الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محند أولحاج
-البويرة-
معهد التكنولوجيا

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie

جامعة البويرة

Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme

de Licence professionnelle en :

Hydraulique

THEME

Etude des caractéristiques physico-chimique et modélisation à la station de dessalement d'El Marsa, Wilaya d'Alger

Réalisé par :

- BENAZIEZ Mohammed Aouab
- GOURMAT Chihab-Eddine

Encadré par :

Mr. DJAFER KHODJA Hakim IT- UNIV Bouira

Mr. KHEFFACHE Saddek ADC - Algerian Desalination Company

Corrigé par :

Mme. HAMZAOUI Sarra (MCB, IT Univ-Bouira)

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciement

Nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur ***Mr. DJAFER KHODJA Hakim*** *et à notre co-encadreur* ***Mr. KHEFFACHE Saddek*** *pour leurs conseils, et sans oublier* ***Mr.METAICHE Mehdi****, leur disponibilité et leur soutien tout au long de ce travail.*

Nos remerciements vont également à tous les personnels de la station de dessalement d'El Marsa, pour leur accueil et les informations qu'ils nous ont fournies.

Nous remercions les membres du jury pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail.

Enfin, nous remercions nos familles et tous ceux qui nous ont soutenus de près ou de loin.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos très chers parents, qui ont tout sacrifié pour notre éducation et qui n'ont jamais cessé de croire en nous. Aucun mot ne pourra exprimer notre gratitude et notre amour pour vous.

Nos frères et sœurs, pour leur amour, leur encouragement et leur présence à nos côtés dans les moments difficiles comme dans les moments de joie.

Nos amis et camarades de promotion, avec qui nous avons partagé les peines et les joies de ce parcours.

À tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à notre épanouissement.

À tous ceux qui nous ont soutenus de près ou de loin.

« Le succès n'est pas final, l'échec n'est pas fatal : c'est le courage de continuer qui compte. »

Aouab-chihab

ملخص:

تتمحور هذه الدراسة حول خصائص المياه الفيزيائية والكيميائية الناتجة عن محطة تحلية مياه البحر بالمرسى، ولاية الجزائر، والتي تبلغ طاقتها الإنتاجية 60,000 متر مكعب يومياً باستخدام تقنية التناضح العكسي. يتضمن العمل وصفاً للمحطة وعملية التحلية، بالإضافة إلى تحليل فيزيائي وكيميائي للمياه الخام والمُعالجة على مدار ستة أسابيع، مع إجراء محاكاة باستخدام برنامج *Q+ Projection.* أكدت النتائج كفاءة تحلية تتجاوز 99% ومطابقة تامة للمواصفة القياسية *NA 6360.* كما أظهرت المقارنة بين المحاكاة والواقع دقة جيدة في قياس الباهاء *(pH)* ، بينما كشفت عن تقدير أقل للمواد الصلبة الذائبة الكلية *(TDS)* الحقيقية بنسبة تقارب 79%، وهو ما يُعود إلى تقادم الأغشية.

الكلمات المفتاحية: التحلية، التناضح العكسي، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، محطة المرسى، برنامج *Q+ Projection.*

Résumé

Ce travail porte sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques d'eau brutes et d'eau traitées par la station de dessalement d'El Marsa, wilaya d'Alger, d'une capacité de 60 000 m³/jour par osmose inverse. Il comprend la description de la station et du procédé de dessalement, l'analyse physico-chimique des eaux brute et traitée sur six semaines, ainsi qu'une simulation à l'aide du logiciel Q+ Projection. Les résultats confirment une efficacité de dessalement supérieure à 99 % et une conformité totale à la norme algérienne NA 6360. La comparaison simulation/réalité révèle une bonne précision pour le pH, mais une sous-estimation du TDS réel d'environ 79 %, attribuable au vieillissement des membranes.

Mots-clés : Dessalement, Osmose inverse, Physico-chimie, Station El Marsa, Q+ Projection.

Abstract

This study investigates the physico-chemical characteristics of water produced by El Marsa desalination plant, Algiers, with a capacity of 60,000 m³/day using reverse osmosis. It covers the plant description, the desalination process, a six-week physico-chemical analysis of raw and treated water, and a simulation using Q+ Projection software. Results confirm over 99% salt rejection and full compliance with Algerian standard NA 6360. The simulation-to-reality comparison shows good accuracy for pH, but a ~79% underestimation of actual TDS due to membrane aging.

Keywords : Desalination, Reverse Osmosis, Physico-chemistry, El Marsa Plant, Q+ Projection

Sommaire

Remerciements I

Dédicaces II

ملخص: III

Sommaire IV

Liste des figures VIII

Liste des tableaux X

Liste des abréviations XI

Introduction générale .....

Chapitre I : Description générale de la station de dessalement El Marsa .....

I.1. Introduction 1

I.2. Description de l'entreprise 1

I.3.Situation géographique de la station de dessalement d'El-Marsa 2

I.4. Station de dessalement EL-Marsa 3

I.5. Activités de la station 3

I.6.Captage de l'eau de mer 3

I.7.Prétraitement chimique 4

I.8.Zone des filtres 4

I.9.Procédés d'osmose inverse 4

I.10.L'usine de production : 4

I.11.Réservoir d'eau traitée 5

I.12.Stockage final et distribution de l'eau traitée : 5

I.13.Différents activités : 5

I.14.Organigramme de la station de dessalement EL Marsa 6

I.15.Conclusion 6

Chapitre II : Description de processus de dessalement .....

II.1.Introduction 7

II.2.Captage de l'Eau de Mer 7

II.3.Prétraitement 8

II.3.1.coagulation-floculation 8

II.3.2.décantation lamellaire 9

II.3.3.filtration sur média granulaire 10

II.3.4.conditionnement chimique avant osmose 10

II.3.5. microfiltration sur cartouches 11

II.4.Osmose Inverse 11

II.4.1.tains « racks » 12

II.4.2.tubes de pression 12

II.4.3.modules membranaires 13

II.4.3.1.principaux types de membranes OI 13

II.4.3.2.membrane spiralée en polyamide 14

II.4.4.pompes HP 15

II.4.5.echangeurs de pression « ERD » 16

II.4.5.1.Types de Récupérateurs d'Énergie 16

II.4.6.pompe booster (Liée au Récupérateur) 17

II.4.7.pompes doseuses pour réactifs 18

II.4.7.1.Réactifs et débits d'injection dans les unités d'osmose inverse 18

II.4.8.système de nettoyage (CIP) 19

II.4.9.tuyauteries (Conduites) d'Osmose Inverse 20

II.4.10.système de contrôle-commande : 20

II.5.Post-Traitement 22

II.5.1.reminéralisassions 22

II.5.2.désinfection Finale 23

II.6.Stockage et distribution 23

II.7.Conclusion 24

Chapitre III : Matériels et Méthodes .....

III.1. Introduction 25

III.2.Laboratoire d'analyse 25

III.2.1.Matérels et Méthodes : 25

III.2.1.1.mesure du pH par méthode électrométrique 25

III.2.1.2.mesure de la Turbidité 26

III.2.1.3.mesure de la Conductivité 27

III.2.1.4.détermination de Total dissoute solides TDS 27

III.2.1.5.mesure de la dureté totale par titrage 28

III.2.1.6.mesure de la dureté calcique par titrage 28

III.2.1.7.détermination Alcalinité 29

III.2.1.8 mesure du chlore 30

III.2.1.9.mesure de TSS – Total Suspended Solids 31

III.2.1.10.indice de Langelier 32

III.3.Stratégie de Suivi Analytique : Eau Brute et Eau Traitée 32

III.4. Logiciel de simulation Q+ Projection 33

III.4.1. Présentation du logiciel : 33

III.4.2. Fonctionnalités principales : 33

III.5.Etapes de la simulation 34

III.5.1. accès à l'interface de conception 34

III.5.2.informations du projet 34

III.5.3.unités 35

III.5.4.source d'eau 35

III.5.5.profil de l'eau 36

III.5.6.débit 36

III.5.7.récupération d'énergie 37

III.5.8.configuration 37

III.6. Conclusion. 38

Chapitre IV : Résultats et Discussion

IV.1.Introduction 39

IV.2.Présentation des Paramètres Analysés 39

IV.2.1.qualité de l'eau brute 39

IV.2.2.qualité de l'eau traitée 40

IV.3.Analyse Détaillée de Chaque Paramètre 40

IV.3.1.température 40

IV.3.2.conductivité 40

IV.3.3. pH 41

IV.3.4.turbidité 41

IV.3.5.TDS (Solides Dissous Totaux) 42

IV.3.6.chlore résiduel 42

IV.3.7.indice de langelier 42

IV.4.Comparaison avec les Normes Algériennes NA 6360 43

IV.5. Analyse Comparative : Simulation Q+ et Perméat Mesuré en Sortie des Membranes 44

IV.5.1.analyse des résultats TDS 45

IV.5.2.analyse des résultats pH 46

IV.5.3.conclusion de la comparaison 46

IV.6.Conclusion 47

Conclusion Générale 48

Bibliographe

Annexes

Liste des figures

Figure.I.1 : localisation de la station de dessalement EL-Marsa 2
Figure.I.2 : Situation géographique de la station 2
Figure.I.3 : Organigramme de la station de dessalement EL Marsa 6
Figure.II.4 : Dégrillage fin et rotative 7
Figure.II.5 : Station de pompage de l'eau de mer 8
Figure.II.6 : Mélangeur statique de Coagulation-floculation 9
Figure.II.7 : Décantation Lamellaire. 9
Figure.II.8 : Filtre gravitaire 10
Figure.II.9 : Filtres à cartouches 11
Figure.II.10 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse 11
Figure.II.11 : Schéma général du traitement par osmose inverse 12
Figure.II.12 : Racks a la setation de EL marsa 12
Figure.II.13 : Schéma de la membrane spirale 14
Figure.II.14 : Pompe HP 16
Figure.II.15 : Echangeurs de pression ERD PX 17
Figure.II.16 : Schéma de montage ERD, pompe-booster, Pompe HP et les membranes 17
Figure.II.17 : Système de nettoyage (CIP) 20
Figure.II.18 : Chamber d'armoires 21
Figure.II.19 : Salle contrôle 22
Figure.II.20 : Schéma de process SDEM EL Marsa 23
Figure.III.21 : multiparamétre fishrbrand accumet 25
Figure.III.22 : Turbidimètre 26
Figure.III.23 : Manipulation de titrage en laboratoire 30
Figure.III.24 : Photomètre palintest lumiso expert 31
Figure.III.25 : Interface principale du logiciel Q+ Projection. 33
Figure.III.26: Interface principale du logiciel Q+ Projection. 34
Figure.III.27 Interface des informations du projet dans le logiciel Q+ Projection 34
Figure.III.28: Barre des unités dans Q+ Projection. 35
Figure.III.29 : Configuration de la source d'eau dans le logiciel Q+ Projection 35
Figure.III.30 : Définition du profil de l'eau dans le logiciel Q+ Projection 36
Figure.III.31: Paramétrage du débit dans le logiciel Q+ Projection 36

Figure.III.32: Paramétrage du système de récupération d'énergie dans le logiciel Q+ 37
Figure.III.33 : Configuration du système (1st Stage) dans le logiciel Q+ Projection 37
Figure.III.34: Calcule de système et les détails dans le logiciel Q+ Projection 38
Figure.IV.35 : Évolution de la conductivité de l'eau brute et traitée..... 41
Figure.IV.36 : Évolution du pH de l'eau brute et traitée ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure.IV.37 : Évolution de la turbidité de l'eau brute et traitée..... 41
Figure.IV.38 : Évolution du TDS de l'eau brute et traitée..... 42
Figure.IV.39 Évolution de l'indice de Langelier dans l'eau traitée 43

Liste des tableaux

Tableau.II.1 : Composition et structure de la membrane spiralee..... 14
Tableau.IV.2 : Qualité de l'eau brute..... 39
Tableau.IV.3 : Qualité de l'eau traitée..... 40
Tableau.IV.4 : Comparaison des paramètres avec la norme NA 6360 43
Tableau.IV.5 : Comparaison Simulation Q+ vs Perméat Réel..... 44

Liste des abréviations

- ADC : Algerian Desalination Company
- ADE : Algérienne des Eaux
- $CaCO_3$: Carbonate de Calcium
- $CaSO_4$: Sulfate de Calcium
- CIP : Nettoyage en Place (Cleaning In Place)
- CO_2 : Dioxyde de Carbone
- DN : Diamètre Nominal
- ERD : Dispositif de Récupération d'Énergie
- $FeCl_3$: Chlorure Ferrique
- $Fe(OH)_3$: Hydroxyde Ferrique
- H_2SO_4 : Acide Sulfurique
- HP : Haute Pression
- $Na_2S_2O_5$: Métabisulfite de Sodium
- NaClO : Hypochlorite de Sodium
- NaOH : Hydroxyde de Sodium
- NF : Nanofiltration
- NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique (Nephelometric Turbidity Unit)
- OI : Osmose Inverse
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- ONML : Office National de Métrologie Légale
- PEHD : Polyéthylène Haute Densité
- PX : Échangeur de Pression (Pressure Exchanger)
- SCADA : Système de Supervision et d'Acquisition de Données
- SDI : Indice de Colmatage (Silt Density Index)
- SEAAL : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger
- SMBS : Métabisulfite de Sodium
- TDS : Solides Dissous Totaux
- TFN : Nanocomposite à Film Mince
- TSS : Matières en Suspension Totales

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est la matière la plus précieuse au monde. Toutes les civilisations anciennes se sont construites autour des sources d'eau, et notre planète est appelée « planète bleue » car elle est constituée de plus de 71 % d'eau, soit environ 1 380 millions de km³. Pourtant, l'essentiel de cette quantité est inutilisable directement, puisqu'elle est composée d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %). L'eau douce facilement accessible, celle des lacs, des fleuves et de certaines nappes souterraines, ne représente que 0,07 % de la ressource total.

Avec la croissance démographique et le développement industriel, les besoins en eau de bonne qualité et en quantité suffisante n'ont cessé d'augmenter, en particulier en Algérie. Cette situation pousse les pouvoirs publics à rechercher des solutions durables pour sécuriser l'approvisionnement en eau potable. Dans cette optique, le dessalement de l'eau de mer s'impose comme l'une des réponses les plus efficaces et les plus ambitieuses à ce défi. [1]

C'est dans ce contexte que l'État algérien a mis en place la station de dessalement d'El Marsa, située dans la wilaya d'Alger, au nord du pays. D'une capacité de 60 000 m³/jour, cette station permet d'alimenter en eau potable les habitants de plusieurs communes de la capitale.

Ce travail a pour objectif d'étudier des caractéristiques physico-chimiques et comparer avec NA 6360, puis de simuler à l'aide d'un logiciel adapté. Il vise également à comparer les données réelles relevées au niveau de la station avec les résultats issus de la simulation, afin d'évaluer la fiabilité du modèle utilisé.

Pour répondre à ces objectifs, le rapport est organisé en quatre chapitres. Le premier chapitre présente une description générale de la station de dessalement d'El Marsa. Le deuxième chapitre détaille le processus de dessalement et les unités d'osmose inverse de la station. Le troisième chapitre, consacré aux matériels et méthodes, expose les équipements du laboratoire d'analyse ainsi que le logiciel de simulation Q+ Projection utilisé pour la modélisation du procédé. Enfin, le quatrième chapitre présente les résultats obtenus, à savoir les analyses physico-chimiques de l'eau brute et de l'eau traitée, leur comparaison avec les normes en vigueur, ainsi que la comparaison entre les données simulées et les données réelles mesurées au niveau des racks.

Ce travail se termine par une conclusion générale qui synthétise l'ensemble des résultats obtenus.

Chapitre I :

Description générale de la station de dessalement El Marsa

I.1. Introduction

Dans un contexte marqué par une pression croissante sur les ressources hydriques naturelles, le dessalement de l'eau de mer s'impose comme une réponse stratégique aux défis de l'alimentation en eau potable. L'Algérie, confrontée à une variabilité climatique et à une demande en constante augmentation, a développé plusieurs infrastructures modernes afin de garantir une sécurité hydrique durable. [2]

Parmi ces installations, la station de dessalement d'El-Marsa, située dans la wilaya d'Alger, occupe une place importante dans le dispositif national d'approvisionnement en eau potable. Elle permet de transformer l'eau de mer en une ressource directement exploitable, contribuant ainsi à renforcer l'alimentation des zones environnantes.

L'objectif de ce chapitre est de présenter cette station, son emplacement, les zones qu'elle dessert, ainsi que son principe de fonctionnement et la technologie sur laquelle repose le processus de dessalement.

I.2. Description de l'entreprise

La station de dessalement d'El-Marsa est exploitée par la société Algerian Desalination Company (ADC). Cette entreprise est une filiale du groupe Sonatrach, créée dans le but de développer des projets de dessalement d'eau de mer en Algérie.

L'Algerian Desalination Company est spécialisée dans la conception, la réalisation et l'exploitation des stations de dessalement d'eau de mer afin de renforcer l'alimentation en eau potable, particulièrement dans les zones côtières connaissant un stress hydrique.

Dans le cadre de ses missions, l'entreprise assure :

- La production d'eau potable à partir de l'eau de mer
- L'exploitation et la maintenance des installations
- L'amélioration continue des performances des stations
- La contribution à la sécurité hydrique nationale

Grâce à son expertise dans le domaine du dessalement, l'Algerian Desalination Company joue un rôle important dans la stratégie nationale de mobilisation des ressources en eau non conventionnelles en Algérie. [3]

I.3.Situation géographique de la station de dessalement d'El-Marsa

La station de dessalement d'eau de mer d'El-Marsa est située à l'est d'Alger, en bord de mer, ce qui lui permet de capter directement l'eau de mer pour son traitement. Elle a été construite afin de répondre au problème de raréfaction des ressources en eau douce, notamment la baisse des précipitations et la diminution du niveau des barrages. Ainsi, elle constitue une solution moderne permettant de transformer l'eau de mer en eau potable pour assurer l'alimentation des populations de la région.

