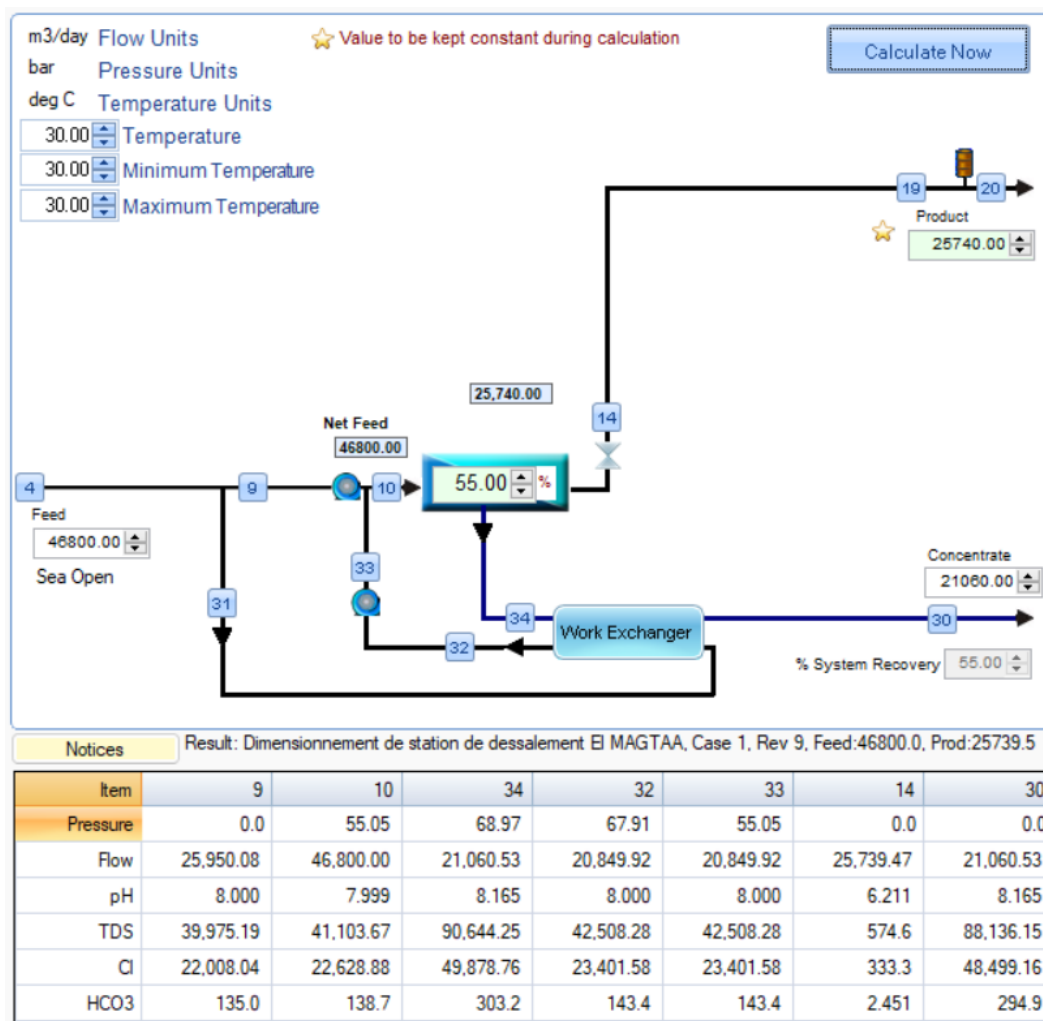


Figure V. 9 : Le schéma de conception d'un système d'osmose inverse en 2 étages à 30°C

Tableau V. 8 : Les résultats générales de la simulation du système par logiciel TORAY à 30°C

