

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : GENIE DES PROCÉDES

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE DES PROCÉDES

Spécialité : génie des procédés de l'environnement

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Analyse et diagnostique de la station RO de traitement de
l'eau d'alimentation de chaudière à l'aide du simulateur
WAVE**

Présenté par : *BELAID RAYANE*

SAIFI MADJEDA

Encadrant : *KHERRAT ROCHDI*

PROFESSEUR

BADJI

MOKHTAR –ANNABA-

Jury de Soutenance :

FERKOUS	DOCTEUR	BADJI MOKHTAR – ANNABA-	Président
KHERRAT	PROFESSEUR	BADJI-MOKHTAR – ANNABA-	Encadrant
SAMAR	PROFESSEUR	BADJI-MOKHTAR – ANNABA-	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude à Dieu, notre créateur, pour nous avoir donné la force et la détermination nécessaires pour accomplir ce travail.

*Nous tenons à remercier notre encadreur **Pr. Kherrat** qui n'a ménagé aucun effort afin de nous permettre de mener à bien notre modeste travail et notre respect.*

Ce travail a été réalisé au niveau de La division fluide (FLU) du complexe Sidérurgique d'El-Hadjar-Annaba, dans le cadre de l'obtention du diplôme de fin d'études en Master II, option Génie des procédés de l'environnement.

*Une pensée particulière est adressée à **Mr. Abainia Mouhamed** et à tous les membres de l'équipe de la zone EST de la division fluide pour leurs disponibilité et gentillesse tout au long du stage.*

*Nous remercions également le responsable de laboratoire des analyses d'eaux **Mr. Ziyari Abdelhak** et toute l'équipe pour leurs aides et explication.*

Merci également aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail, d'assister à la soutenance et d'enrichir ce dernier via leurs commentaires.

Nous ne pourrions pas mettre fin à ces remerciements sans associer nos familles et nos amis pour leurs encouragements.

Merci à tous.

Dédicace :

*À ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études qu'elle
Trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.*

*À mon père, dont le soutien sans faille a été une bénédiction inestimable dans ma vie.
Ton engagement envers mon éducation et ton encouragement constant m'ont donné la
force nécessaire pour surmonter les obstacles et poursuivre mes rêves. Ton exemple de
persévérance et de travail acharné continue de m'inspirer chaque jour. Je t'offre ce travail
avec gratitude et admiration.*

Merci mon cher père et que Dieu vous accueille dans son vaste paradis.

*A mon frère qui a Partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la
réalisation de ce travail, ils m'ont encouragé tout au long de mon parcours.*

*À ma meilleur amis « **Ikram** » qui m'ont toujours encouragé et
à qui je souhaite plus de succès.*

Belaid Rayane

Dédicace :

À ma mère, celle qui a été mon pilier depuis le tout début. Tes sacrifices, ta détermination et ta bienveillance ont été une source d'inspiration constante pour moi. À travers chaque défi et chaque succès, tu as été là, me guidant avec ton amour inconditionnel et ta sagesse infinie. Ce mémoire est dédié à toi, pour tout ce que tu as fait et tout ce que tu es.

A mon très cher père qui je dois le plus grand respect, qui a toujours fait preuve de Générosité et de sacrifice, a qui mes études faisaient les grandes joies de sa vie et a je dis merci beaucoup.

Et à mon petit frère, qui a toujours été là à mes côtés. Tu es bien plus qu'un simple frère, tu es un ami précieux et un confident fidèle. Je t'aime énormément et je suis infiniment reconnaissante pour ta présence constante dans ma vie. Ce mémoire est dédié à notre complicité et à tous les souvenirs que nous avons partagés. Avec toute ma gratitude,

*Et à mon beau chat d'amour **NEIGE***

Saifi madjeda

Résumé :

L'objectif de cette étude est d'identifier les différentes étapes du processus de traitement de l'eau brute jusqu'à sa transformation en eau déminéralisée grâce à la technologie de l'osmose inverse dans la zone EST de Sider El Hadjar, et de vérifier son efficacité.

Ce travail comprend à la fois une partie théorique et une partie pratique.

Nous avons d'abord fourni une description détaillée du département des fluides, en particulier de la zone EST du complexe sidérurgique, en abordant ses principales techniques de traitement de l'eau. Nous avons également inclus une bibliographie sur les aspects clés de la technologie de l'osmose inverse, ainsi que sur les différents types de membranes et leurs caractéristiques utilisés dans cette zone. De plus, nous avons mis en évidence les principaux problèmes rencontrés et proposé des solutions adaptées.