Sur le plan de la gestion, le maître d'ouvrage de la station est l'entreprise ADC Spa, tandis que l'exploitation est assurée par COSIDER Canalisation, responsable de l'exploitation, de la maintenance et du suivi des performances et de la qualité de l'installation dans le cadre d'un contrat d'exploitation. [3]

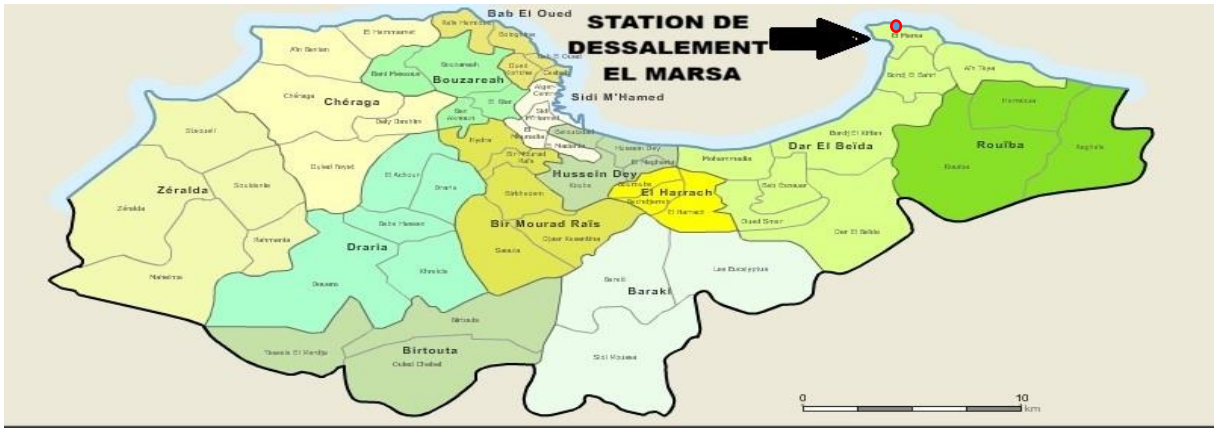

Figure.I.1 : localisation de la station de dessalement EL-Marsa



Figure.I.2 : Situation géographique de la station

I.4. Station de dessalement EL-Marsa

- Démarrage des travaux : Septembre 2021
- Démarrage de la première unité : Octobre 2022
- Capacité : 60000 m^3/j par la technique d'osmose inverse.
- Objectif : Renforcement des ressources en eau potable et amélioration de sa qualité à travers les processus de production, de traitement et de transport.
- Distribution : L'eau produite est distribuée via le réseau de l'ADE vers plusieurs communes d'Alger, notamment El Marsa, Aïn-Taya, Bordj El-Bahri, Rouïba et Rghaïa.
- Les travailleurs de L'usine : Les travailleurs sont répartis pour garantir le fonctionnement de la station.

I.5. activités de la station

- Consistance du projet : Prise directe de l'eau de mer (conduite 240 m + tour de captage).
- Procédé de traitement : Osmose inverse avec 770 tubes de pression et 5 390 membranes.
- Débit de captation : 130 000 m^3/j.
- Débit de production : 60 000 m^3/j.
- Taux de conversion : 45 % de transformation de l'eau de mer en eau douce.
- Émissaire de captation : DN 1200 mm, longueur 240 m, profondeur 13 m sous le niveau de mer
- Emissaire de rejet de saumure **:** DN 800 mm, longueur 800 m, profondeur 10 m [4]

I.6.Captage de l'eau de mer

- Emissaire de captage DN 1200 mm
  Longueur 240 m
  Profondeur 13 m
- Station de pompage :
  Deux dégrillages sont installés : dégrilleur grossier (40 mm) et dégrilleur fin rotative (3 mm), ainsi que deux tamis rotatifs. Le système comprend 4 pompes de captage (3 en service et 1 en secours) avec 3 bars pour assurant la continuité d'alimentation.

I.7.Prétraitement chimique

L'injection et le stockage de produits :

- Coagulation : Chlorure ferrique ($FeCl_3$)
- Floculation : Polymère (polyélectrolyte)
- Antiscalant : (anti-incrustation) : Antiscalent
- Ajustement du pH : Acide sulfurique (H_2SO_4), Hydroxyde de sodium (NaOH)
- Désinfection : Hypochlorite de sodium (NaClO)
- Neutralisation : Métabisulfite de sodium (SMBS)

I.8. Zone des filtres

- 5(4+1) Filtres à sable gravitaires
- 6 (5+1) Filtres à cartouches (chaque filtre comporte 340 cartouches).

I.9. Procédés d'osmose inverse

- Marque des membranes : LG Water solutions
- Nombre de membrane dans le tube de pression **:** 7 unités
- Nombre de tube de pression dans le rack : 154 unités
- Nombre totale des racks : 5 unités
- Nombre totale des membranes : 5390 unités
- Module de membrane : SW 400 R
- Matériel : Thin-film polyamide (TFN)
- Forme : spiral
- Pression de pompe haute pression : 60 ~ 70 bars
- Récupération d'énergie : model PX Q 300

I.10.L'usine de production

- 05 pompes HP
- 05 unités d'Osmose Inverse
- 05 récupérateurs d'énergie

I.11.Réservoir d'eau traitée

- Reminéralisation par réacteurs à lit de calcite remplis de granulés de $CaCO_3$
- Injection de CO_2 liquide en tête des réacteurs pour abaisser le pH et favoriser la dissolution de la calcite
- Circulation ascendante du perméat à travers le lit de calcite pour améliorer le contact et la dissolution
- Présence d'une conduite principale alimentant les réacteurs de calcite
- Système by-pass permettant à une partie du perméat de contourner les réacteurs
- Mélange de l'eau reminéralisée avec l'eau du by-pass pour ajuster la minéralisation finale
- Filtration en aval pour retenir les particules fines issues du lit de calcite
- Dépôt d'eau traitée dans les réservoirs d'eau produite

I.12. Stockage final et distribution de l'eau traitée

- Stockage de l'eau traitée dans des réservoirs tampons en béton ou en acier.
- Désinfection finale par chloration (0,2–0,5 mg/L de chlore libre).
- Contrôle de qualité à la sortie des réservoirs (pH, chlore, turbidité, conductivité).
- Rôle du réservoir : régulation du débit et liaison entre production et distribution.
- Capacité de production : 60 000 m^3/j.
- Deux conduites de refoulement : DN300 (7 000 m^3/j) et DN800 (53 000 m^3/j).
- Distribution finale assurée par l'ADE vers les usagers.

I.13. Différents activités

- Équipement de nettoyage des membranes.
- Équipement de nettoyage des filtres.
- Eau de service.
- Air d'instruments et de service.
- Laboratoire.
- Ateliers.
- Système de contrôle (SCADA = Supervisory Control and Data Acquisition, en Anglais).
- Système de contre incendie.

I.14.Organigramme de la station de dessalement EL Marsa

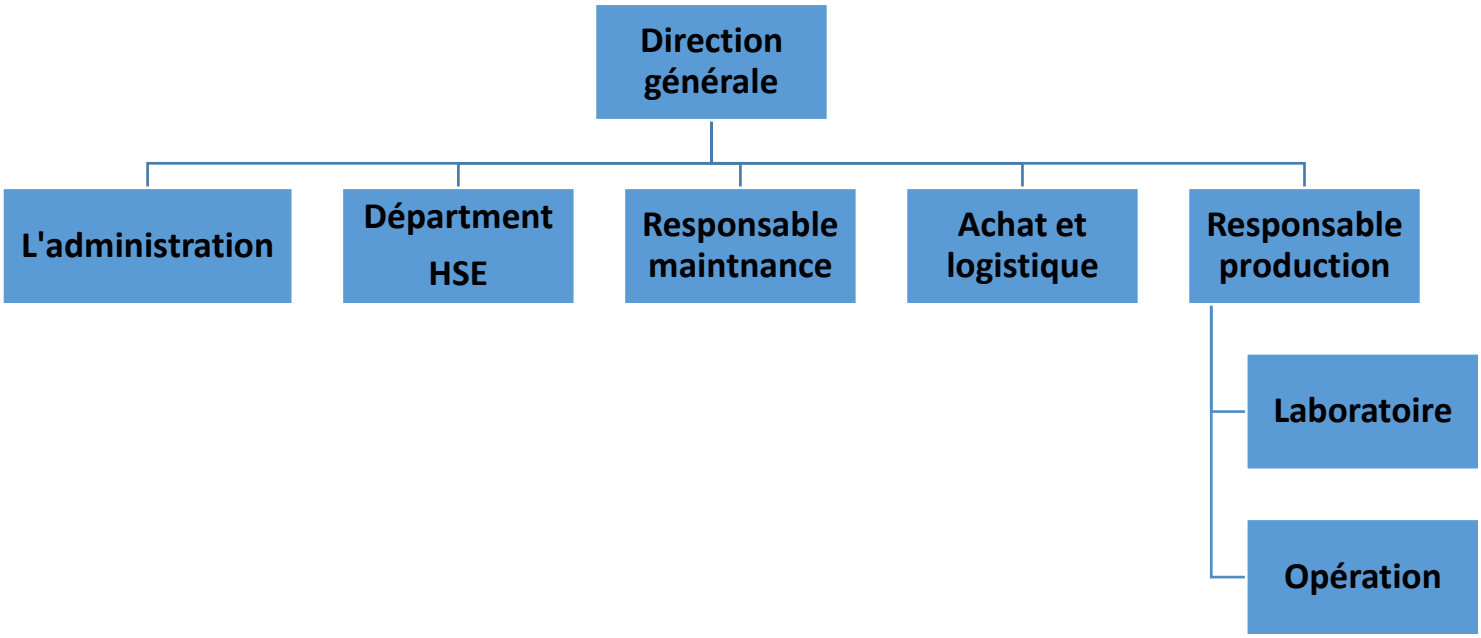

Figure.I.3 : Organigramme de la station de dessalement EL Marsa

I.15.conclusion

Ce premier chapitre a permis de présenter la station de dessalement d'eau de mer d'El Marsa, exploitée par l'Algerian Desalination Company (ADC), filiale du groupe Sonatrach. Implantée à l'est d'Alger en bord de mer, cette station a été mise en service en octobre 2022 et dispose d'une capacité de production de 60 000 m³/jour par osmose inverse, permettant de renforcer l'alimentation en eau potable de plusieurs communes de la wilaya d'Alger (El Marsa, Aïn-Taya, Bordj El-Bahri, Rouïba et Rghaïa).

Nous avons décrit les principales installations de la station : le système de captage de l'eau de mer, la chaîne de prétraitement chimique, la zone de filtration, ainsi que le cœur du procédé constitué de 5 racks regroupant 5 390 membranes de type LG SW 400 R réparties sur 770 tubes de pression. La station fonctionne avec un débit de captation de 130 000 m³/jour pour un taux de conversion de 45 %, et intègre des dispositifs de récupération d'énergie (PX Q300) permettant d'optimiser sa consommation électrique.

Ce panorama général constitue la base nécessaire à la compréhension du procédé de dessalement détaillé dans le chapitre suivant, qui décrit étape par étape le traitement de l'eau, du captage jusqu'à la distribution.

Chapitre II :

Description de processus de dessalement

II.1.Introduction

La station de dessalement d'El Marsa, mise en service en octobre 2022, est implantée dans la commune d'El Marsa à environ 25 km à l'est d'Alger. Elle fonctionne selon le procédé d'osmose inverse et dispose d'une capacité nominale de 60 000 m³/jour, permettant de répondre aux besoins en eau potable de plus de 250 000 habitants. Le processus de dessalement appliqué dans cette station repose sur quatre étapes fondamentales et séquentielles : la prise d'eau et le prétraitement, l'osmose inverse, la reminéralisation, et enfin le stockage et la distribution. [3]

II.2.Captage de l'Eau de Mer

La première étape du processus consiste à acheminer l'eau de mer depuis la Méditerranée vers les unités de traitement. L'eau est captée par une tour de prise d'eau immergée à une profondeur de 13 m, avec un point d'aspiration à 12,5 m, située à 240 m du bâtiment de captage. La conduite d'amenée est en PRV (polyester de fibre de verre), d'un diamètre de 1 200 mm sur une longueur de 240 m, assurant une vitesse d'écoulement comprise entre 1 et 2 m/s.

À l'entrée de la station, l'eau brute passe successivement par deux systèmes de dégrillage :

- Dégrillage grossier : deux dégrilleurs à barreaux inclinés (espacement de 40 mm) qui retiennent les déchets volumineux tels que les algues, plastiques et bois flottés.
- Dégrillage fin : deux dégrilleurs à bandes mobiles équipés de tôles perforées à ouvertures de 3 mm, assurant une filtration plus fine des particules résiduelles.



Figure.II.4 : Dégrillage fin et rotative

L'eau ainsi débarrassée des macro-impuretés est ensuite transférée vers un bassin de captage par un système de pompage composé de quatre pompes centrifuges (3 en service + 1 en secours). Des sondes multimètres mesurent en continu le pH, la conductivité, la température et la turbidité de l'eau brute. [3]



Figure.II.5 : Station de pompage de l'eau de mer

II.3.Prétraitement

Le prétraitement conventionnel d'une station SWRO comprend systématiquement : coagulation-floculation, décantation lamellaire, filtration sur media granulaire et microfiltration sur cartouches. Cette chaîne garantit un indice de colmatage (SDI) inférieur à 5 en entrée des membranes d'osmose inverse. [5]

II.3.1.coagulation-floculation

L'eau est ensuite soumise à un processus de coagulation-floculation destiné à agglomérer les particules colloïdales et les matières organiques en suspension.

Le coagulant utilisé est le chlorure ferrique ($FeCl_3$), injecté après les pompes de captage. En milieu aqueux, il s'hydrolyse selon la réaction : $\mathbf{FeCl_3 + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3HCl}$. L'hydroxyde ferrique formé, chargé positivement, neutralise les charges négatives des colloïdes et favorise leur agglomération.

Le floculant (polymère) est injecté dans un second temps pour renforcer la cohésion des flocs, en reliant les microparticules par pontage polymérique. La conduite d'arrivée est divisée en deux lignes de même dimension, chacune équipée de deux mélangeurs statiques en série pour assurer une homogénéisation complète des réactifs avec l'eau. [6]



Figure.II.6 : Mélangeur statique de Coagulation-floculation

II.3.2.décantation lamellaire

Les eaux coagulées et floculées transitent vers trois décanteurs lamellaires identiques. Ces ouvrages permettent de séparer les flocs par gravité à l'aide de modules lamellaires inclinés, qui augmentent la surface de décantation efficace tout en réduisant le parcours de sédimentation. Chaque décanteur est équipé :

- D’un système de répartition uniforme du flux d'entrée ;
- De racleurs motorisés pour évacuer les boues vers un puits central ;
- De canaux collecteurs de l'eau clarifiée en surface.

La turbidité en sortie doit être maintenue en dessous de 5 NTU. [3]



Figure.II.7 : Décantation Lamellaire

II.3.3.filtration sur média granulaire

L'eau décantée est acheminée par gravité vers cinq filtres bicouches gravitaires montés en parallèle. Chaque filtre est composé, de haut en bas, de :

- une couche Charbon actif supérieure ou intermédiaire selon la configuration, il permet l'adsorption des composés organiques, des résidus de chlore et améliore les caractéristiques organoleptiques de l'eau (goût, odeur)
- une couche d'anthracite pour la rétention des particules fines en surface ;
- une couche de sable siliceux pour la filtration des particules plus grossières ;
- une couche de gravier calibré assurant le drainage uniforme

  Les filtres sont équipés de capteurs de pression différentielle et sont soumis à des lavages à contre-courant combinant air et eau pour régénérer leur pouvoir filtrant. L'objectif est d'obtenir une turbidité inférieure à 0,5 NTU et un indice de colmatage (SDI) inférieur à 3. [3]

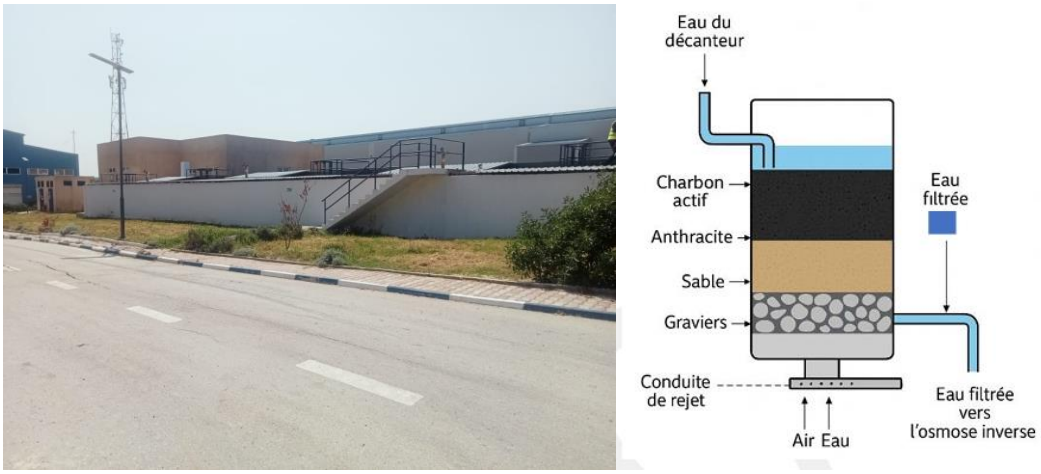

Figure.II.8 : Filtre gravitaire

II.3.4.conditionnement chimique avant osmose

Avant d'atteindre les membranes, l'eau prétraitée reçoit trois injections chimiques complémentaires :

- Antitartre : pour prévenir la précipitation de sels peu solubles ($CaCO_3$, $CaSO_4$) sur les membranes ;
- Acide sulfurique : ajustement final du pH. [3]

II.3.5. microfiltration sur cartouches

Le prétraitement par filtration sur cartouche à 5 µm constitue la dernière barrière avant les membranes OI. Il protège les membranes contre les particules résiduelles et prolonge leur durée de vie opérationnelle. [7]



Figure.II.9 : Filtres à cartouches

II.4.Osmose Inverse

L'osmose inverse constitue le cœur du procédé de dessalement. Elle repose sur l'application d'une pression supérieure à la pression osmotique (60–70 bars) sur l'eau prétraitée, forçant les molécules d'eau à traverser des membranes semi-perméables qui retiennent les sels dissous, bactéries et impuretés. [2]

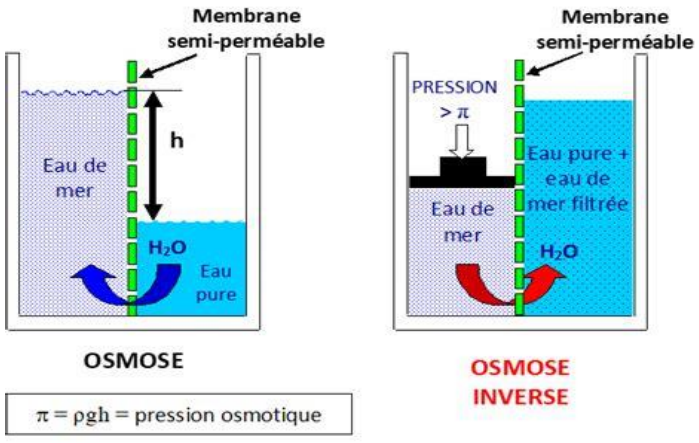

Figure.II.10 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

- Schéma fonctionnel simplifié :

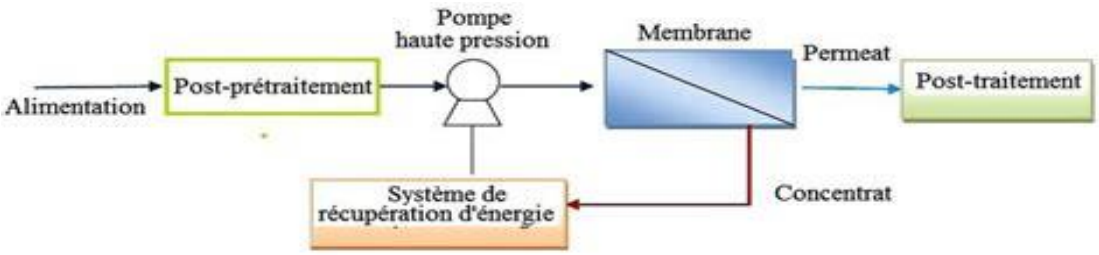

Figure.II.11 : Schéma général du traitement par osmose inverse

II.4.1.tains « racks »

Le Rack d'osmose inverse constitue l'ossature métallique qui assure le supportage et l'alignement rigoureux de tous les composants du système. Conçu pour résister à la corrosion et aux vibrations hydrodynamiques, il permet d'organiser les tubes de pression et la tuyauterie Associée de manière à optimiser l'espace et à faciliter les interventions de maintenance et le remplacement des membranes. Dans la station on a 5 racks.