|                                    |                    | Overall                    | Pass 1              |
|------------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|
| Raw water TDS                      | mg/l               | 39,975.2                   | 41,103.7            |
| EC @25C / @30.00C                  | uS                 | 57,016 / 63,077.2          | 58,292.6 / 64,485.1 |
| Feed Pressure                      | bar                | 0.0                        | 55.05               |
| Temperature                        | deg C              | 30.00 Min:30.00 MAX:15.000 |                     |
| Total DP                           | bar                | 1.082                      | 1.082               |
| Brine Pressure                     | bar                | 0.0                        | 68.97               |
| Flow Allowance                     | 3.00 yrs           |                            | 0.850               |
| SP % Increase (Max)                | 3.00 yrs           |                            | 22.50%              |
| Recovery                           | %                  | 55.00%                     | 55.0%               |
| Feed Flow                          | m3/day             | 46,800                     | 46,800              |
| Product Flow                       | m3/day             | 25,739                     | 25,739              |
| Average Flux                       | l/m2/hr            | 12.046                     | 12.046              |
| Concentrate Flow                   | m3/day             | 21,061                     | 21,061              |
| Product TDS                        | mg/l               | 574.6                      | 574.6               |
| Concentrate TDS                    | mg/l               | 88,136                     | 90,644              |
| Primary HP Pump kW                 | kilowatt           | 2,113.72                   | 2,501.23            |
| Isobaric Device   ERIPower Saved   | kilowatt           | 1,685.24                   |                     |
| ERD Booster Power Used             | kilowatt           | -387.5                     |                     |
| ERD Discharge Press & Booster Rise | bar                | 0.0                        | -12.856             |
| Power Consumption                  | kWh/m <sup>3</sup> | 1.971                      | 2.332               |

Nous pouvons extraire les notes suivantes :

1. La pression d'alimentation maximale pour le système est de 68,97 bars.
2. Le flux de système est 12,046 l/m<sup>2</sup>/h ; il est dans l'intervalle recommandé.
3. Le TDS de perméat est de 574,6 ppm, ce qui dépasse légèrement les normes de potabilité
4. Le système RO a un taux de conversion 55%

**Tableau V. 9 : Les paramètres de fonctionnement à l'intérieur de l'étage 1 et 2 à 30°C**

| Stage/Bank Data         | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
|-------------------------|---------|------------|------------|
| Lead Element Type       |         | TM820R-400 | TM820R-440 |
| Last Element Type       |         | TM820R-400 | TM820R-440 |
| Total Elements          | 2304    | 1440       | 864        |
| Total Vessels           | 384     | 240        | 144        |
| Elements per Vessel     |         | 6          | 6          |
| Feed Flow               | m3/day  | 46,799     | 28,129     |
| Product Flow            | m3/day  | 18,671     | 7,068      |
| Average Flux            | l/m2/hr | 14,484     | 8,339      |
| Brine Flow              | m3/day  | 28,129     | 21,061     |
| Recovery %              | %       | 39,90 %    | 25,13 %    |
| Feed Pressure           | bar     | 55,05      | 69,65      |
| dP Elements             | bar     | 0,403      | 0,679      |
| Boost Pressure          | bar     | 0,0        | 15,000     |
| Piping Loss             | bar     | 0,0        | 0,0        |
| Net (Boost - dP piping) | bar     | 0,0        | 15,000     |
| Brine Pressure          | bar     | 54,65      | 68,97      |
| Permeate Pressure       | bar     | 0,0        | 0,0        |
| Feed TDS                | mg/l    | 41,104     | 68,154     |
| Perm TDS                | mg/l    | 351,0      | 1,165      |
| Lead Element            | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
| Feed Flow               | m3/day  | 195,0      | 195,3      |
| Product Flow            | m3/day  | 23,11      | 15,190     |
| Product TDS             | mg/l    | 157,2      | 524,3      |
| Flux                    | l/m2/hr | 25,82      | 15,483     |
| Last Element            | Pass1   | Stage 1    | Stage 2    |
| Product Flow            | m3/day  | 5,286      | 3,712      |
| Product TDS             | mg/l    | 1,017      | 2,897      |
| Brine/Product Ratio     | ratio   | 22,17      | 39,40      |
| Brine Flow              | m3/day  | 117,2      | 146,3      |
| Net Driving Pressure    | bar     | 4,332      | 5,024      |
| Beta                    |         | 1,044      | 1,017      |

1. L'étage 1 a un taux de conversion 39,90% et pour l'étage 2 c'est 25,13%
2. La pression d'alimentation est 55,05 bars pour l'étage 1 et 69,65 bars pour l'étage 2
3. Le TDS de perméat pour l'étage 1 est 351,0 ppm et 1,165 ppm pour l'étage 2

#### V.6.6 Le choix d'une Pompe boost :

Nous avons certains problèmes dans notre configuration dans le cas d'une température élevée (30°C) notamment quand le flux de tête de premier étage 33,37 l/m<sup>2</sup>.h dépasse la valeur de référence 28,00 l/m<sup>2</sup>.h, cela peut engendrer les membranes par accélérer l'encrassement et augmenter le risque de colmatage qui réduit leur efficacité, leur durée de vie et nécessite un nettoyage plus fréquent et en plus il cause une augmentation des pertes de charge ce qui provoque une consommation énergétique plus grandes.

Pour régler ce problème, nous avons décidé d'intégrer une pompe boost entre notre 2<sup>e</sup> étage, cette pompe est de type centrifuge multi étage en acier inoxydable, c'est un type qui est souvent utilisé dans les grandes industries, elle joue un rôle important dans la stabilisation augmentation de la pression membranaire ce qui améliore la qualité de l'osmose inverse, elle est installée entre le premier et deuxième étage pour minimiser les pertes de charges qui sont causées par l'augmentation de la concentration salée en optimisant ainsi le système.

Il existe plusieurs types de pompes booster, pour notre cas qui est une station de dessalement avec une grande degré de production (500 000 m<sup>3</sup>/j) et un rendement entre 85% et 90% (cela dépend sur les conditions d'application), nous avons choisi la pompe **SULZER-ZF-RO** qui est une pompe centrifuge axiale établi pour des applications industrielles exigeants, comme le dessalement d'eau de mer, avec une grande adaptation à haute pression (jusqu'à 100 bars) et une capacité de 2600 m<sup>3</sup>/h, elle est conçue à partir d'un acier inoxydable super duplex, ce qui la donne une résistance contre l'oxydation, elle est connue par :

- Une adaptation simple et efficace, elle peut être utilisée comme une pompe d'alimentation ou une pompe booster
- Une fiabilité et robustesse, qui est essentiel dans notre cas de dessalement osmose inverse
- Un design mécanique optimale, qui est adapté pour une pression d'aspiration élevée

Il est recommandé d'intégrer un variateur de fréquence (VFD) pour optimiser la performance de la pompe, le variateur contrôle la vitesse de rotation du moteur dans la pompe en ajustant par conséquent la fréquence et la tension électrique, cela permet d'améliorer le contrôle du système selon le débit où la pression désirée, économiser la consommation énergétique et prolonger la durée de vie de la pompe.

|                        | Metrics units                 | US units           |
|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Pump sizes (discharge) | up to 350 mm                  | up to 14 inch      |
| Capacities             | up to 2'600 m <sup>3</sup> /h | up to 11'450 USgpm |
| Heads                  | up to 70 m                    | up to 230 ft.      |
| Pressures              | up to 100 bar                 | up to 1'450 psi    |
| Temperatures           | up to 60°C                    | up to 140°F        |

Figure V. 10 : les paramètres de fonctionnement de la pompe SULZER-ZF-RO end-suction pump

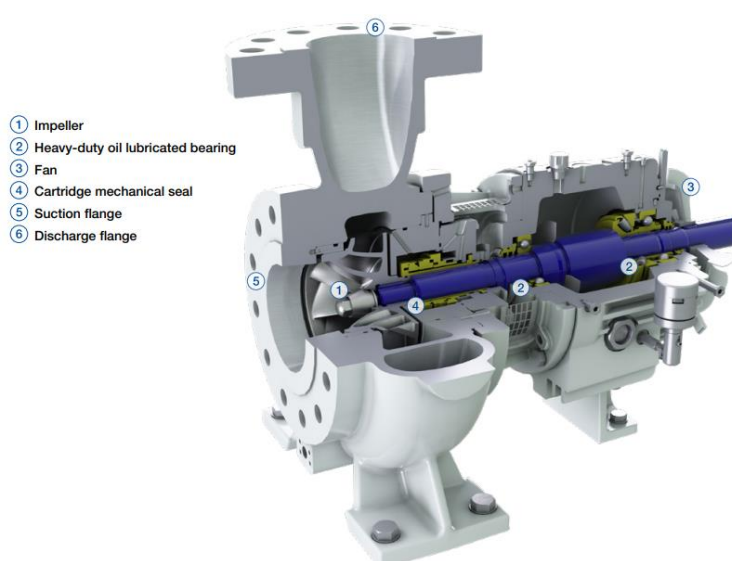


Figure V. 11 : les composants de la pompe SULZER-ZF-RO end-suction pump (SULZER)

## V.6.7 L'installation d'un échangeur de pression :

A cause de plusieurs avantages le procédé d'osmose inverse devient de plus en plus utilisé à la chaîne mondiale, elle dépend beaucoup sur la consommation énergétique où la coûte électrique représente environ 50% du coût d'exploitation totale, et donc le système de récupération d'énergie devient (System Energy Recovery) un outil important pour la réduction et l'optimisation de la consommation énergétique.