Figure.II.12 : Racks a la setation de EL marsa

II.4.2.tubes de pression

Les tubes de pression sont des enveloppes cylindriques conçues pour contenir les éléments membranaires d'osmose inverse. Leur rôle principal est de maintenir les membranes dans un alignement précis tout en supportant les pressions hydrauliques élevées (pouvant atteindre 70 à 80 bars pour le dessalement d'eau de mer) nécessaires au processus de séparation.

- Matériaux de Construction

De nos jours, la quasi-totalité des tubes de pression est fabriquée en PRV (Polyester Renforcé de Fibre de Verre) ou FRP (Fiberglass Reinforced Plastic).

❖ Caractéristiques Techniques et Dimensions

Les tubes de pression sont définis par plusieurs paramètres :

- Diamètre : Les standards les plus courants sont de 4 pouces (pour les petites unités) et 8 pouces (pour les installations industrielles).
- Capacité : Un seul tube peut contenir entre 1 et 8 éléments membranaires disposés en série.
- Pression nominale : Ils sont classés selon leur résistance à la pression (300 psi, 450 psi, 600 psi, 1000 psi, 1200 pis.), choisie en fonction de la salinité de l'eau à traiter.

Pour noter station en a les des tubes avec des diamètres 8 pouces et 7 membranaires

Avec une résistance à la pression de 1200 pis environ 83 bars et le nombre totale des tubes 770.

II.4.3.modules membranaires

Le module membranaire est l'élément central du système d'osmose inverse. C'est à l'intérieur de ce composant que s'effectue la séparation entre l'eau pure et l'eau chargée en sels (concentrât). Pour les applications industrielles, la configuration la plus utilisée est le module à enroulement spiralé, offrant un excellent compromis entre compacité et surface d'échange, a la station le model et la marque de la membrane est *LG SW 400.* LG Chem est l'un des leaders mondiaux dans la fabrication de membranes d'osmose inverse. Sa gamme LG SW (Sea Water) utilise une technologie innovante basée sur les nanomatériaux composites (TFN - Thin Film Nanocomposite). Cette technologie permet d'améliorer la perméabilité de la membrane tout en maintenant un taux de rejet de sel parmi les plus élevés du marché. Il existe plusieurs types de membranes utilisées dans les procédés d'osmose inverse, classées selon leur forme et leur matériau de fabrication. Chaque type est adapté à des usages spécifiques (eau de mer, eau saumâtre, eau de surface, eau douce, industries, etc.). [8]

II.4.3.1.principaux types de membranes OI

- Membrane spiralée (Spiral Wound) : La plus couramment utilisée en dessalement industriel. Compacte, facile à remplacer, haute performance.
- Membrane tubulaire : Très robuste, utilisée pour les liquides très chargés (industrie, agroalimentaire). Coût élevé.
- Membrane à fibres creuses (Hollow Fiber) : Très grande surface spécifique, sensible au colmatage. Peu utilisée pour l'eau de mer.
- Membrane plane (Plate and Frame) : Design simple mais encombrant. Utilisée dans certaines applications industrielles spécifiques. [9]

À la station de dessalement d'El Marsa, le type utilisé est la membrane spiralée en polyamide composite, optimisée pour le traitement de l'eau de mer.

II.4.3.2.membrane spiralée en polyamide

- ❖ Principe de fonctionnement

L'eau de mer sous haute pression traverse la membrane.

La couche active laisse passer les molécules d'eau mais retient les sels et les impuretés.

Le perméat est collecté dans un tube central, tandis que le concentrât est rejeté

Composition et structure. [3]

Tableau.II.1 :composition et structure de la membrane spiralee

Couche	***Fonction***
Couche active en polyamide (PA)	Séparation sélective – laisse passer uniquement l'eau
Support microporeux (polysulfone)	Renforce mécaniquement la membrane.
Tissu non tissé	Stabilité structurelle de l'ensemble.

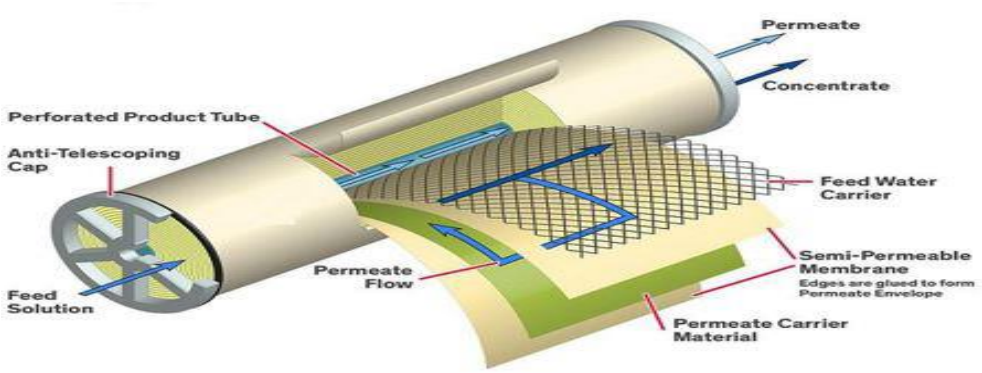

Figure.II.13 : Schéma de la membrane spirale

- ❖ **Caractéristiques Techniques de Membrane (LG SW 400 R)**

Le modèle LG SW 400 R est conçu pour offrir une combinaison optimale entre flux et rejet :

- Diamètre : 20,32 cm (8 pouces).
- Longueur : 101,6 cm (40 pouces).

- Surface active : 37 m²
- Taux de rejet de sel : 99,85 %

❖ **Limites Opératoires (Unités métriques)**

Pour garantir la longévité de la membrane SW 400 R, les paramètres suivants doivent être respectés :

- Pression maximale supportée : 83 bars (1200 psi).
- Température maximale de service : 45°C.
- Débit d'alimentation maximal : 17 m³/h.
- Indice de densité de limon (SDI) : SDI < 5 (une valeur inférieure à 3 est recommandée pour prolonger la durée de vie).

Ce module est particulièrement apprécié pour :

1. La durabilité : Une excellente résistance au nettoyage chimique (pH 1 à 13).
2. La stabilité : Maintien d'un taux de rejet élevé même après plusieurs années d'opération.
3. L'optimisation : Idéal pour les systèmes utilisant des dispositifs de récupération d'énergie grâce à sa perméabilité optimisée. [10]

II.4.4.pompes HP

Les pompes de la marque allemande Düchting Pumpen sont renommées dans l'industrie du dessalement, particulièrement pour les installations de grande capacité. Contrairement aux pompes à pistons, Düchting se spécialise dans les pompes centrifuges multicellulaires de haute performance, conçues pour fonctionner en continu dans les environnements les plus corrosifs.

❖ **Caractéristiques technique**

Type de pompe : HPH.

Taille de la pompe : DN 80 – DN 300.

Pression max : 100 bars.

Débit max : 3500 m^3/h.

Densité max. Du liquide refoule : 1250 g /l.

pH du fluide : 0 à 14.

Taille max des solides dans le liquide pompe : 1 mm

Hauteur de refoulement max : 900 m

Régime max : 3600 tr/min

Température du liquide pompe : 0 à 150 °C

[4]



Figure.II.14 : Pompe HP

II.4.5.echangeurs de pression « ERD »

Dans une unité d'osmose inverse, le rejet sort des membranes avec une pression résiduelle très élevée.Les échangeurs de pression isobariques (Pressure Exchanger – PX) sont les dispositifs de récupération d'énergie les plus performants utilisés dans les stations SWRO modernes. Ils transfèrent directement la pression du concentrat vers l'eau d'alimentation avec un rendement atteignant 95–97 % [11]

II.4.5.1.Types de Récupérateurs d'Énergie

Il existe deux grandes catégories de dispositifs :

- *Les Échangeurs de Pression (Isobaric ERD)* **:** Comme le PX (Pressure Exchanger). Ils transfèrent directement la pression du concentrat à l'eau de mer brute avec un rendement pouvant atteindre 97%. C'est la technologie la plus performante actuellement.
- *Les Turbines à Récupération (Turbochargers)* **:** Ils utilisent l'énergie du concentrat pour faire tourner une turbine qui augmente mécaniquement la pression de l'alimentation. Ils sont plus simples mécaniquement mais légèrement moins efficaces que les échangeurs de pression.

❖ **Fonctionnement Technique**

Le fonctionnement repose sur un rotor en céramique qui tourne à l'intérieur d'un carter.

Le concentrât haute pression pénètre dans une chambre et pousse l'eau de mer basse pression.

L'eau de mer ressort avec une pression presque égale à celle du concentrât

❖ **Avantages pour le Projet**

Réduction des coûts : Diminution drastique de la facture d'électricité

Durabilité : Les modèles modernes résistent parfaitement à la corrosion de l'eau de mer et ont une longue durée de vie.

Dimensionnement de la pompe HP **:** Grâce à l'ERD, la pompe haute pression ne doit fournir qu'une partie du débit total (le débit de perméat 45 % et 55 % par ERD), tandis que l'ERD gère le débit de recyclage du concentrât. [12]



Figure.II.15 : Echangeurs de pression ERD PX

II.4.6.pompe booster (Liée au Récupérateur)

Il est important de noter qu'avec un échangeur de pression, une petite pompe supplémentaire appelée Pompe Booster, associée à l'échangeur de pression PX, compense les pertes de charge internes du système (2 à 3 bars). Ce couplage pompe HP + ERD + booster est la configuration de référence pour les stations SWRO de grande capacité. [13]

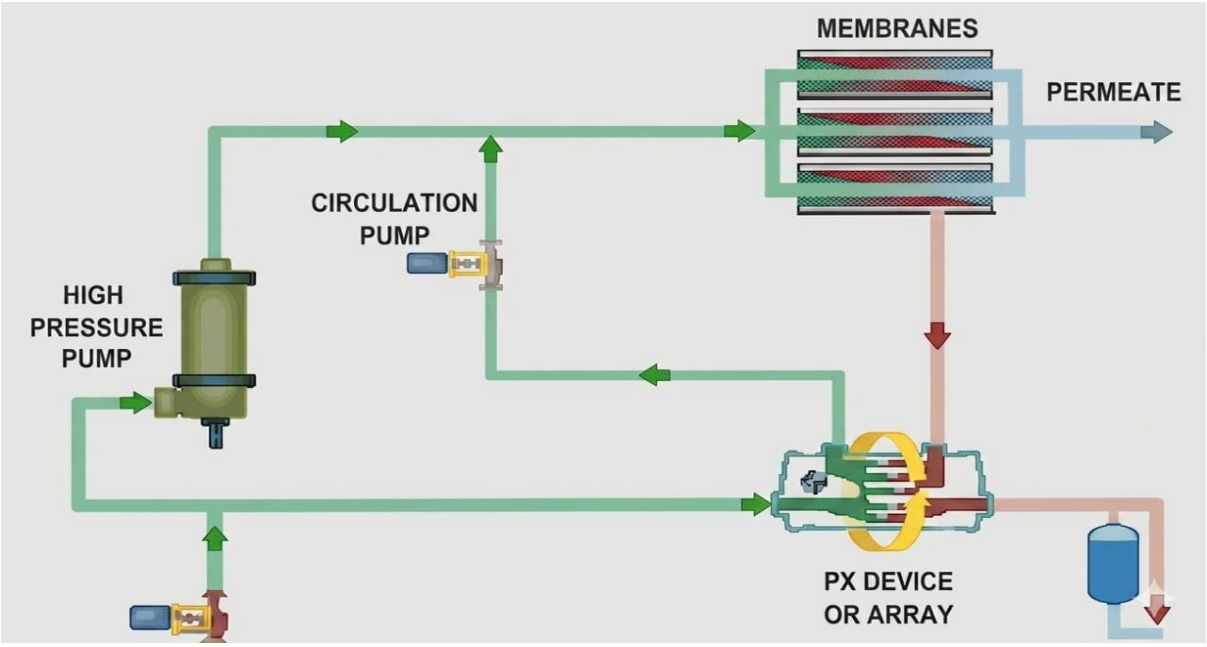

Figure.II.16 : Schéma de montage ERD, pompe-booster, Pompe HP et les membranes

II.4.7.pompes doseuses pour réactifs

Les pompes doseuses pour réactifs jouent un rôle essentiel dans le bon fonctionnement de l'unité d'osmose inverse. Elles assurent l'injection précise et contrôlée des produits chimiques nécessaires pour protéger les membranes, améliorer la qualité de l'eau produite et garantir la stabilité du procédé.

Dans la station de dessalement, plusieurs réactifs sont injectés à différents points du procédé à l'aide de pompes doseuses.

II.4.7.1.Réactifs et débits d'injection dans les unités d'osmose inverse

- **Système de dosage SMBS (décoloration)**

Le méta bisulfite de sodium(SMBS) est ajouté à l'eau d'alimentation RO. Il élimine le chlore (dé de chloration) qui a été ajouté en amont des pompes d'alimentation du filtre pour la désinfection. Même de petites traces de chlore sont nocives pour les membranes RO car le chlore décompose la structure des membranes, ce qui entrave par conséquent la capacité de rejet du sel.

La solution SMBS est injectée directement dans la conduite d'eau d'alimentation RO. Le bisulfite de sodium agit pour neutraliser tout le chlore libre dans l'eau d'alimentation RO.

La solution (SMBS) est préparée en mélangeant du méta bisulfate de sodium en poudre(Na2S2O5) avec de l'eau dans le réservoir de dosage. Un mélange ur est fourni à chaque réservoir pour mélanger la poudre (SMBS) et il est installé sur le dessus du réservoir de solution.

Le méta bisulfite de sodium est une forme anhydre (sans eau) de SMBS. La solution est composée de 10 % en poids de bisulfate de sodium.

La solution SMBS est introduite dans l'eau d'alimentation RO par une pompe doseuse et elle est injectée en aval du filtre à cartouche.

Réaction entre le chlore et metabisulfite de sodium :

$$Na_2S_2O_5 + 3H_2O + 2Cl_2 \rightarrow NaHSO_4 + 2HCl.$$

On a : 2.67 mg/l de metabisulfite de sodium qui neutralise 1 mg/l de chlore

- **Système de dosage antitartre (séquestrant)**

Un antitartre est ajouté à l'eau d'alimentation des racks d'osmose pour empêcher l'accumulation de tartre sur les membranes résultant de produits chimiques ayant un potentiel d'entartrage tels que le carbonate de calcium et le sulfate de calcium. Le dépôt de tartre sur les membranes réduira la perméabilité en obstruant les pores et provoquer ainsi un encrassement. Un produit chimique nommé M 51 ou équivalent est utilisé.

Le M 51 est injecté en aval du filtre à cartouche. L'utilisation d'antitartres de qualité garantit que le système reste

Propre plus longtemps (nécessitant moins d'entretien pour le nettoyage chimique).

La récupération de l'eau produite peut être maximisée et les coûts d'exploitation sont minimisés. [6]

La dose d'antitartre a la station : 0.8 ppm

II.4.8.système de nettoyage (CIP)

Au fur et à mesure du fonctionnement, les membranes d'osmose inverse se colmateront, ce qui provoquera une chute du débit produit de perméat. L'encrassement peut être dû aux matières colloïdales, aux petites précipitations, etc. Pour maintenir sous contrôle ces encrassements et restituer aux membranes une partie des propriétés perdues, il sera nécessaire de les laver périodiquement.

Le nettoyage sera obligatoire dans les cas où :

- La perte de pression des membranes augmente par rapport à la valeur initiale.
- Le passage de sels du module augmente par rapport à la valeur initiale.
- Le débit produit serait inférieur par rapport au débit initial.
- Chaque train RO doit être nettoyé par un système de nettoyage en place en cas de besoin. Ce système comprendra les éléments suivants :

➢ Un réservoir de nettoyage, avec un mélange approprié à l'aide de la pompe de nettoyage et d'autres accessoires nécessaires pour accomplir les dissolutions des produits chimiques de nettoyage, tuyauterie, collecteurs de vannes et instrumentation nécessaires et les filtres à cartouche.