Parmi ces technologies, l'échangeur de pression PX est considéré comme l'un des plus efficaces, plus utilisés et plus fiables des systèmes de récupération de l'énergie grâce à leur efficacité qui peut atteindre jusqu'à 96%

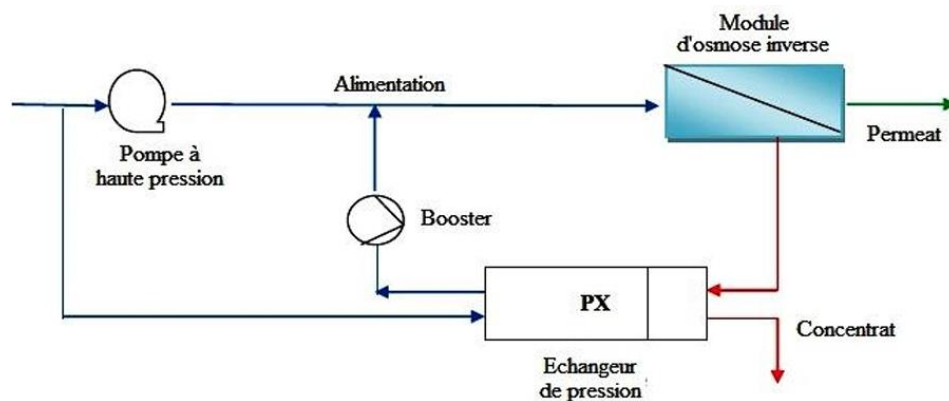


Figure V. 12 : Le système de récupération de pression de type échangeur de pression [13]

Pour établir l'importance de notre système de récupération d'énergie nous avons utilisé le logiciel TORAY pour exprimer la consommation énergétique sans échangeur de pression qui est :

|                   |                    |       |
|-------------------|--------------------|-------|
| Power Consumption | kWh/m <sup>3</sup> | 4.379 |
|-------------------|--------------------|-------|

Figure V. 13 : consommation énergétique de système d'osmose inverse sans récupérateur d'énergie

On définit la consommation énergétique spécifique par l'énergie nécessaire pour la production d'un mètre cube de l'eau de perméat avec une salinité qui conforme aux normes de l'eau potable

La consommation spécifique d'énergie sans un système de récupération est définie par la forme suivante :

$$CSE = \frac{W^0_{pompe}}{36,6 \times n_p \times Q_p}$$

Où le travail de la pompe  $W^0_{pompe}$  qui représente l'énergie nécessaire fournie par la pompe pour déplacer un fluide d'un point à l'autre, est définit comme suivant :

$$W^0_{pompe} = P_A \times Q_A$$

$P_A$  : pression d'alimentation

$Q_A$  : débit d'alimentation

$n_p$  : efficacité de pompe

Et le taux de conversion qui représente le rapport entre le débit de perméat et le débit d'eau d'alimentation est donné sous la formule suivante :

$$Y = \frac{Q_P}{Q_A}$$

$Q_P$  : débit de production

$Q_A$  : débit d'alimentation initiale

Le débit d'alimentation est défini par la forme suivante :

$$Q_A = Q_P + Q_R$$

$$Q_R = Q_A \times (1 - Y)$$

$$Q_{A,t} = Q_A - n_E \times Q_R$$

$n_E$  : efficacité motrice

$Q_{A,t}$  : débit d'alimentation totale (en prenant en considération les pertes de rendement)

$$Q_{A,t} = Q_A - n_E \times Q_A \times (1 - Y)$$

À partir des équations précédents la consommation spécifique d'énergie est :

$$CSE(Y, P, n_E, n_P) = \frac{P_A \times (1 - n_E \times (1 - Y))}{36,6 \times n_P \times Y}$$

Pour le premier étage :

$$CSE(Y, P, n_E, n_P)_1 = \frac{60.19 \times (1 - 0.96 \times (1 - 0.55))}{36,6 \times 0.9 \times 0.55} = 1.88 \text{ kWh/m}^3$$

Pour le deuxième étage :

$$CSE(Y, P, n_E, n_P)_2 = \frac{74.67 \times (1 - 0.96 \times (1 - 0.55))}{36,6 \times 0.9 \times 0.55} = 2.34 \text{ kWh/m}^3$$

D'après les résultats nous pouvons montrer l'efficacité de l'échangeur de pression comme un dispositif de récupération de l'énergie pour optimiser la consommation énergétique.

## V.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons établi une analyse primaire sur la performance de notre station de dessalement qui nous aide à choisir une solution d'optimisation, dans notre cas nous avons établi un dimensionnement d'un deuxième étage d'osmose inverse (OI), en conclusion nous avons augmenté le débit de production et le taux de récupération en prenant en considération plusieurs facteurs clés et en intégrant un système de récupération d'énergie pour garantir une optimisation de performance.