➢ La taille ou le volume du réservoir doit avoir au moins 5 minutes de temps de rétention au débit nominal de la pompe de nettoyage ou 100 % de rétention de liquide de tous les modules de membranes à nettoyer, de la tuyauterie, selon la valeur la plus élevée. Le système fourni est totalement automatisé, lancé par l'opérateur. Tous les rejets du nettoyage de l'usine SWRO sont dirigés vers le réservoir de neutralisation où ils seront neutralisés puis transférés vers le réservoir de décharge.

Le système de nettoyage est dimensionné pour nettoyer un rack RO. [6]



Figure.II.17 : Système de nettoyage (CIP)

II.4.9.tuyauteries (Conduites) d'Osmose Inverse

Les tuyauteries constituent l'élément de liaison entre toutes les unités de la station. Elles assurent le transport de l'eau de mer, de l'eau prétraitée, de l'eau dessalée ainsi que de la saumure rejetée.

II.4.10.système de contrôle-commande :

Le système de contrôle-commande représente le "système nerveux" de la station de dessalement. Son rôle est d'assurer la supervision en temps réel, l'automatisation des séquences de fonctionnement et la protection des équipements critiques contre les incidents opérationnels.

- **L'Instrumentation : Sondes et Capteurs**

Les instruments sont installés directement sur le processus pour mesurer les variables physiques et chimiques.

- Sondes Physico-Chimiques *:*
  - Sonde de Conductivité : Mesure la salinité en entrée et en sortie (perméat) pour évaluer le taux de rejet des membranes.
  - Sonde de pH : Utilisée pour ajuster l'injection des produits chimiques (antitartre, acide ou base).

- Capteurs de Procédé :

- Transmetteurs de Pression : Installés sur les collecteurs hauts pression pour surveiller le fonctionnement des pompes
- Débitmètres : Mesurent les flux de production et de rejet pour calculer le taux de conversion du système.

- **Armoires : Puissance et Automatisme**

Les signaux provenant des sondes sont acheminés vers des armoires spécifiques installées dans un environnement protégé :

- *L'Armoire de Puissance :* Elle abrite les Variateurs de Fréquence (VFD). Ces équipements permettent de moduler la vitesse des moteurs des pompes de gavage et haute pression, optimisant ainsi la consommation énergétique.
- *L'Armoire de Commande :* Elle contient l'Automate Programmable Industriel (API). L'API traite les informations des sondes et gère les sécurités (Interlocks), comme l'arrêt d'urgence en cas de manque d'eau.



Figure.II.18 : Chamber d'armoires

1. Salles : Organisation Spatiale et Supervision

Pour garantir la longévité de l'électronique et le confort de l'exploitation, le système est réparti dans des locaux dédiés :

- *La Salle Électrique :* Une salle climatisée et pressurisée système de contrôle d'humidité où sont regroupées les armoires de puissance et de commande pour les protéger de la corrosion saline.
- *La Salle de Contrôle :* C'est l'espace de supervision où se trouve l'ordinateur de gestion (SCADA). L'opérateur peut y piloter l'intégralité de la station et visualiser les courbes de performance sans contact direct avec les équipements de la station.



Figure.II.19 : Salle contrôle

II.5.Post-Traitement

II.5.1.reminéralisassions

L'eau issue de l'osmose inverse est très faiblement minéralisée (TDS < 50 mg/L), agressive pour les réseaux de distribution et inadaptée à la consommation directe. Une étape de reminéralisation est donc indispensable pour corriger son pH, sa dureté et son alcalinité.

Le procédé utilisé est la dissolution contrôlée de calcite ($CaCO_3$) sous l'action du dioxyde de carbone (CO_2) injecté, selon la réaction chimique :

$CaCO_3\ (s) + CO_2\ (g) + H_2O\ (l) \rightarrow Ca^{2+} + 2\ HCO_3^-$

Le perméat est dirigé vers six réacteurs à lit de calcite. Une fraction du perméat (60 %) traverse les réacteurs, tandis que le reste (40 %) emprunte une conduite by-pass. Les deux flux sont ensuite mélangés pour atteindre la minéralisation cible. Un ajustement final du pH est réalisé par injection d'hydroxyde de sodium (NaOH) si nécessaire

II.5.2.désinfection Finale

Avant stockage et distribution, une dose de chlore résiduel (entre 0,2 et 0,5 mg/L de chlore libre) est injectée dans un mélangeur statique pour prévenir toute recontamination microbiologique lors du transport dans les réseaux.

II.6.stockage et distribution

L'eau traitée et reminéralisée est stockée dans un réservoir tampon couvert, divisé en deux compartiments, avant d'être distribuée. Deux conduites de refoulement assurent la livraison :

- Conduite DN300 : débit de 7 000 m³/jour ;
- Conduite DN800 : débit de 53 000 m³/jour.

L'ensemble de la production est livré à l'ADE (Algérienne des Eaux), qui en assure la distribution via les réseaux de la SEAAL (Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Alger). Des débitmètres électromagnétiques certifiés par l'ONML garantissent la précision et la traçabilité des volumes mesurés.

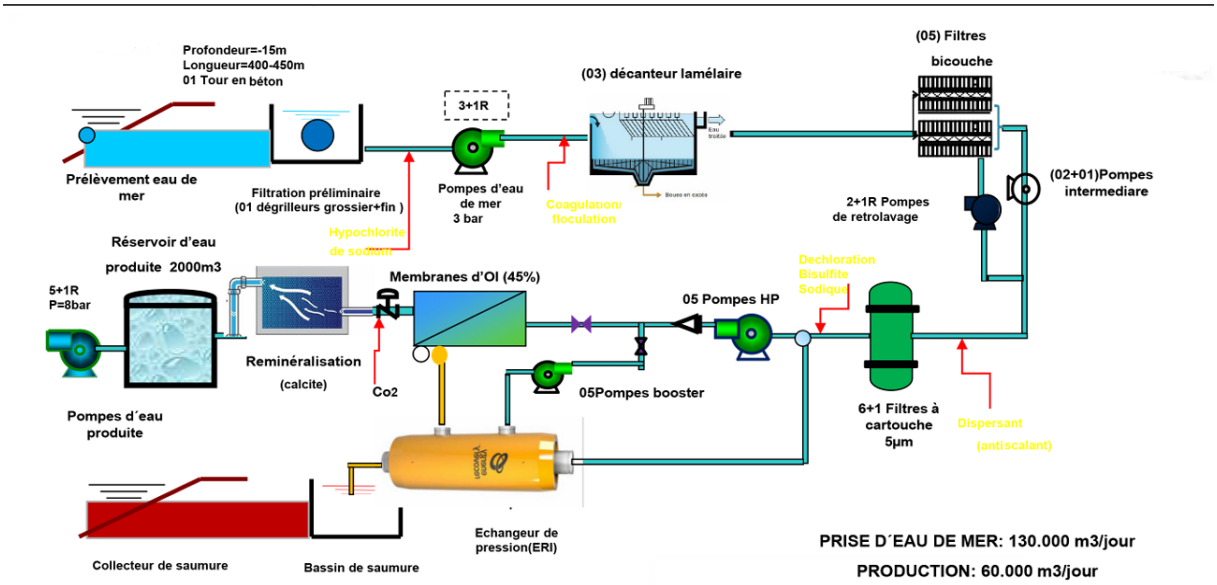

Figure.II.20 : Schéma de process SDEM EL Marsa

II.7.Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de détailler l'ensemble du process de traitement de la station de dessalement d'El Marsa, mettant en évidence une chaîne technologique rigoureuse et séquentielle. Le parcours de l'eau, depuis son captage en mer jusqu'à son stockage final, repose sur la complémentarité critique entre les étapes de prétraitement et le cœur membranaire du système.

Le prétraitement physico-chimique remplit avec succès son rôle de barrière protectrice, en éliminant les matières en suspension et en garantissant un indice de colmatage (SDI) optimal. Cette qualité d'eau d'alimentation est indispensable pour préserver les performances des membranes spiralées en polyamide composite (LG SW 400 R). Ces dernières, soumises à de hautes pressions, assurent un rejet salin supérieur à 99% et permettent d'atteindre le taux de conversion nominal de 45%. De plus, l'intégration des échangeurs de pression (PX) s'impose comme un élément clé du procédé, en récupérant l'énergie hydraulique du concentrât pour réduire drastiquement la consommation énergétique de la station. Enfin, les étapes de post-traitement par reminéralisation sur lit de calcite et désinfection sécurisent la qualité organoleptique et sanitaire de l'eau avant sa distribution.

Chapitre III :

Matériels et Méthodes

III.1. Introduction

Ce chapitre décrit l'ensemble des équipements, des instruments de mesure et des protocoles analytiques utilisés lors du stage réalisé à la station de dessalement d'El Marsa, wilaya d'Alger. Il présente le matériel du laboratoire d'analyse ainsi que les méthodes adoptées pour le suivi physico-chimique de l'eau brute et de l'eau traitée, et enfin le logiciel de simulation Q+ Projection utilisé pour la modélisation du procédé d'osmose inverse

III.2.Laboratoire d'analyse

Le laboratoire de la station de dessalement d'El Marsa est l'organe de contrôle garantissant la fiabilité du processus de production. Il assure un suivi permanent à travers des bulletins d'analyses physico-chimiques, permettant de valider chaque étape du traitement, de l'aspiration de l'eau de mer jusqu'à la distribution de l'eau potable.

III.2.1.Matérels et Méthodes

Le laboratoire s'appuie sur un parc d'équipements et des méthodes spécialisés pour garantir la précision des résultats

III.2.1.1.Mesure du pH par méthode électrométrique

La mesure du ph repose sur l'utilisation d'une électrode de verre sensible aux ions H+. La différence de potentiel établie entre l'électrode et une électrode de référence est liée à la concentration en ions hydrogène selon l'équation de Nernst. La plupart des appareilles incluent une compensation automatique de la température pour corriger l'influence de la température sur la mesure [14]

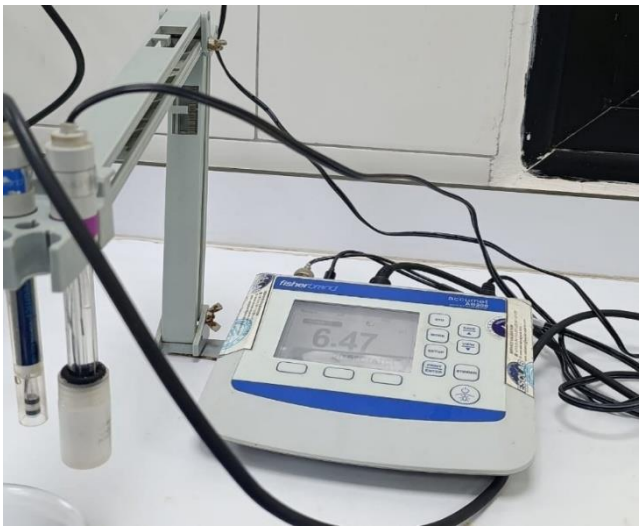

Figure.III.21 : multiparamétre fishrbrand accumet

Matériel

- Multiparamétre fishrbrand accumet
- Bécher

Mode opératoire

- Remplir un bécher avec de la solution
- Rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée
- Introduire l'électrode dans la solution à analyser
- Lire la valeur affichée par le pH-mètre après stabilisation
- Rincer abondamment la sonde à l'eau déminéralisée après chaque mesure

III.2.1.2.mesure de la Turbidité

La turbidité est mesurée par néphélométrie Un faisceau lumineux traverse l'échantillon et les particules en suspension diffusent la lumière. La quantité de lumière diffusée à un angle de 90° est proportionnelle à la turbidité [15]



Figure.III.22 : Turbidimètre

Matériel :

- Turbidimètre Turb 750 T
- Flacon

Mode opératoire :

- Nettoyez la cellule
- Rincer la cellule : Versez environ 10 ml d'échantillon dans la cellule. Fermez la cellule et pivoter plusieurs fois avant de jeter l'échantillon.
- Remplissez la cellule avec l'échantillon à mesurer (environ 15ml). Fermez la cellule avec le capuchon de protection contre la lumière noire.

- Insérez la cellule et déterminez la position appropriée de la cellule dans l'arbre de la cellule.
- Appuyez sur la touche <START/ENTER.
- La mesure commence. La valeur mesurée s'affiche.

III.2.1.3.mesure de la Conductivité

La conductivité est évaluée par l'application d'un courant électronique à travers une cellule contenant la solution. Les électrodes mesurent la capacité de la solution à conduire le courant, ce qui dépend principalement de la concentration en ions

Matériel

- Multiparamétre fishrbrand accumet
- Bécher

Mode opératoire

- Rincer abondamment la sonde à l'eau déminéralisée avant l'utilisation.
- Presser la touche power puis la touche mode pour sélectionner le mode de conductivité
- Introduire la sonde dans la solution à analyser.
- Lire la valeur affichée par l'appareil après stabilisation.
- Rincer abondamment la sonde à l'eau déminéralisation après chaque mesure

III.2.1.4.détermination de Total dissoute solides TDS

Mesure la quantité totale de sels dissous dans l'eau (Na^+, Cl^-, Mg^{2+}, etc.). Un TDS élevé signifie une eau très saline, ce qui augmente la charge osmotique sur les membranes et exige une pression plus élevée pour le dessalement. [16]

Matériel

- Multiparamétre fishrbrand accumet
- Bécher

Mode opératoire :

- Prélevez un échantillon d'eau à mesurer.
- Activation de l'appareil : Mettez en marche le TDS-mètre.
- Plongée de la sonde : Placez la sonde du TDS-mètre dans l'échantillon d'eau.
- Observation de la mesure : Patientez jusqu'à ce que la lecture soit stable, ensuite notez la valeur qui apparaît sur l'écran du TDS-mètre.
- Nettoyage de l'appareil : Rincez la sonde avec de l'eau propre et éteignez l'appareil.

III.2.1.5.mesure de la dureté totale par titrage

La méthode repose sur un titrage des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} à l'aide d'une solution d'EDTA (acide éthylène diamine tétra acétique) qui forme un complexe stable avec ces ions. Le point final est détecté à l'aide de l'indicateur coloré NET (Noir d'ériochrome T), qui change de couleur (rose en bleu) lorsque tous les ions ont été complexés. [17]

Matériel

- Burette graduée (0,1ml ou 0,2 ml)
- Erlenmeyer de 100 ml
- Pipette jaugée ou éprouvette de 50 ml
- Agitateur magnétique

Réactifs

- Tampon Ph 10
- Indicateur NET en poudre ou en solution
- Solution d'EDTA 0,01 M (normée)

Mode opératoire

- Prélever 50 ml de l'échantillon dans un bécher propre
- Ajouter 1à2ml de tampon ph 10 pour stabiliser le PH.
- Ajouter une pointe de spatule de NET (ou quelques gouttes si en solution) :
- La solution devient rose-violet si des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont présents.
- Titrer avec la solution d'EDTA 0,01 M, goutte à goutte en agitant doucement.
- Arrêter le titrage lorsque la couleur passe nettement du rose au bleu pur Noter le volume d'EDTA utilisé.

CALCUL : Durete totale (mg/l en $CaCO_3$) = $\frac{((\boldsymbol{VEDTA\ x\ CEDTA\ X100}))}{\boldsymbol{V\ échantillon}}$

Avec :

- V_{EDTA}= Volume d'EDTA utilisé (en ml)
- C_{EDTA}= concentration de l'EDTA (mol/l)
- $V_{\text{échantillon}}$ = Volume de l'échantillon titré (en ml)

III.2.1.6.mesure de la dureté calcique par titrage

La méthode repose sur le titrage des ions calcium à l'aide d'une solution d'EDTA, en présence de l'indicateur coloré Murexide, qui change de couleur en fin de titrage. Contrairement à la dureté totale, le tampon utilisé permet de bloquer les ions magnésium pour ne titrer que les ions calcium. [17]

Matériel :

- Burette graduée (0,1 ou 0,2 ml)
- Erlenmeyer de 100 ml
- Pipette jaugée ou éprouvette de 50 ml
- Agitateur magnétique

Réactifs :

- Tampon pH 12 (hydroxyde de sodium ou tampon fort)
- Indicateur Murexide (en poudre ou solution)
- Solution d'EDTA 0,01 M (normée)

Mode opératoire :

- Prélever 50 ml d'échantillon dans un bécher
- Ajouter 1à2ml de tampon ph 12 pour créer un milieu alcalin (ph >12)
- Ajouter une pointe de spatule de Murexide :

- La solution devient rose-violet en présence de calcium.

- Titrer avec l'EDTA 0,01 M goutte à goutte, tout en agitant.
- Le point final est atteint lorsque la couleur passe du rose au violet-bleu *(Figure 51)*
- Noter le volume d'EDTA utilisé

CALCUL : Dureté calcique (mg/l en $CaCO_3$) = $\frac{(\text{VEDTA x CEDTA x 100})}{\text{VÉchantillon}}$

III.2.1.7.détermination Alcalinité

L'alcalinité totale (AT) désigne le potentiel d'une eau à neutraliser les acides, essentiellement associé à la quantité de bicarbonates (HCO_3^-), de carbonates (CO_3^{2-}) et, dans certaines situations, d'hydroxydes (OH^-). Le processus de titrage de l'alcalinité repose sur l'introduction d'un acide puissant dans un échantillon d'eau jusqu'à atteindre un changement dans le pH :

PH ≈ 4,5 : achèvement de la neutralisation des bicarbonates → Alcalinité totale

Matériel :

- Burette graduée (0,1ml ou 0,2 ml)
- Erlenmeyer ou bécher de 100 ml
- Pipette jaugée ou éprouvette de 50 ml
- Agitateur magnétique

Réactifs :

- Acide sulfurique H2SO4 (0,002 N)
- Indicateurs : phénolphtaléine et méthyle orange

Mode opératoire :

- Verser l'échantillon dans un et insérer le barreau magnétique.
- Ajouter en même temps 3 gouttes de phénolphtaléine ainsi que 2 gouttes de méthyle orange. La solution devient jaune
- Commencer l'agitation magnétique à une vitesse modérée.
- Procéder à la titration avec H2SO4 0,002 N goutte à goutte tout en maintenant l'agitation.
- Le point final est atteint lorsque la couleur passe du jaune au rouge brique

CALCUL : TAC ($CaCO_3$ en mg/l) $= \frac{V_{acide} \times C_{acide} \times 50000}{V \text{ Échantillon}}$



Figure.III.23 : Manipulation de titrage en laboratoire

III.2.1.8 mesure du chlore

La concentration en chlore peut être exprimée en chlore libre, chlore combiné et chlore total. La mesure du chlore libre est généralement la plus importante dans la plupart des applications possibles. La méthode au Diéthyl-p-Phénylène-Diamine (DPD) permet de mesurer le chlore libre, combiné et total.