**CHAPITRE VI :**  
**Estimation du coût d'investissement**

## VI.1. Introduction :

Il est important d'établir une étude techno-économique qui est une étape essentielle dans l'évaluation de fiabilité financière de notre projet, cette étude permet de déterminer les décisions prenant en considérations les coûts d'investissement, les retours de cet investissement et les gains désirés, donc nous voulons avoir une analyse financière sûr notre projet

## VI.2. Calcul économique :

Il est important de préciser que nous avons plusieurs facteurs à considérer quand il s'agit d'une étude économique notamment, la consommation de l'énergie électrique, l'utilisation des différents types de consommables, les coûts de maintenance et de main d'œuvre, il faut aussi connaître que pour avoir une estimation fiable et calcul économique précise nous devons avoir une analyse approfondie de ces facteurs.

L'analyse économique est d'une base quantitative qui consiste de à assigner un coût pour chaque élément dans notre projet afin d'avoir une coût globale

## VI.3. Estimation des coûts d'investissement :

Nous calculons l'investissement total qui inclut le coût de la construction de l'unité, le coût de l'équipement principale et auxiliaire par la formule suivante :

$$C_{\text{invs}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$C_1$  : Coût d'investissement de de prétraitement

$C_2$  : Coût d'investissement de de réservoir

$C_3$  : Coût d'investissement de de l'équipement principal

$C_4$  : Coût d'investissement imprévu

### VI.3.1. Coût d'investissement de prétraitement :

Tableau VI. 1 : Le coût d'investissement de prétraitement

| Éléments                    | Quantité | Prix unitaire (DA) | Prix Total (DA)      |
|-----------------------------|----------|--------------------|----------------------|
| Membranes d'ultrafiltration | 12 000   | 645 345            | 7 744 140 000        |
| Filtre à cartouche          | 9        | 268 000            | 241 2000             |
| <b>Total</b>                |          |                    | <b>7 746 552 000</b> |

### VI.3.2. Coût d'investissement de réservoirs :

Tableau VI. 2 : Le coût d'investissement de réservoir

| Equipment                            | Quantité Total (m <sup>3</sup> ) | Prix Total (DA) |
|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Réservoirs de Hypochlorite de sodium | 96                               | 7200000         |
| Réservoirs d'hydroxyde de sodium     | 68                               | 5 100 000       |
| Réservoirs d'acide chlorhydrique     | 13.1                             | 170 000         |

|                                            |        |                      |
|--------------------------------------------|--------|----------------------|
|                                            |        |                      |
| Réservoirs méta bisulfite de sodium (SMBS) | 17     | 1 275 000            |
| Réservoirs de CO <sub>2</sub> liquide      | 240    | 7 200 000            |
| Réservoirs de chaux                        | 840    | 3 360 000 000        |
| Réservoirs d'ultrafiltration               | 16 000 | 1 200 000 000        |
| Réservoirs rejet                           | 500    | 50000000             |
| Réservoirs d'eau traité                    | 40 000 | 3 000 000 000        |
| <b>Total</b>                               |        | <b>7 630 945 000</b> |

### VI.3.3. Coût de l'équipement principal et auxiliaire :

Nous avons les coûts de membranes et le système de pompage :

**Tableau VI. 3 : Le coût d'investissement de systèmes d'osmose inverse**

| <b>Total</b>            | <b>Quantité</b> | <b>Prix unitaire (DA)</b> | <b>Prix Total (DA)</b> |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Tube de pression</b> | 384             | 225 000                   | 86 400 000             |
| <b>Membrane</b>         | 2304            | 130 000                   | 299 520 000            |
| <b>Total</b>            |                 |                           | <b>385 920 000</b>     |

**Tableau VI. 4 : Le coût d'investissement de systèmes de pompage**

| <b>Type de pompe</b>     | <b>Quantité</b> | <b>Prix unitaire (DA)</b> | <b>Prix total (DA)</b> |
|--------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| Pompe centrifuge         | 72              | 981 669                   | 70 680 168             |
| Pompe à haute pression   | 25              | 1 600 000                 | 40 000 000             |
| Pompe doseuse            | 37              | 387 213                   | 14 326 881             |
| Pompe booster            | 25              | 2 600 000                 | 65 000 000             |
| Pompe pneumatique        | 12              | 455 500                   | 5 466 000              |
| Pompe à turbine vertical | 9               | 776 550                   | 6 988 950              |
| Pompe à vis              | 10              | 800 000                   | 8 000 000              |
| Echangeur de pression    | 300             | 2 680 000                 | 804 000 000            |
| <b>Total</b>             |                 |                           | <b>10 114 461 999</b>  |

La valeur de l'équipement principal et auxiliaire est de :

$$C_{\text{équipement}} = C_{\text{membrane}} + C_{\text{systèmes de pompage}} = \mathbf{1\,400\,381\,999\,DA}$$

Donc le coût d'investissement est :

$$C_{\text{investissement}} = C_{\text{Prétraitement}} + C_{\text{réservoirs}} + C_{\text{équipement}} = \mathbf{16\,777\,879\,000\,DA}$$

### VI.3.4. Coût imprévu :

Il représente imprévu environ 10% du coût total de l'investissement :

$$C_{\text{imprévu}} = 0.1 \times C_{\text{investissements}} = \mathbf{1\,677\,787\,900\,DA}$$

Donc coût global pour notre station est :

$$C_{\text{inv global}} = C_{\text{Prétraitement}} + C_{\text{réservoirs}} + C_{\text{équipement}} + C_{\text{imprévu}} = \mathbf{18\,455\,666\,900\,DA}$$

#### VI.4. Coût d'exploitation :

Ils sont les dépenses liées à la consommation énergétique, les coûts de personnel et d'entretien, ainsi que le coût de remplacement et changement des éléments membranaires

##### VI.4.1. Coût de consommation énergétique :

Le coût de consommation d'énergie est calculé d'après la formule suivante :

$$C_{\text{énergétique}} = Q_{\text{Production}} \times 365 \times P_{\text{en}} \times \text{Cons}_{\text{Énergétique}}$$

$\text{Cons}_{\text{Énergétique}}$  : Consommation énergétique KWh/m<sup>3</sup>

$C_{\text{énergétique}}$  : Coût de consommation d'énergie DA

$Q_{\text{production}}$  : Débit de production en m<sup>3</sup>/j

$P_{\text{en}}$  : Coût unitaire d'énergie en DA/KWh

Avec :

$\text{Cons}_{\text{Énergétique}}$  : 2.146 KWh/m<sup>3</sup>

$Q_{\text{production}} = 617\,760$  m<sup>3</sup>/j

$P_{\text{en}} = 4,67$  DA /Kwh

Donc nous aurons :

$$C_{\text{énergétique}} = \mathbf{2\,104\,900\,752\,DA}$$

##### VI.4.2. Charge personnelle :

Elle inclue tous les salaires de tous les agents pendant une année

Tableau VI. 5 : Le coût de la charge personnelle

| Fonction             | Nombre | Duré | Salaire par personne en<br>dinar par mois (DA) | Salaire totale<br>(DA) |
|----------------------|--------|------|------------------------------------------------|------------------------|
| Ingénieur            | 8      | 12   | 80 000                                         | 7 680 000              |
| Opérateur            | 12     | 12   | 90 000                                         | 12 960 000             |
| Laborantin           | 4      | 12   | 70 000                                         | 3 360 000              |
| Agent de<br>sécurité | 6      | 12   | 60 000                                         | 4 320 000              |
| Ouvrière             | 7      | 12   | 50 000                                         | 4 200 000              |
| <b>Total</b>         |        |      |                                                | <b>32 520 000</b>      |

##### VI.4.3. Coût d'entretien :

Le coût d'entretien de la station à 5% du prix d'investissement :

$$C_{\text{entretien}} = 0.05 \times C_{\text{inv}} = \mathbf{882\,248\,345\,DA}$$

##### VI.4.4. Coût de changement des membranes d'osmose inverse et d'ultrafiltration :

Généralement la durée de vie moyenne de membranes est 5 ans pour les membranes d'osmose inverse et 2 ans pour les membranes d'ultrafiltration dans notre station :

$$C_{\text{changement}} = \frac{P_U \times N}{N_{\text{années}}} = \mathbf{3\,931\,974\,000\,DA}$$

Donc le coût total d'exploitation :

$$C_{\text{exploitation}} = C_{\text{énergétique}} + C_{\text{charge}} + C_{\text{entretien}} + C_{\text{changement}} = \mathbf{6\,951\,643\,097\,DA}$$

#### **VI.5. Coût global de la station :**

$$C_{\text{globale}} = C_{\text{inv global}} + C_{\text{exploitation}} = \mathbf{25\,413\,310\,000\,DA}$$

#### **VI.6. Montant total avec la TVA (Taxe à la Valeur Ajoutée) :**

On prend le TVA = 19%

$$\text{Montant de TVA} = 0.19 \times C_{\text{global}} = \mathbf{4\,828\,528\,900\,DA}$$

$$\text{Montant de TTC} = C_{\text{global}} + \text{TVA} = \mathbf{30\,241\,838\,900\,DA}$$