Les réactifs sont dans cette méthode fournis sous forme de pastilles afin de simplifier l'utilisation. Le chlore libre réagit avec la molécule DPD (Diéthyl-p-Phénylène-Diamine) afin de produire une coloration rose. L'intensité de cette couleur produite est proportionnelle à la concentration en chlore libre recherchée. [18]

Matériels et réactifs :

- Pastille DPD
- Photomètre palintest lumiso expert

- Cuve propre

Mode opératoire :

On utilise un Photomètre, en choisissant la mesure du paramètre chlore libre. Mettre 10 ml de l'échantillon dans une cuve propre et la mettre dans le colorimètre et étalonner ce dernier à 0 mg/l ; et 10 ml de l'échantillon dans une autre cuve propre et ajouter une pastille de DPD, introduire la cuve dans le colorimètre et effectuer la lecture immédiatement. Le résultat (concentration du chlore libre) est exprimé en mg/l.



Figure.III.24 : Photomètre palintest lumiso expert

III.2.1.9.mesure de TSS – Total Suspended Solids

La mesure des TSS repose sur une méthode gravimétrique : l'échantillon est filtré à travers un filtre en fibre de verre (<1,5 µm), puis le filtre est séché à 103-105°C et pesé avant et après filtration. La différence de masse permet de déterminer la concentration des TSS en mg/L

Matériel :

- Filtre en fibre de verre (<1,5 µm)
- Four (103-105°C)
- Balance analytique
- Pompe à vide
- Eau distillée

Mode opératoire :

- Peser un filtre propre et sec (M_o)
- Filtrer un volume précis d'échantillon
- Sécher le filtre chargé (103-105°C, 1h)
- Peser à nouveau (M_1)

CALCUL: TSS (mg/l) = $\frac{((M1) - (Mo))\ x1000}{V}$

III.2.1.10.indice de Langelier

Cet indicateur sert à identifier si l'eau est susceptible d'être corrosive ou de provoquer des dépôts de tartre (incrustations calcaires) dans les conduits et équipements. Quand l'indice est négatif, l'eau devient corrosive et peut endommager les métaux ; quand il est positif, elle tend à créer des incrustations qui favorisent le développement du tartre. L'optimal est que l'indice se situe entre -0,5 et +0,5, indiquant que l'eau est équilibrée et ne possède ni caractère corrosif ni tendance à engendrer des dépôts. Cet indice est couramment employé dans la gestion et la distribution de l'eau.

III.3.Stratégie de Suivi Analytique : Eau Brute et Eau Traitée

Le suivi analytique s'organise autour de deux flux principaux définis par les exigences contractuelles :

- **Suivi de l'Eau de Mer (Eau Brute)**

Le laboratoire analyse la qualité de l'eau entrante pour adapter le prétraitement :

- Salinité : Mesure du TDS et de la Conductivité avec des capteurs adaptés aux hautes concentrations de l'eau de mer.
- Charge Particulaire : Contrôle de la Turbidité et des matières en suspension (TSS) pour prévenir l'encrassement des membranes d'osmose inverse.
- Stabilité Physique : Surveillance du pH et de la Température pour stabiliser le processus chimique

- **Contrôle de l'Eau Traitée**

Après le passage par les Racks et la reminéralisation, l'eau est vérifiée selon la norme NA 6360 :

- Qualité de l'Eau traitée : Mesure de la basse conductivité en sortie de Racks (où la conductivité est très faible) pour vérifier l'efficacité de la filtration membranaire.

Équilibre Calco-carbonique : Suivi de la Dureté Totale et Calcique pour éviter l'entartrage ou le caractère agressif de l'eau

- Mesure de l'Alcalinité et calcul de l'Indice de Langelier (LSI) pour garantir la stabilité chimique dans les réseaux de distribution.
- Désinfection : Contrôle du Chlore résiduel pour assurer une protection bactériologique continue.

III.4. Logiciel de simulation Q+ Projection

III.4.1. Présentation du logiciel :

Le logiciel Q+ Projection (développé par LG Chem) est un outil de conception et de simulation dédié à la modélisation des systèmes de traitement d'eau par membranes, notamment l'osmose inverse (OI) et la nanofiltration (NF). Il est largement utilisé dans les applications industrielles de dessalement d'eau de mer, de traitement des eaux saumâtres et de réutilisation des eaux. [10]

III.4.2. Fonctionnalités principales

Le logiciel Q+ Projection permet notamment :

•La simulation des performances des systèmes OI en tenant compte des conditions réelles : température, pression, composition chimique de l'eau.

La conception de systèmes multi-étages avec différentes configurations de membranes.

•L'estimation des paramètres clés : débit de perméat, taux de récupération, passage du sel, pression de fonctionnement, consommation énergétique.

•La prise en compte des phénomènes de colmatage et d'entartrage pour améliorer la fiabilité du modèle.

•La comparaison entre plusieurs scénarios de conception pour choisir la solution la plus performante.

•La génération automatique de rapports techniques détaillés incluant les bilans massiques et les paramètres de conception. [10]

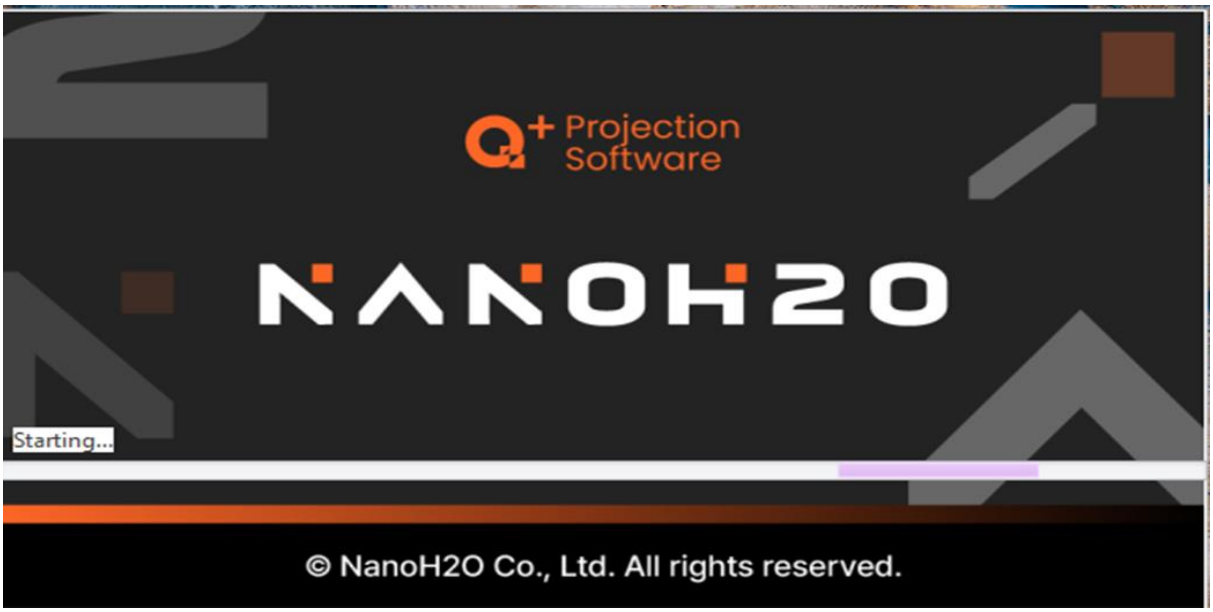

Figure.III.25 : Interface principale du logiciel Q+ Projection

III.5.Etapes de la simulation

Pour faire la simulation avec Q+ Projection, on va suivre les étapes suivantes :

III.5.1. accès à l'interface de conception

Tout d'abord, à partir de l'interface principale du logiciel, on clique sur Design, puis sélectionner Wizard. Après cela, une nouvelle fenêtre apparaît contenant les différentes rubriques nécessaires à la configuration du système

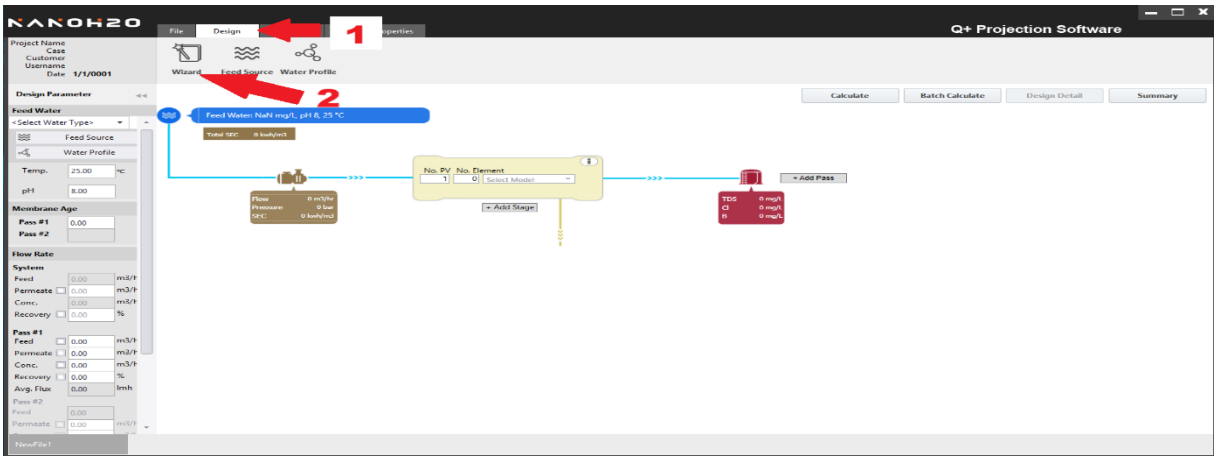

Figure.III.26: Interface principale du logiciel Q+ Projection.

III.5.2.informations du projet

Dans l'onglet Informations du projet, on saisit le nom du projet Station El-Marsa dans le champ Project Name. Ensuite, on saisit Algerian Desalination Company dans le champ Customer, puis on clique sur Next pour passer à l'étape suivante.

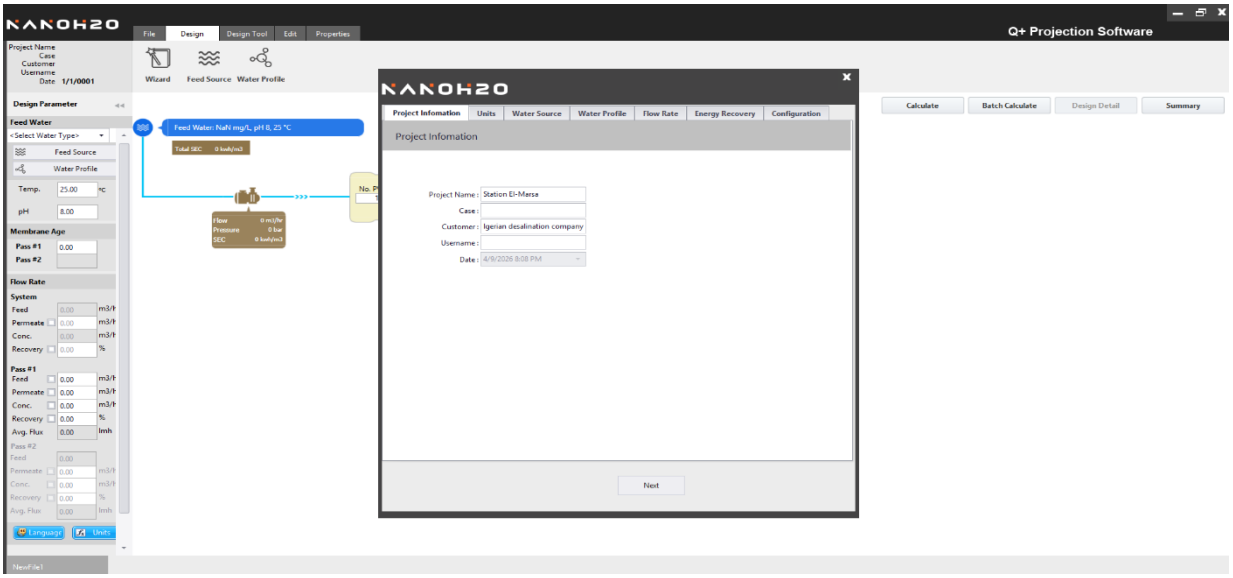

Figure.III.27 Interface des informations du projet dans le logiciel Q+ Projection

III.5.3.unités

Dans l'onglet Unités, définir les unités utilisées pour la simulation. On choisit °C pour la température, m³/h pour le débit, bar pour la pression et LMH pour le flux. Après avoir défini toutes les unités, on clique sur Next.



Figure.III.28: Barre des unités dans Q+ Projection.

III.5.4.source d'eau

Dans l'onglet Source d'eau, nous choisissons Seawater – Open Intake (SDI < 5) comme source d'alimentation. Ensuite, on saisit les paramètres suivants : température 17 °C, pH 8.00, Flow Loss de 7 %, Salt Passage Increase Membrane Age de 3 ans, Flow Factor de 0.80 et Safety Factor de 1.00. Après cela, clique sur Next.

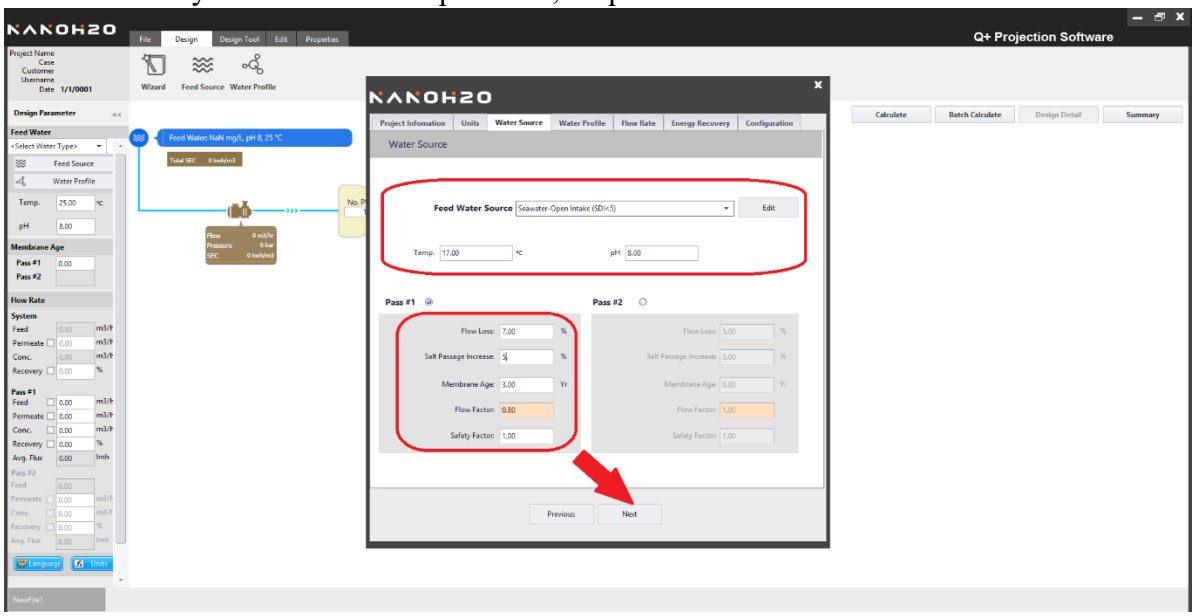

Figure.III.29 : Configuration de la source d'eau dans le logiciel Q+ Projection

III.5.5.profil de l'eau

Dans l'onglet Water Profile, on clique sur Add new comme profil d'eau. Ensuite, on saisit les différentes concentrations chimiques de l'eau dans le tableau correspondant. Après avoir complété les données, clique sur Next.

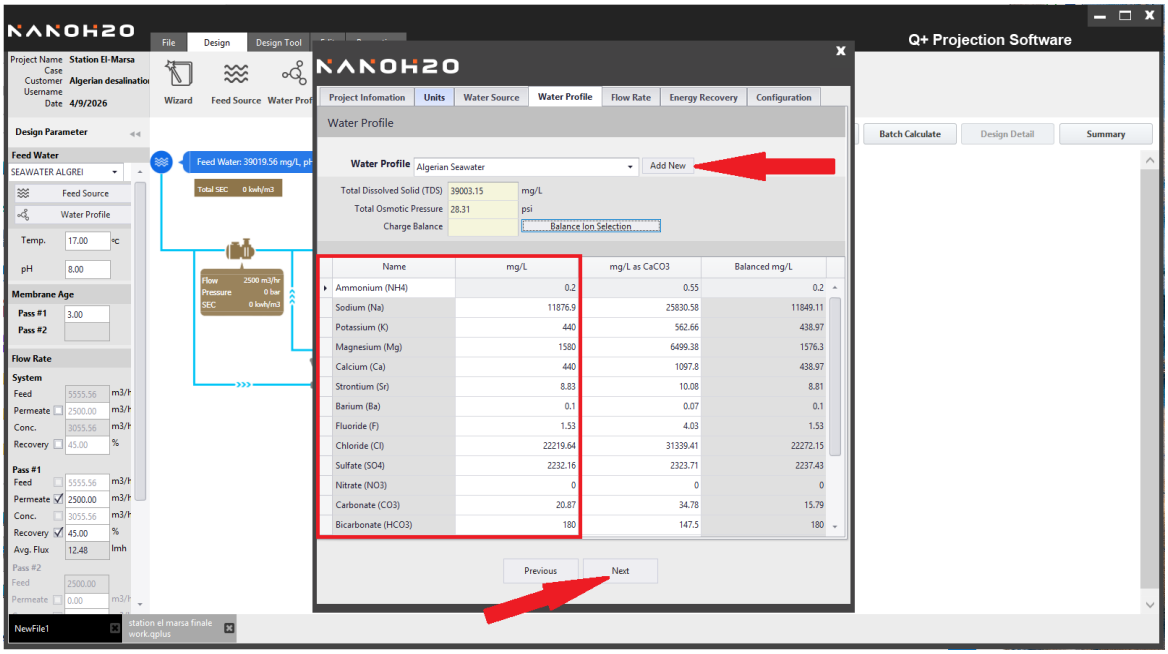

Figure.III.30 *:* Définition du profil de l'eau dans le logiciel Q+ Projection

III.5.6.débit

Dans l'onglet Flow Rate, on saisit le débit de perméat 500 m³/h ainsi que le taux de récupération 45 %. Les autres valeurs seront calculées automatiquement par le logiciel. Ensuite, clique sur Next.