Donc le montant total de la station est 30 241 838 900 dinars algériens

#### **VI.7. Prix unitaire de mètre cube d'eau traité :**

$$P_{\text{unitaire}} = \frac{\text{TTC}}{Q_{\text{PT}} \times N} = \mathbf{207.13\,DA/m^3}$$

Avec :

$P_{\text{unitaire}}$  : prix unitaire de mètre cube d'eau traité

$Q_{\text{PT}}$  : débit de production journalier en  $m^3/j$

TTC : coût global de la station de dessalement

N : nombre des jours d'année (365 jours)

Donc :

#### **VI.8. Conclusion :**

Nous pouvons conclure que le coût de production d'un mètre cube pour notre projet est 207.13 DA, cette performance économique a expliqué la faible consommation d'énergie d'osmose inverse (l'effet de notre choix de récupérateur de l'énergie), en validant l'efficacité de cette méthode.

Enfin nous avons établi une estimation primaire de coût global de réalisation et d'exploitation de l'installation, 30 241 838 900 DA Trente milliards deux cent quarante et un millions huit cent trente-huit mille neuf cents dinars algériens.

## **Conclusion générale :**

Dans notre étude, nous pouvons poursuivre plusieurs objectifs concernant le fonctionnement et l'optimisation de la station de dessalement El Magtaa qui est située dans la wilaya d'Oran : une étude de la procédure d'osmose inverse (OI), une analyse de la performance d'une unité de dessalement et une optimisation de notre système.

Nous avons d'abord donné un contexte hydrique qui sert à expliquer le raison pour le développement et l'implémentation des procédures de dessalement dans la région ensuite nous avons discuté plusieurs techniques de dessalement en précisant sur l'osmose inverse et nous avons fait une analyse primaire concernant l'unité d'osmose pour avoir une idée générale sur le fonctionnement de la procédure, nous avons réussi d'augmenter le taux de récupération de 44.5% jusqu'à 55% et par conséquent le débit de production jusqu'à 617 760 m<sup>3</sup>/j par dimensionner d'un deuxième étage et l'intégration d'un système de récupération énergétique de type d'échangeur de pression PX.

Nous avons calculé la consommation spécifique d'énergie dans la station après la modification et nous avons trouvé que la valeur est moins que de la station à 44.5 % ce qui montre l'efficacité de notre intégration du système de récupération d'énergie, enfin nous avons déterminé une estimation du prix d'un mètre cube d'eau traité qui était 30 241 838 900 DA

En conclusion, nous pouvons considérer que notre étude est une preuve, que l'optimisation de dessalement par osmose inverse (OI) peut accroître la capacité de production en maintenant une efficacité énergétique similaire ou meilleure, en prenant en considération plusieurs facteurs environnementaux, les résultats obtenus nous donnent la possibilité d'avoir plusieurs d'améliorations et recherches complémentaires dans le domaine de dessalement contribuant ainsi à une gestion durable et responsable des ressources en eau face à l'aggravation du stress hydrique.

## Références bibliothèques

- [1] A. Kettab, “Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision,” *Desalination*, vol. 136, pp.
- [2] “Stations de dessalement de l’eau de mer (SDEM) : Mise en service à partir de février 2025,” *El watan*.
- [3] “(PDF) DESSALEMENT D’EAU DE MER : OPTION INCONTOURNABLE POUR L’ALGERIE,” in *ResearchGate*
- [4] “L’osmose inverse,” Tpe : Dessalement de l’eau de mer au maroc.
- [5] W. Design:zwebs.cn, “Economical Equivalent to Membrane Module, Element and Filter Cartridge,”
- [6] Shook, “Principe de fonctionnement de la membrane UF à fibres creuses,”
- [7] “Spiral Wound UF Module – Membrane Solutions.”
- [8] (*Annexe A2, TMM*).
- [9] A. Maurel, *Alain Maurel, 2006, Dessalement de l’eau de mer et des eaux saumâtres*.
- [10] “How Temperature Affects RO Water Production,” *aquaticlife.com*.
- [11] “Assessment of ASTM D 4516 For Evaluation of Reverse Osmosis PDF | PDF | Membrane | Diffusion,” *Scribd*. Accessed: Aug. 23, 2025. [Online].
- [12] *Manuel technique Film Tech, 2014*.
- [13] “Modélisation et optimisation de la consommation d’énergie d’une station de dessalement par procédé d’osmose inverse en Algérie | *Journal of Renewable Energies*.”