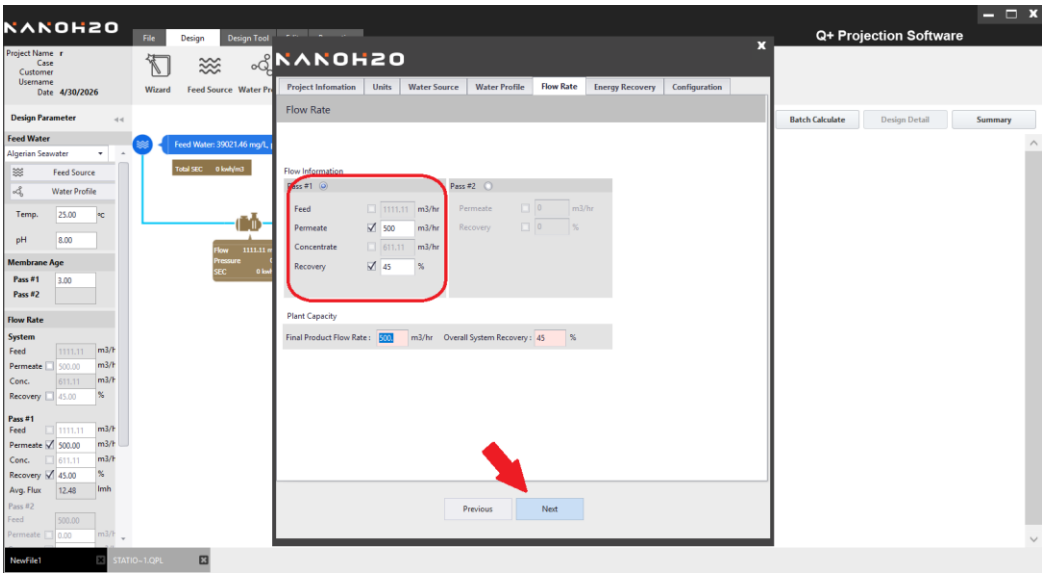

Figure.III.31**:** Paramétrage du débit dans le logiciel Q+ Projection

III.5.7.récupération d'énergie

Dans l'onglet Energy Recovery, saisir les paramètres suivants : Pump Efficiency = 80 %, ERD Type = Isobaric, HP Differential = 0.9 bar, Volumetric Mixing = 6 % et Leakage = 1 %. Après cela, cliquer sur Next

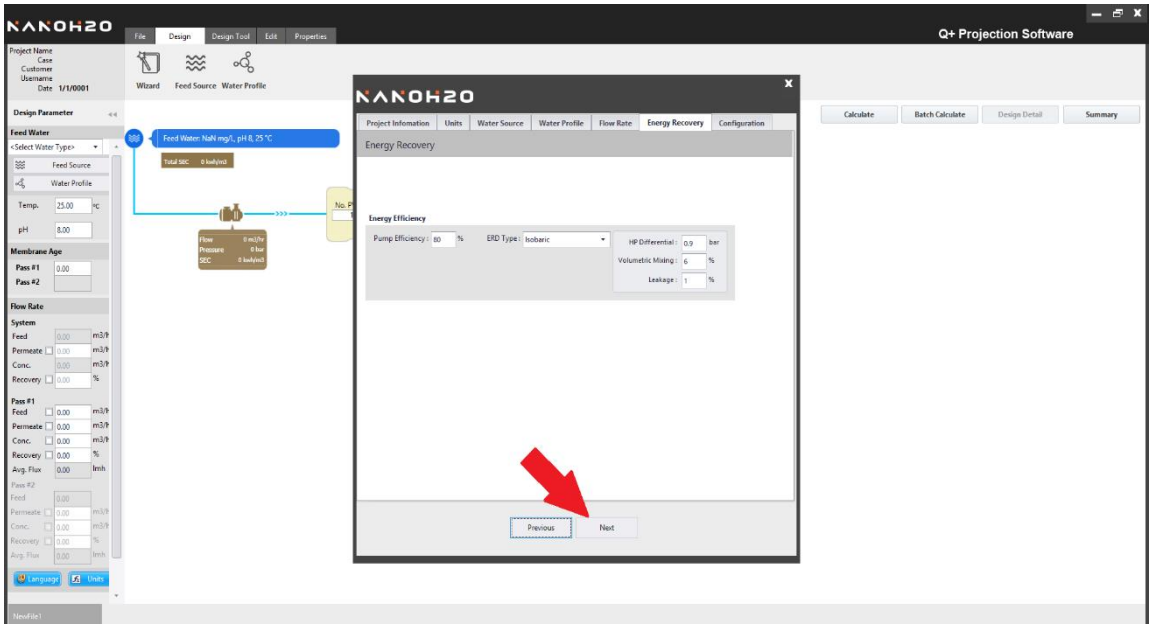

Figure.III.32**:** Paramétrage du système de récupération d'énergie dans le logiciel Q+

III.5.8.configuration

Dans l'onglet Configuration, sélectionner 1st Stage, puis saisit 154 tubes Pressure, 7 éléments par tube et choisit le modèle de membrane SW 400 R. Enfin, clique sur done Simulation pour lancer la simulation avec Q+ Projection.

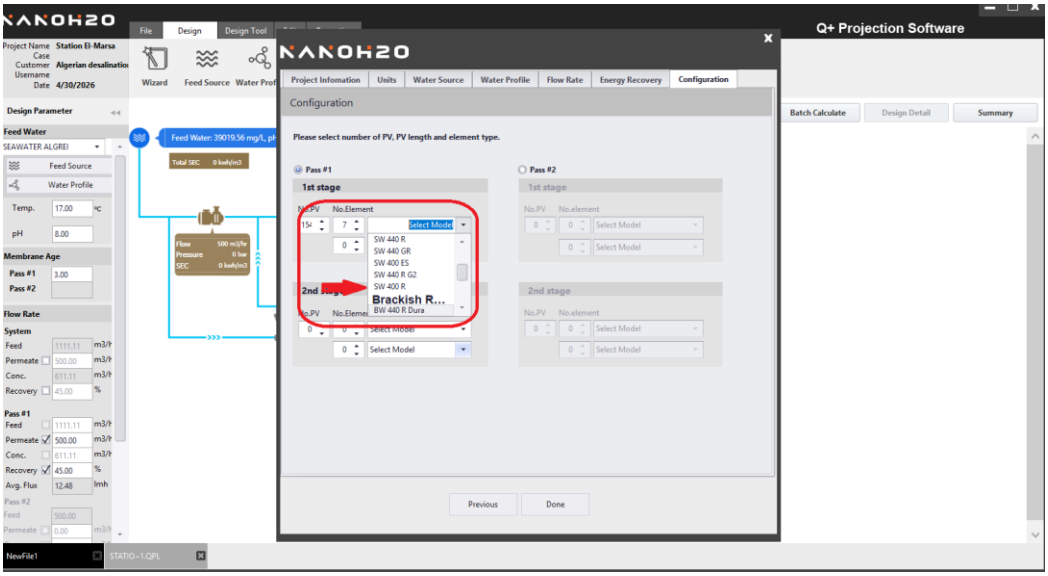

Figure.III.33 *:* Configuration du système (1st Stage) dans le logiciel Q+ Projection

Dans la dernière étape, on appuie sur calculate après sur Desing detail les résultats seront affichés sur l'écran.

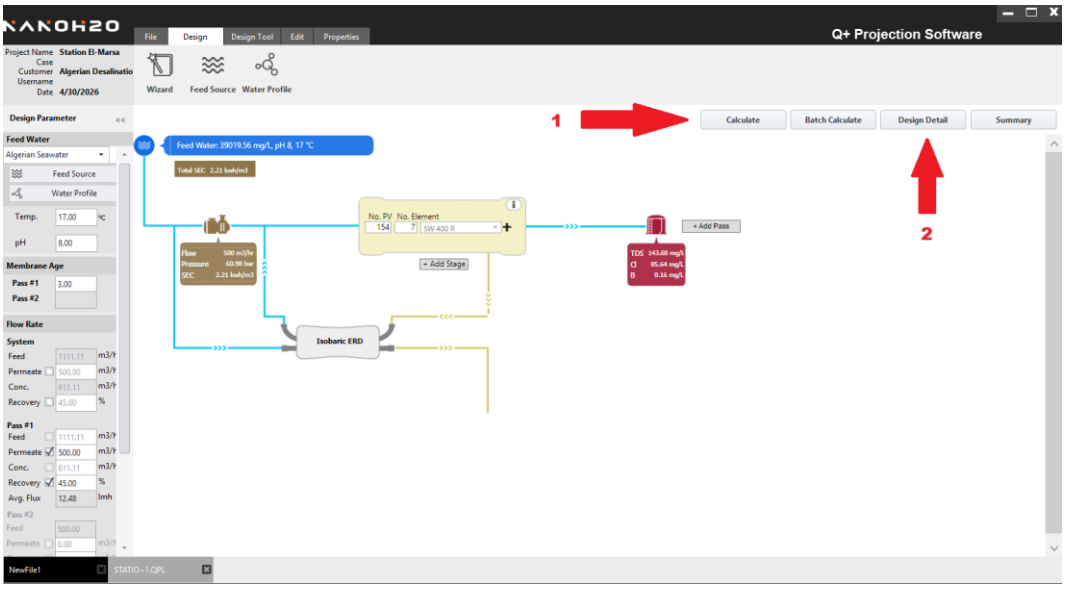

Figure.III.34: Calcule de système et les détails dans le logiciel Q+ Projection

III.6. Conclusion

Ce chapitre a présenté l'ensemble des matériaux et des méthodes utilisés dans le cadre de cette étude. La station de dessalement d'El Marsa dispose d'un laboratoire bien équipé avec des instruments performants permettant un suivi rigoureux de la qualité de l'eau à chaque étape du processus. Les méthodes analytiques adoptées sont conformes aux exigences de la norme algérienne NA 6360.

Le suivi a été réalisé sur six semaines consécutives, avec des analyses hebdomadaires de l'eau brute et de l'eau traitée. Des mesures spécifiques au perméat de sortie de chaque rack ont également été effectuées pour permettre la comparaison avec les résultats de la simulation Q+ Projection, présentée au chapitre suivant .

Chapitre IV :

Résultats et Discussion

IV.1.Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus au cours de cette étude. Il est structuré en deux parties complémentaires. La première partie présente les résultats des analyses physico-chimiques des eaux brute et traitée, collectées sur six semaines consécutives au niveau de la station SDEM El Marsa, et compare aux valeurs limites fixées par la norme algérienne NA 6360. La seconde partie présente les résultats de la simulation réalisée à l'aide du logiciel Q+ Projection, et compare aux mesures réelles relevées au perméat en sortie des cinq racks, afin d'évaluer la fiabilité du modèle dans les conditions opérationnelles réelles de la station.

IV.2.Présentation des Paramètres Analysés

IV.2.1.qualité de l'eau brute

Le tableau ci-dessous présente les valeurs des paramètres physico-chimiques mesurées sur l'eau de mer brute au niveau de la station El Marsa, relevées sur six semaines consécutives à 10 :00 du matin. Ces mesures permettent de caractériser la qualité de l'eau d'alimentation et de suivre ses variations au cours du temps ;

Tableau.IV.2: Qualité de l'eau brute

Paramètre	Température	Conductivité	pH	Turbidité	TSS	TDS
Unité	°C	mS/cm	—	NTU	mg/l	mg/
Valeurs Limites	[14 ; 30]	—	—	—	< 50	[35000;40000]
S1 (18/02/2026)	17,5	55,20	8,12	1,10	23,2	38 088
S2 (24/02/2026)	17,8	55,00	8,15	1,12	24,5	37 950
S3 (04/03/2026)	18,4	55,30	8,13	1,09	23,1	38 157
S4 (11/03/2026)	17,6	54,60	8,22	3,19	4,7	37 674
S5 (16/03/2026)	17,6	55,40	8,12	2,10	3,0	38 226
S6 (13/04/2026)	17,8	54,80	8,20	1,11	24,0	37 812

IV.2.2.qualité de l'eau traitée

Le tableau suivant regroupe les valeurs des paramètres physico-chimiques mesurées sur l'eau traitée en sortie de post-traitement, sur six semaines consécutives à 10 :00 du matin. Ces résultats permettent d'évaluer l'efficacité globale du procédé de dessalement et la qualité de l'eau produite.

Tableau.IV.3: Qualité de l'eau traitée

Parametaires	T	Conductivité	pH	Turbidité	Chlore rés.	TDS	Dureté calc.	Dureté tot.	Alcalinité	I. Langelier
Unite	°C	µS/cm	—	NTU	mg/L	mg/L	ppm $CaCO_3$	ppm $CaCO_3$	ppm $CaCO_3$	—
Limits	[14;30]	—	[7,5;8,5]	—	—	[150;500]	—	—	> 65	[0;0,4]
S1 (18/02/2026)	17,3	632,2	8,42	0,50	0,64	334,4	68	72	70	0,01
S2 (24/02/2026)	18,5	604,5	8,40	0,50	0,80	319,7	76	80	72	0,07
S3 (04/03/2026)	18,2	600,4	8,50	0,53	0,66	317,5	66	72	66	0,07
S4 (11/03/2026)	17,9	541,0	8,46	1,19	0,90	297,6	65	70	70	0,04
S5 (16/03/2026)	17,9	547,0	8,44	1,04	0,70	300,9	64	69	72	0,03
S6 (13/04/2026)	17,7	568,1	8,45	0,50	0,69	300,6	68	74	72	0,06

IV.3.Interprétations des Paramètres étudies

IV.3.1.Température

La température de l'eau brute varie entre 17,5°C et 18,4°C, tandis que celle de l'eau traitée se situe entre 17,3°C et 18,5°C. Ces valeurs restent dans la plage autorisée [14 ; 30°C], témoignant d'une stabilité thermique favorable au bon fonctionnement des membranes d'osmose inverse.

IV.3.2. Conductivité

La conductivité de l'eau brute reste très élevée et stable entre 54,6 et 55,4 mS/cm, typique de l'eau de mer méditerranéenne. Après traitement, elle chute drastiquement à 541 – 632,2 µS/cm, confirmant l'efficacité de la séparation membranaire et la haute performance des membranes LG SW 400 R dans la rétention des ions dissous.

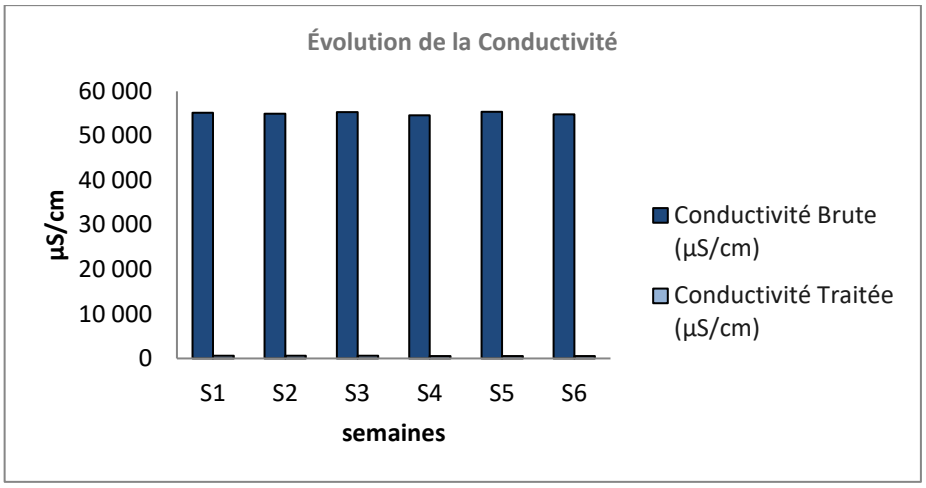

Figure.IV.35 : Évolution de la conductivité de l'eau brute et traitée

IV.3.3. pH

Le pH de l'eau brute est légèrement basique, compris entre 8,12 et 8,22. Après traitement et reminéralisation, le pH de l'eau produite se situe entre 8,40 et 8,50, conforme aux normes [7,5 ; 8,5], grâce à l'ajustement chimique par NaOH et CO_2. Ce maintien est favorable pour éviter les phénomènes de précipitation ou de corrosion.

IV.3.4.turbidité

La turbidité de l'eau brute varie entre 1,09 et 3,19 NTU. La légère hausse observée en semaines 4 et 5 peut être liée à des conditions météorologiques marines défavorables. Après traitement, elle est réduite à 0,50 – 1,19 NTU, confirmant l'efficacité du prétraitement (coagulation-floculation, décantation, filtration).

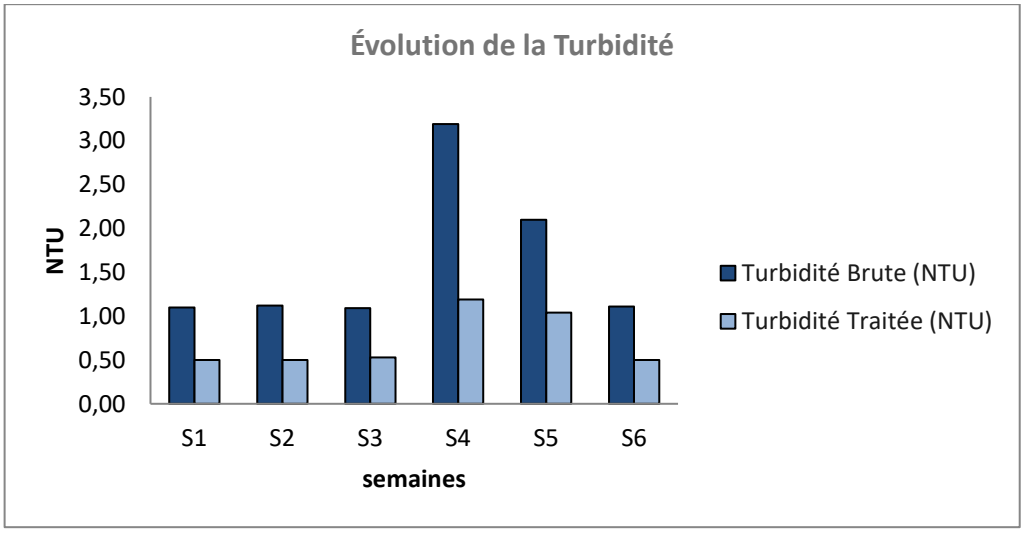

Figure.IV.36 : Évolution de la turbidité de l'eau brute et traitée

IV.3.5.TDS (Solides Dissous Totaux)

La réduction du TDS ~38 000 mg/L à environ 310 mg/L démontre une élimination de plus de 99% de la charge saline, confirmant l'excellente performance des membranes LG SW 400R. L'eau passe ainsi d'une salinité marine à une eau douce potable conforme aux normes algériennes NA 6360 (150 – 500 mg/L).

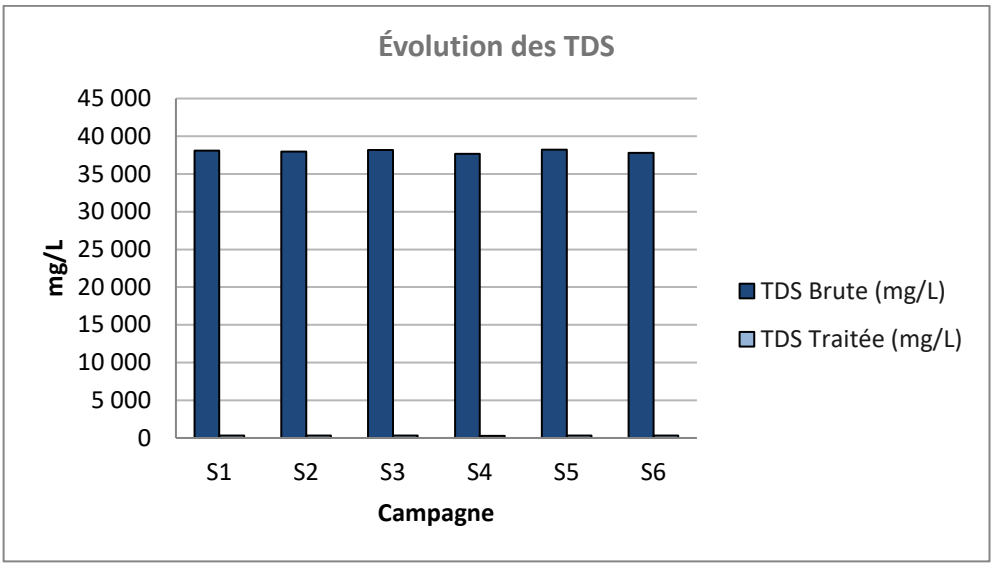

Figure.IV.37 : Évolution du TDS de l'eau brute et traitée

IV.3.6.chlore résiduel

Le chlore résiduel mesuré dans l'eau traitée varie entre 0,64 et 0,90 mg/L, légèrement au-dessus de la limite supérieure recommandée de 0,5 mg/L. Cela indique une sur dosification volontaire pour garantir une désinfection efficace dans le réseau de distribution et une protection bactériologique continue jusqu'au robinet du consommateur.

IV.3.7.indice de langelier

L'indice de Langelier est maintenu entre 0,01 et 0,07 sur toutes les semaines, dans la plage recommandée [0 ; 0,4]. Cela indique que l'eau traitée est ni agressive ni entartrant, ce qui garantit l'intégrité des réseaux de distribution et confirme l'efficacité de l'étape de reminéralisation par lit de calcite.

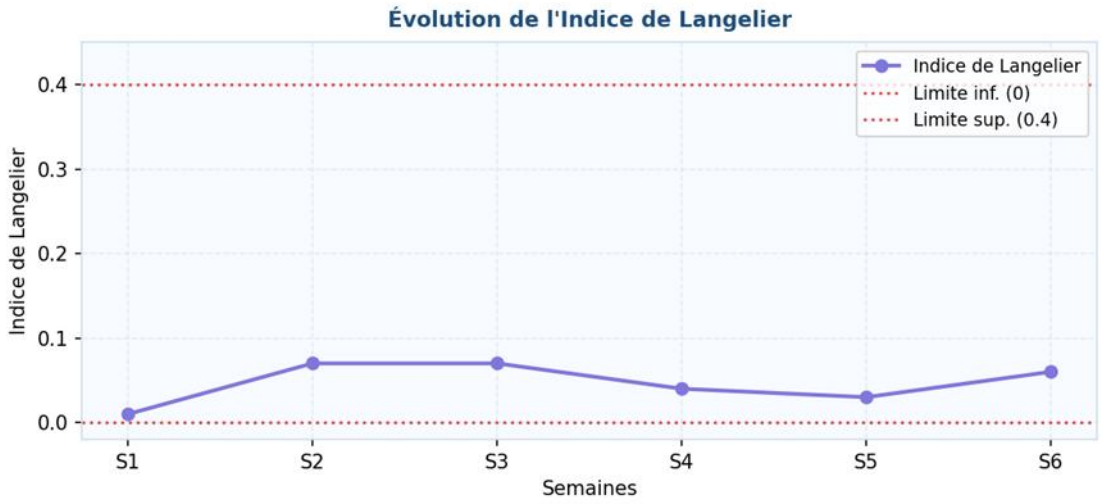

Figure.IV.38 Évolution de l'indice de Langelier dans l'eau traitée

IV.4.Comparaison avec les Normes Algériennes NA 6360

Le tableau ci-dessous présente une comparaison entre les valeurs mesurées sur l'eau traitée et les valeurs limites fixées par la norme algérienne NA 6360. Cette comparaison permet de vérifier la conformité de l'eau produite aux exigences réglementaires en vigueur

Tableau.IV.4 Comparaison des paramètres avec la norme NA 6360

Paramètre	Unité	Eau Traitée (mesurée)	Norme NA 6360	Conformité
Température	°C	17,3 – 18,5	[14 ; 30]	✓ Conforme
pH	—	8,40 – 8,50	[7,5 ; 8,5]	✓ Conforme
Conductivité	µS/cm	541 – 632	< 2 800	✓ Conforme
TDS	mg/L	297,6 – 334,4	[150 ; 500]	✓ Conforme
Turbidité	NTU	0,50 – 1,19	< 5	✓ Conforme
Dureté calcique	ppm $CaCO_3$	64 – 76	> 60	✓ Conforme
Dureté totale	ppm $CaCO_3$	69 – 80	> 60	✓ Conforme
Alcalinité	ppm $CaCO_3$	66 – 72	> 65	✓ Conforme
Indice de Langelier	—	0,01 – 0,07	[0 ; 0,4]	✓ Conforme

L'ensemble des paramètres physico-chimiques mesurés sur l'eau traitée produite par la station El Marsa respecte les valeurs limites fixées par la norme algérienne NA 6360. Ces résultats confirment l'efficacité du procédé de dessalement par osmose inverse et garantissent la qualité et la sécurité de l'eau distribuée aux populations de la wilaya d'Alger.

IV.5. Analyse Comparative : Simulation Q+ et Perméat Mesuré en Sortie des Membranes

Cette section présente une comparaison entre les résultats obtenus par simulation à l'aide du logiciel Q+ Projection (LG Chem) et les valeurs réelles mesurées au niveau du perméat en sortie des membranes, pour les cinq racks. L'analyse porte sur quatre semaines consécutives et couvre deux paramètres : le TDS et le pH.

Tableau.IV.5 : Comparaison Simulation Q+ vs Perméat Réel

Rack	Simulation Q+		Perméat Réel		Écart TDS	
	TDS (ppm)	pH	TDS (ppm)	pH	Δ TDS ppm	Δ %
Semaine 1 (21/04/2026)						
Rack 1	141.21	6.41	263.4	6.50	+122.2	+86.5%
Rack 2	141.21	6.41	230.3	6.10	+89.1	+63.1%
Rack 3	141.21	6.41	356.8	6.05	+215.6	+152.7%
Rack 4	141.21	6.41	210.5	5.99	+69.3	+49.1%
Rack 5	141.21	6.41	265.6	5.91	+124.4	+88.1%
Semaine 2 (28/04/2026)						
Rack 1	135.82	6.28	243.0	6.36	+107.2	+78.9%
Rack 2	135.82	6.28	206.0	6.58	+70.2	+51.7%
Rack 3	135.82	6.28	326.0	6.39	+190.2	+140.0%
Rack 4	135.82	6.28	207.0	5.98	+71.2	+52.4%
Rack 5	135.82	6.28	270.5	5.86	+134.7	+99.2%
Semaine 3 (04/05/2026)						
Rack 1	148.81	6.71	253.2	6.48	+104.4	+70.1%

Rack 2	148.81	6.71	218.5	6.25	**+69.7**	**+46.8%**
Rack 3	148.81	6.71	341.0	6.18	**+192.2**	**+129.2%**
Rack 4	148.81	6.71	215.8	6.05	**+67.0**	**+45.0%**
Rack 5	148.81	6.71	258.4	5.98	**+109.6**	**+73.6%**
Semaine 4 (12/05/2026)						
Rack 1	144.56	6.45	248.6	6.42	**+104.0**	**+72.0%**
Rack 2	144.56	6.45	212.0	6.55	**+67.4**	**+46.7%**
Rack 3	144.56	6.45	332.5	6.35	**+187.9**	**+130.0%**
Rack 4	144.56	6.45	209.3	6.02	**+64.7**	**+44.8%**
Rack 5	144.56	6.45	262.1	5.89	**+117.5**	**+81.3%**

IV.5.1.analyse des résultats TDS

Les résultats montrent un écart systématique entre les valeurs TDS simulées et les valeurs réelles mesurées au perméat sur l'ensemble des quatre semaines. La simulation Q+ prédit un TDS constant par semaine pour tous les racks (variant de 135,82 à 148,81 ppm), en raison d'une alimentation homogène appliquée à l'ensemble du système. En revanche, les mesures réelles révèlent une variabilité significative entre les racks.

Principaux constats :

- Les valeurs réelles varient de 206,0 ppm (Rack 2, S2) à 356,8 ppm (Rack 3, S1), soit des écarts allant de +49% à +153% par rapport à la simulation.
- Le Rack 3 présente systématiquement le TDS réel le plus élevé sur les quatre semaines, indiquant une dégradation plus avancée des membranes ou une distribution de pression inégale.
- Le Rack 2 et le Rack 4 affichent les meilleures performances réelles, avec les TDS les plus proches des valeurs simulées.
- L'écart moyen global entre simulation et réalité est d'environ +79%, attribuable au vieillissement des membranes, au colmatage progressif et aux variations opérationnelles non prises en compte dans le modèle.

IV.5.2.analyse des résultats pH

Contrairement au TDS, les valeurs de pH mesurées au perméat restent très proches des valeurs simulées sur les quatre semaines, confirmant la bonne fidélité du modèle Q+ pour ce paramètre.

- Les pH simulés varient de 6,28 (S2) à 6,71 (S3) selon les conditions d'alimentation.
- Les pH réels restent dans un intervalle de 5,86 à 6,58, avec un écart maximal de 0,50 unité pH.
- Ces faibles écarts confirment que le modèle de simulation représente fidèlement le comportement acido-basique du perméat en sortie de membrane.

IV.5.3.conclusion de la comparaison

La comparaison entre les valeurs simulées et les mesures réelles montre que le logiciel Q+ Projection prédit fidèlement le pH du perméat, avec un écart inférieur à 0,5 unité. En revanche, le TDS réel est systématiquement sous-estimé d'environ 79 % en moyenne, ce qui s'explique principalement par le vieillissement des membranes et le colmatage progressif non pris en compte par le modèle. Pour le Rack 3 est systématiquement le moins performant en termes de rétention des sels. Une diagnostiquer l'origine de cette baisse de performance. Pour ce faire, les actions suivantes doivent être entreprises :

Réalisation d'un "Probing Test" : Cet examen est essentiel pour localiser précisément toute défaillance physique, telle qu'une membrane endommagée ou une fuite au niveau des joints

Programmation d'un Nettoyage Chimique (CIP).

IV.6.Conclusion

Les résultats présentés dans ce chapitre permettent de tirer deux conclusions principales. D'une part, l'analyse physico-chimique sur six semaines confirme l'excellente performance du procédé de dessalement par osmose inverse de la station El Marsa. L'ensemble des paramètres mesurés, notamment le TDS, le pH, la conductivité, la turbidité et l'indice de Langelier, respectent les valeurs limites imposées par la norme algérienne NA 6360 et les recommandations de l'OMS. D'autre part, la comparaison entre les résultats de simulation Q+ Projection et les mesures réelles révèle une bonne précision du modèle pour le pH, avec un écart inférieur à 0,5 unité, mais une sous-estimation systématique du TDS réel d'environ 79 %, attribuable au vieillissement des membranes et au colmatage progressif. Ces résultats soulignent la nécessité d'une calibration régulière du modèle à partir des données opérationnelles réelles

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le présent travail avait pour objectif d'étudier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau produite par la station de dessalement d'El Marsa, wilaya d'Alger, et d'évaluer la fiabilité d'un modèle de simulation par rapport aux données opérationnelles réelles

Le premier chapitre a présenté la station de dessalement d'El Marsa, exploitée par l'Algerian Desalination Company (ADC), implantée à l'est d'Alger et dotée d'une capacité de production de 60 000 m³/jour. Cette infrastructure stratégique, mise en service en octobre 2022, mobilise une technologie d'osmose inverse avec 5 390 membranes de type LG SW 400 R réparties sur 770 tubes de pression, et intègre des échangeurs de pression PX Q300 pour optimiser sa consommation énergétique. La chaîne de traitement assure un taux de conversion de 45 %, permettant de transformer l'eau de mer méditerranéenne en eau potable distribuée à plusieurs communes de la wilaya d'Alger via l'ADE

Le deuxième chapitre a décrit en détail le processus de dessalement, depuis le captage de l'eau brute jusqu'à la distribution de l'eau traitée. Le prétraitement physico-chimique — comprenant la coagulation-floculation, la décantation lamellaire, la filtration sur média granulaire et la microfiltration sur cartouches — assure une protection optimale des membranes d'osmose inverse. Ces dernières, de type spiralé en polyamide composite (LG SW 400 R), permettent d'atteindre un taux de récupération de 45 % avec un rejet salin supérieur à 99 %. En aval, la reminéralisation par lit de calcite et la désinfection finale au chlore restituent à l'eau ses qualités organoleptiques et garantissent sa conformité aux normes algériennes NA 6360 et aux recommandations de l'OMS.

Le troisième chapitre a été consacré à l'analyse physico-chimique détaillée des eaux brute et traitée sur six semaines consécutives. Les résultats ont confirmé l'excellente performance du procédé : le TDS est réduit de ~38 000 mg/L à environ 310 mg/L, soit une élimination de plus de 99 % de la charge saline. La conductivité chute de ~55 mS/cm à moins de 640 µS/cm, le pH de l'eau traitée est maintenu entre 8,40 et 8,50, et la turbidité est réduite à des valeurs inférieures à 1,19 NTU. L'indice de Langelier, maintenu dans l'intervalle [0,01 ; 0,07], garantit la stabilité chimique de l'eau dans les réseaux de distribution. L'ensemble de ces paramètres respecte les valeurs limites fixées par la norme algérienne NA 6360 et les recommandations de l'OMS, confirmant la qualité et la sécurité de l'eau distribuée aux populations.

Le quatrième chapitre a présenté une comparaison entre les résultats de simulation obtenus par le logiciel Q+ Projection (LG Chem) et les mesures réelles au perméat des cinq racks sur quatre semaines consécutives. Cette analyse a mis en évidence deux tendances distinctes : d'une part,

une bonne fidélité du modèle pour le paramètre pH, avec un écart inférieur à 0,5 unité ; d'autre part, une sous-estimation systématique du TDS réel d'environ 79 % en moyenne, attribuable au vieillissement des membranes, au colmatage progressif et à l'hétérogénéité des débits entre les racks. Le Rack 3 s'est distingué comme le moins performant, nécessitant une inspection approfondie et un nettoyage chimique (CIP) ciblé.

En définitive, cette étude confirme que la station de dessalement d'El Marsa constitue une réponse technique efficace et durable au défi de la sécurité hydrique dans la région d'Alger. Elle démontre également que le logiciel Q+ Projection demeure un outil précieux pour la conception et le dimensionnement des systèmes d'osmose inverse, à condition d'être régulièrement calibré à partir des données opérationnelles réelles, afin de prendre en compte le vieillissement progressif des membranes et les conditions dynamiques d'exploitation.

Bibliographe

[1] M. Elimelech et W. A. Phillip, « The future of seawater desalination: Energy, technology, and the environment, » *Science*, vol. 333, pp. 712-717, 2011.

[2] C. Fritzmann, J. Löwenberg, T. Wintgens et T. Melin, « State-of-the-art of reverse osmosis desalination, » *Desalination*, vol. 216, no. 1-3, pp. 1-76, 2007.

[3] A. Meriem, *Document interne de la station de dessalement El Marsa support technique sur le processus de dessalement*, COSIDER Canalisation, 2026.

[4] ADC, *Document interne de la station de dessalement El Marsa*, Algerian Desalination Company, 2022

[5] V. Bonnelye et D. Cirelli, « UF/MF as RO pre-treatment: the real benefit, » *Desalination*, vol. 222, pp. 59-65, 2008.

[6] D. A. Madani, *Le dessalement de l'eau de mer*, document interne de la station de dessalement El Marsa, 2024.

[7] A. Matin, Z. Khan et Z. Zaidi, « Biofouling in reverse osmosis membranes for seawater desalination: Phenomena and prevention, » *Desalination*, vol. 281, pp. 1-16, 2019

[8] LG Chem, « Fiche technique "LG SW 400 R" Seawater Reverse Osmosis Membrane Element, » Disponible : https://www.atswatertechnology.com/. [Accès le 05/2026].

[9] Lee KP, Arnot TC, Mattia D. A review of reverse osmosis membrane materials for desalination development to date and future potential. J Membr Sci. 2011

[10] LG Chem, « Seawater Reverse Osmosis, » 2024. Disponible : https://www.lgwatersolutions.com/products/reverse-osmosis/swro/. [Accès le 05/2026].