## Annexes

- For  $T > 25$  degrees C and  $P \geq 800$  psig

$$MFRC_{3-5 \text{ years}} = (1.5 \times 10^{-5} P - 0.0428) T - 0.00127 P + 2.595$$

- For  $T \leq 25$  degrees C and  $P \geq 800$  psig

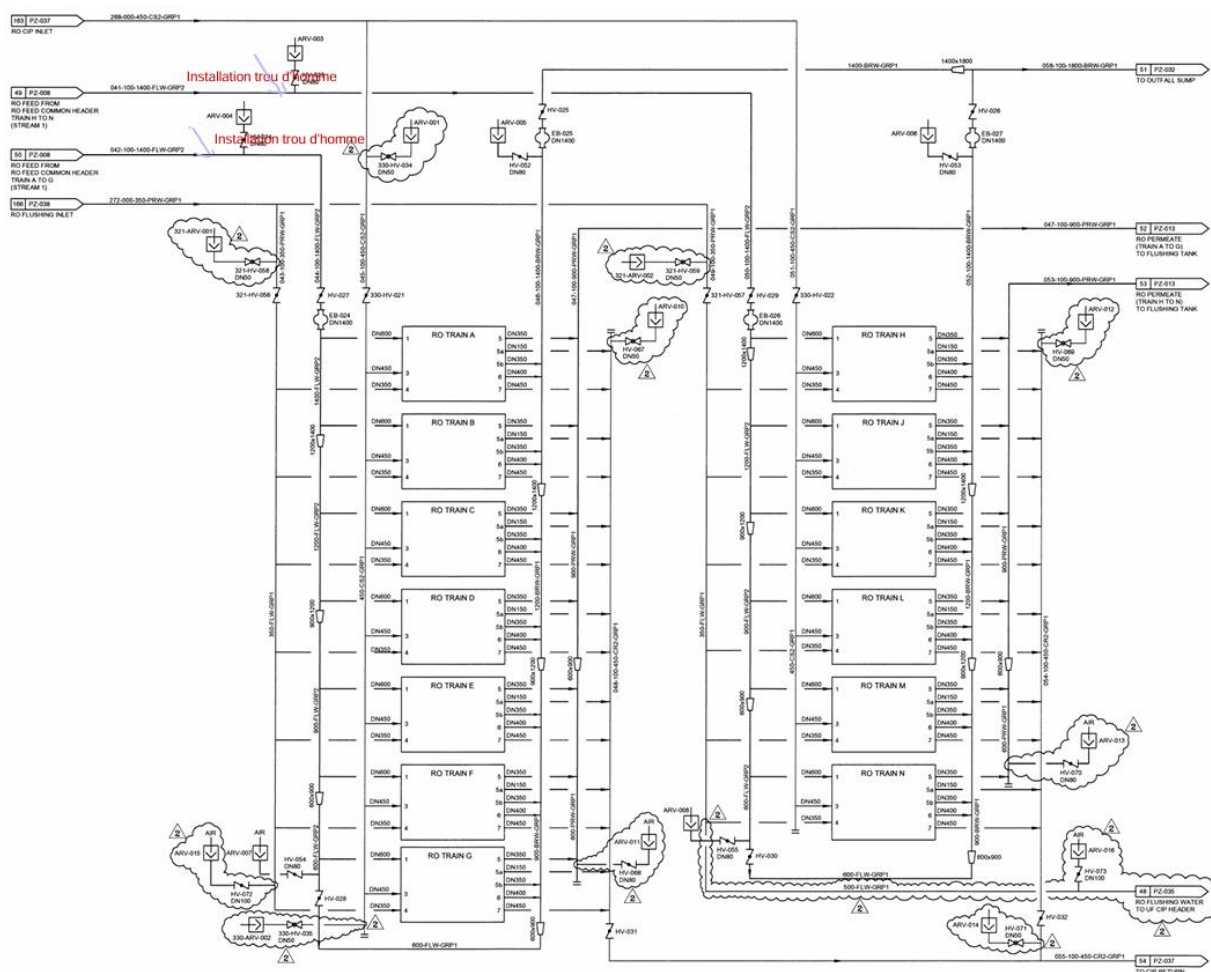
$$MFRC_{3-5 \text{ years}} = 1.017 - (1.079)^T (P)^{3.209} (10)^{-9}$$

Where:

$P$  = pressure in psig

$T$  = temperature in degrees C

Annexe 1 : Le facteur de correction du flux de rétention de la membrane MFRC



Annexe 2 : schéma de système d'osmose inverse