[11] R. L. Stover, « Seawater reverse osmosis with isobaric energy recovery devices, » *Desalination*, vol. 203, pp. 168-175, 2007

[12] Energy Recovery Inc., « PX exchanger technology, » 2023. Disponible : http://energyrecovery.com/px-technology/. [Accès le 05/2026].

[13] B. Peñate et L. García-Rodríguez, « Current trends and future prospects in the design of seawater reverse osmosis desalination technology, » *Desalination*, vol. 284, pp. 1-8, 2011.

[14] Organisation Internationale de Normalisation, « Qualité de l'eau Détermination du pH, » ISO 10523, Genève, 2008.

[15] Organisation Internationale de Normalisation, « Qualité de l'eau Détermination de la turbidité Partie 1 : Méthodes quantitatives, » ISO 7027-1, Genève, 2016.

[16] Organisation Internationale de Normalisation, « Qualité de l'eau Détermination de la conductivité électrique, » ISO 7888, Genève, 1985

[17] Organisation Internationale de Normalisation, « Qualité de l'eau Détermination de la somme du calcium et du magnésium Méthode titrimétrique à l'EDTA, » ISO 6059, Genève, 1984

[18] H. Badis, *Fonctionnement de la station de dessalement de l'eau de mer de Cap Djinet*, rapport de licence, Institut de Technologie, Université Akli Mohand Oulhadj-Bouira, 2020/2021.

Annexes

Annexe 08 : Résultat 2026-04-30 / station par Q+ « NANOH2O »

NANOH2O

2026-04-30 14:48:15

v4.0.0.0

Project name: Station El-Marsa
Customer: Algerian desalination company
Username:
Water type: SEAWATER ALGREI
Flux loss per year: 7.00%
Salt passage increase: 5.00%
Membrane age: 3
Safety factor: 1

Overall System

Total permeate flow: 500 m3/hr
Raw water flow: 1,111.11 m3/hr
Total concentrate flow: 611.11 m3/hr
Overall recovery: 45 %
Water source: Seawater-Open Intake (SDI<5)
Raw water TDS: 39,019.56 mg/L
Feed osmotic pressure: 27.55 bar
Concentrate osmotic pressure: 51.42 bar
Feed pressure: 60.99 bar (1P)
Specific energy: 2.21 kwh/m3

System - Pass1

Permeate flow: 500 m3/hr
RO feed flow: 1,111.11 m3/hr
Concentrate flow: 611.11 m3/hr
Recovery: 45 %
Number of elements: 1078
ERD type: Isobaric
Recirculation:
Average flux: 12.48 lmh
Water source: Seawater-Open Intake (SDI<5)
Feed TDS: 40,099.15 mg/L
Feed osmotic pressure: 28.32 bar
Concentrate osmotic pressure: 51.42 bar
Pump efficiency: 80 %
Temperature: 17 °C
Average NDP: 18.01 bar
Specific energy: 2.21 kwh/m3
Feed pressure: 60.99 bar
Permeate TDS: 135.82 mg/L
Fouling factor: 0.8

	# of vessels	# of elements	RO feed flow	Permeate flow	Conc. flow	RO feed pressure	Conc. pressure	Vessel DP	Boost pressure	Back pressure	Inter-stage pressure loss	Average flux	Perm. TDS
			m3/hr	m3/hr	m3/hr	bar	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	mg/L
Stage 1	154	7	1,111.11	500.13	610.99	60.99	60.3	0.69	0	0	0	12.48	135.82

Water Analysis - Pass1

Species	Raw water	Adjusted feed	Conc. Stage1	Permeate Stage1
Ammonium	0.20	0.21	0.36	0.01
Sodium	11,848.32	12,176.12	22,103.30	48.43
Potassium	438.94	451.08	818.60	2.10
Magnesium	1,576.20	1,619.81	2,944.33	1.67
Calcium	438.94	451.08	819.95	0.45
Strontium	8.81	9.05	16.45	0.01
Barium	0.10	0.10	0.19	0.00
Fluoride	1.53	1.58	2.86	0.01
Chloride	22,273.64	22,890.26	41,560.94	80.95
Sulfate	2,237.58	2,299.53	4,181.13	0.84
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	13.19	13.19	23.98	0.01
Bicarbonate	180.00	184.98	335.43	1.18
Boron	1.00	1.03	1.75	0.15
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	1.10	1.13	2.05	0.00
CO2	1.30	1.30	1.30	1.30
TDS	39,019.56	40,099.15	72,811.33	135.82
pH	8.00	8.00	8.15	6.28

Within Vessels - Pass1

	Position	RO feed flow	Permeate flow	Flux	Element recovery	Element DP	Net driving pressure	Polarization	Feed TDS	Perm. TDS
		m3/hr	m3/hr	lmh	%	bar	bar		mg/L	mg/L

NANOH2O

2026-04-30 14:48:18

v4.0.0.0

Project name:	Station El-Marsa	**Water type:**	SEAWATER ALGREI	**Membrane age:**	3
Customer:	Algerian desalination company	**Flux loss per year:**	7.00%	**Safety factor:**	1
Username:		**Salt passage increase:**	5.00%		

Overall System

Total permeate flow:	500 m3/hr	**Water source:**	Seawater-Open Intake (SDI<5)	**Feed pressure:**	60.82 bar (1P)
Raw water flow:	1,111.11 m3/hr	**Raw water TDS:**	39,022.82 mg/L		
Total concentrate flow:	611.11 m3/hr	**Feed osmotic pressure:**	27.6 bar		
Overall recovery:	45 %	**Concentrate osmotic pressure:**	51.51 bar	**Specific energy:**	2.2 kwh/m3

System - Pass1

Permeate flow:	500 m3/hr	**Average flux:**	12.48 lmh	**Temperature:**	17.5 °C
RO feed flow:	1,111.11 m3/hr	**Water source:**	Seawater-Open Intake (SDI<5)	**Average NDP:**	17.78 bar
Concentrate flow:	611.11 m3/hr	**Feed TDS:**	40,102.41 mg/L	**Specific energy:**	2.2 kwh/m3
Recovery:	45 %	**Feed osmotic pressure:**	28.37 bar	**Feed pressure:**	60.82 bar
Number of elements:	1078	**Concentrate osmotic pressure:**	51.51 bar	**Permeate TDS:**	141.21 mg/L
ERD type:	Isobaric	**Pump efficiency:**	80 %	**Fouling factor:**	0.8
Recirculation:					

	# of vessels	# of elements	RO feed flow	Permeate flow	Conc. flow	RO feed pressure	Conc. pressure	Vessel DP	Boost pressure	Back pressure	Inter-stage pressure loss	Average flux	Perm. TDS
			m3/hr	m3/hr	m3/hr	bar	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	mg/L
Stage 1	154	7	1,111.11	500.15	610.96	60.82	60.13	0.69	0	0	0	12.49	141.21

Water Analysis - Pass1

Species	Raw water	Adjusted feed	Conc. Stage1	Permeate Stage1
Ammonium	0.20	0.21	0.36	0.01
Sodium	11,849.64	12,177.44	22,105.10	50.35
Potassium	438.99	451.13	818.65	2.19
Magnesium	1,576.37	1,619.98	2,944.73	1.74
Calcium	438.99	451.13	820.06	0.47
Strontium	8.81	9.05	16.46	0.01
Barium	0.10	0.10	0.19	0.00
Fluoride	1.53	1.58	2.86	0.01
Chloride	22,271.14	22,887.76	41,555.56	84.18
Sulfate	2,237.33	2,299.28	4,180.84	0.87
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	17.60	17.60	32.00	0.01
Bicarbonate	180.00	184.98	335.42	1.22
Boron	1.00	1.03	1.75	0.14
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	1.10	1.13	2.05	0.00
CO2	0.98	0.98	0.98	0.98
TDS	39,022.82	40,102.41	72,816.02	141.21
pH	8.12	8.12	8.27	6.41

NANOH2O

2026-04-30 14:48:19

v4.0.0.0

Project name:	Station El-Marsa	**Water type:**	SEAWATER ALGREI	**Membrane age:**	3
Customer:	Algerian desalination company	**Flux loss per year:**	7.00%	**Safety factor:**	1
Username:		**Salt passage increase:**	5.00%		

Overall System

Total permeate flow:	500 m3/hr	**Water source:**	Seawater-Open Intake (SDI<5)	**Feed pressure:**	60.72 bar (1P)
Raw water flow:	1,111.11 m3/hr	**Raw water TDS:**	39,023.85 mg/L		
Total concentrate flow:	611.11 m3/hr	**Feed osmotic pressure:**	27.63 bar		
Overall recovery:	45 %	**Concentrate osmotic pressure:**	51.56 bar	**Specific energy:**	2.2 kwh/m3

System - Pass1

Permeate flow:	500 m3/hr	**Average flux:**	12.48 lmh	**Temperature:**	17.8 °C
RO feed flow:	1,111.11 m3/hr	**Water source:**	Seawater-Open Intake (SDI<5)	**Average NDP:**	17.65 bar
Concentrate flow:	611.11 m3/hr	**Feed TDS:**	40,103.44 mg/L	**Specific energy:**	2.2 kwh/m3
Recovery:	45 %	**Feed osmotic pressure:**	28.4 bar	**Feed pressure:**	60.72 bar
Number of elements:	1078	**Concentrate osmotic pressure:**	51.56 bar	**Permeate TDS:**	144.56 mg/L
ERD type:	Isobaric	**Pump efficiency:**	80 %	**Fouling factor:**	0.8
Recirculation:					

	# of vessels	# of elements	RO feed flow	Permeate flow	Conc. flow	RO feed pressure	Conc. pressure	Vessel DP	Boost pressure	Back pressure	Inter-stage pressure loss	Average flux	Perm. TDS
			m3/hr	m3/hr	m3/hr	bar	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	mg/L
Stage 1	154	7	1,111.11	500.16	610.95	60.72	60.03	0.69	0	0	0	12.49	144.56

Water Analysis - Pass1

Species	Raw water	Adjusted feed	Conc. Stage1	Permeate Stage1
Ammonium	0.20	0.21	0.36	0.01
Sodium	11,850.06	12,177.86	22,105.28	51.55
Potassium	439.01	451.15	818.65	2.24
Magnesium	1,576.43	1,620.04	2,944.85	1.78
Calcium	439.01	451.15	820.10	0.48
Strontium	8.81	9.05	16.46	0.01
Barium	0.10	0.10	0.19	0.00
Fluoride	1.53	1.58	2.86	0.01
Chloride	22,270.35	22,886.97	41,553.25	86.18
Sulfate	2,237.25	2,299.20	4,180.75	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	19.00	19.00	34.54	0.01
Bicarbonate	180.00	184.98	335.40	1.25
Boron	1.00	1.03	1.75	0.14
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	1.10	1.13	2.05	0.00
CO2	0.91	0.91	0.91	0.91
TDS	39,023.85	40,103.44	72,816.50	144.56
pH	8.15	8.15	8.30	6.45

NANOH2O

2026-04-30 14:48:20

v4.0.0.0

Project name:	Station El-Marsa	**Water type:**	SEAWATER ALGREI	**Membrane age:**	3
Customer:	Algerian desalination company	**Flux loss per year:**	7.00%	**Safety factor:**	1
Username:		**Salt passage increase:**	5.00%		

Overall System

Total permeate flow:	500 m3/hr	**Water source:**	Seawater-Open Intake (SDI<5)	**Feed pressure:**	60.72 bar (1P)
Raw water flow:	1,111.11 m3/hr	**Raw water TDS:**	39,029.65 mg/L		
Total concentrate flow:	611.11 m3/hr	**Feed osmotic pressure:**	27.63 bar		
Overall recovery:	45 %	**Concentrate osmotic pressure:**	51.56 bar	**Specific energy:**	2.2 kwh/m3

System - Pass1

Permeate flow:	500 m3/hr	**Average flux:**	12.48 lmh	**Temperature:**	17.8 °C
RO feed flow:	1,111.11 m3/hr	**Water source:**	Seawater-Open Intake (SDI<5)	**Average NDP:**	17.65 bar
Concentrate flow:	611.11 m3/hr	**Feed TDS:**	40,109.24 mg/L	**Specific energy:**	2.2 kwh/m3
Recovery:	45 %	**Feed osmotic pressure:**	28.4 bar	**Feed pressure:**	60.72 bar
Number of elements:	1078	**Concentrate osmotic pressure:**	51.56 bar	**Permeate TDS:**	144.55 mg/L
ERD type:	Isobaric	**Pump efficiency:**	80 %	**Fouling factor:**	0.8
Recirculation:					

	# of vessels	# of elements	RO feed flow	Permeate flow	Conc. flow	RO feed pressure	Conc. pressure	Vessel DP	Boost pressure	Back pressure	Inter-stage pressure loss	Average flux	Perm. TDS
			m3/hr	m3/hr	m3/hr	bar	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	mg/L
Stage 1	154	7	1,111.11	500.16	610.95	60.72	60.04	0.69	0	0	0	12.49	144.55

Water Analysis - Pass1

Species	Raw water	Adjusted feed	Conc. Stage1	Permeate Stage1
Ammonium	0.20	0.21	0.36	0.01
Sodium	11,852.40	12,180.20	22,109.53	51.56
Potassium	439.09	451.24	818.81	2.24
Magnesium	1,576.74	1,620.35	2,945.42	1.78
Calcium	439.09	451.24	820.26	0.47
Strontium	8.81	9.06	16.46	0.01
Barium	0.10	0.10	0.19	0.00
Fluoride	1.53	1.58	2.86	0.01
Chloride	22,265.93	22,882.55	41,545.20	86.18
Sulfate	2,236.81	2,298.75	4,179.94	0.89
Nitrate	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbonate	26.84	26.84	48.80	0.01
Bicarbonate	180.00	184.98	335.40	1.25
Boron	1.00	1.03	1.76	0.13
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	1.10	1.13	2.05	0.00
CO2	0.64	0.64	0.64	0.64
TDS	39,029.65	40,109.24	72,827.05	144.55
pH	8.30	8.30	8.45	6.60

Paramètre	Symbole / Unité	Norme OMS (valeur guide)
Paramètres physiques		
Température	°C	**15 – 25 °C (valeur indicative)**
pH	–	**6,5 – 8,5**
Conductivité	µS/cm	**< 2 000 µS/cm (recommandé)**
TDS (solides dissous totaux)	mg/L	**< 1 000 mg/L (confortable)**
Turbidité	NTU	**< 5 NTU / < 1 NTU (idéal)**
Paramètres ioniques — Cations		
Calcium	Ca^{2+} — mg/L	**< 200 mg/L**
Magnésium	Mg^{2+} — mg/L	**< 150 mg/L**
Sodium	Na^{+} — mg/L	**< 200 mg/L**
Potassium	K^{+} — mg/L	**< 12 mg/L (valeur indicative)**
Paramètres ioniques — Anions		
Chlorures	Cl^{-} — mg/L	**< 250 – 500 mg/L**
Sulfates	SO_4^{2-} — mg/L	**< 250 – 500 mg/L**
Bicarbonates	HCO_3^{-} — mg/L	**Pas de norme fixe**
Micropolluants inorganiques		
Fer	Fe^{2+}/Fe^{3+} — mg/L	**< 0,3 mg/L**
Ammonium	NH_4^{+} — mg/L	**< 0,5 mg/L**
Nitrogène réactif		
Nitrites	NO_2^{-} — mg/L	**< 0,1 mg/L**
Nitrates	NO_3^{-} — mg/L	**< 50 mg/L**

Annexe 02 : Normes physico-chimiques de l'eau potable selon l'OMS 2022

Tableau 2 : Qualité de l'Eau Traitée après Post-Traitement									
Semaine	Temp. (°C)	Conduct. (µS/cm)	pH	Turbidité (NTU)	Chlore rés. (mg/L)	TDS (mg/L)	Dur. calc. (ppm)	Dur. tot. (ppm)	Alcalinité (ppm)
Valeurs Limites	[14–30]	—	[7.5–8.5]	—	—	[150–500]	—	—	> 65
S1	17,30	632,20	8,42	0,50	0,64	334,40	68,00	72,00	70,00
S2	18,50	604,50	8,40	0,50	0,80	319,70	76,00	80,00	72,00
S3	18,20	600,40	8,50	0,53	0,66	317,50	66,00	72,00	66,00
S4	17,90	541,00	8,46	1,19	0,90	297,60	65,00	70,00	70,00
S5	17,90	547,00	8,44	1,04	0,70	300,90	64,00	69,00	72,00
S6	17,70	568,10	8,45	0,50	0,69	300,60	68,00	74,00	72,00

Annexe 03 : L'analyse de la station eau traitée et brute

Tableau 1 : Qualité de l'Eau Brute (Eau de Mer)						
Semaine	Temp. (°C)	Conduct. (mS/cm)	pH	Turbidité (NTU)	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)
Valeurs Limites	[14–30]	—	—	—	< 50	[35000–40000]
S1	17,50	55,20	8,12	1,10	23,2	38 088
S2	17,80	55,00	8,15	1,12	24,5	37 950
S3	18,40	55,30	8,13	1,09	23,1	38 157
S4	17,60	54,60	8,22	3,19	4,7	37 674
S5	17,60	55,40	8,12	2,10	3,0	38 226
S6	17,80	54,80	8,20	1,11	24,0	37 812

Annexe 04 : Perméat Réel en Sortie des Membranes

Semaine	Rack	TDS Réel (ppm)	pH Réel
Semaine 1	Rack 1	263,40	6,50
	Rack 2	230,30	6,10
	Rack 3	356,80	6,05
	Rack 4	210,50	5,99
	Rack 5	265,60	5,91
Semaine 2	Rack 1	243,00	6,36
	Rack 2	206,00	6,58
	Rack 3	326,00	6,39
	Rack 4	207,00	5,98
	Rack 5	270,50	5,86
Semaine 3	Rack 1	253,20	6,48
	Rack 2	218,50	6,25
	Rack 3	341,00	6,18
	Rack 4	215,80	6,05
	Rack 5	258,40	5,98
Semaine 4	Rack 1	248,60	6,42
	Rack 2	212,00	6,55
	Rack 3	332,50	6,35
	Rack 4	209,30	6,02
	Rack 5	262,10	5,89