Dans le cadre de l'application, nous avons mené une étude pratique en utilisant le logiciel WAVE pour simuler le processus de traitement de l'eau. Enfin, nous avons réalisé une comparaison approfondie des résultats obtenus avec ceux du Laboratoire central des eaux, en identifiant les principales causes affectant la qualité de l'eau et en proposant des solutions appropriées.

Mot clé : séparation membranaire, osmose inverse, logiciel wave.....

Absecrat

The aim of this study is to identify the various stages in the process of treating raw water until it is transformed into demineralised water using reverse osmosis technology in the EAST zone of Sider El Hadjar, and to verify its effectiveness.

This work comprises both a theoretical and a practical part.

We first provided a detailed description of the fluids department, in particular the EST zone of the steel complex, covering its main water treatment techniques. We have also included a bibliography on the key aspects of reverse osmosis technology, as well as on the different types of membranes and their characteristics used in this area. In addition, we have highlighted the main problems encountered and proposed appropriate solutions.

As part of the application, we carried out a practical study using WAVE software to simulate the water treatment process. Finally, we carried out an in-depth comparison of the results obtained with those of the Central Water Laboratory, identifying the main causes affecting water quality and proposing appropriate solutions.

Key words: membrane separation, reverse osmosis, wave software.....

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد المراحل المختلفة في عملية معالجة المياه الخام حتى يتم تحويلها إلى مياه منزوعة المعادن باستخدام تقنية التناضح العكسي في منطقة شرق سد الحجار والتحقق من فعاليتها . يتألف هذا العمل من جزء نظري وآخر عملي.

قدمنا أولاً وصفاً تفصيلياً لقسم السوائل، ولا سيما منطقة شرق مجمع الصلب، وغطينا تقنيات معالجة المياه الرئيسية. كما قمنا أيضاً بتضمين بيليوغرافيا عن الجوانب الرئيسية لتكنولوجيا التناضح العكسي، وكذلك عن الأنواع المختلفة للأغشية وخصائصها المستخدمة في هذا المجال. بالإضافة إلى ذلك، قمنا بتسليط الضوء على المشاكل الرئيسية التي واجهناها واقتراحنا الحلول المناسبة. وكجزء من التطبيق، أجرينا دراسة عملية باستخدام برنامج WAVE لمحاكاة عملية معالجة المياه. وأخيراً، أجرينا مقارنة متعمقة للنتائج التي تم الحصول عليها مع نتائج المختبر المركزي للمياه، وحددنا الأسباب الرئيسية التي تؤثر على جودة المياه واقتراحنا الحلول المناسبة. الكلمات الرئيسية: الفصل الغشائي، التناضح العكسي، برنامج الموجات

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I : description de la division fluide	1
Introduction :	1
I.1 Présentation de département fluide :	1
I.1.1 Organisation de la division fluide :	2
I.2 Description technique de la zone EST :	2
I.3. Alimentation de l'eau brute dans la zone EST :	5
I.4. Production de l'eau prétraiter (industrielle) dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar :	6
I.4.1. : la coagulation :	6
I.4.2. La floculation :	7
I.4.3 Décarbonations à la chaux :	9
I.4.4. Décantation :	10
I.4.5. Filtration à sable :	11
I.5. Production d'eau déminéralisée dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar :	12
I.5.1 Ultrafiltration :	12
I.5.2. L'osmose inverse :	14
I.6. Conclusion :	17
Chapitre II : Séparation membranaire par le procédés d'osmose inverse	19
Introduction :	19
II.1 Définition de la membrane :	19
II.2.1 Selon la nature :	19
II.3. Présentation des membranes d'osmose inverse :	24
II.3.1 Définition des modules d'osmose inverse :	24
II.3.2 Définition et description des membranes d'osmose inverse :	24
II.4 Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse	25

II.4.1 Mécanisme de transfert :	25
II.4.2 Le taux de conversion :	25
II.4.3 Le taux de rétention (sélectivité) :	25
II.4.4 Densité de flux de permeat :	26
II.4.5 La pression transmembranaire :	26
II.4.6 Pression osmotique $\Delta\Pi$:	26
II.5 Les caractéristiques des membranes d'osmose inverse utilisée dans la zone EST :	27
II.5.1 membrane d'osmose inverse :	27
II.6 Différents types de systèmes d'osmose inverse :	28
II.6.1 Système mono-étage :	28
II.6.2 Système multi-étages en série :	29
II.6.2.1 Le montage multi-étage en série rejet :	29
II.6.2.2 Le montage multi-étage en série production :	29
II.7 Les problèmes techniques rencontrés dans l'osmose inverse :	30
II.7.1. Le Colmatage (Fouling) :	30
II.7.2 Entartrage (scaling) :	31
II.7.3 colmatage par matière organique (bio-fouling) :	31
II.7.4 Prévention et lutte contre le biofouling :	32
II.8. Nettoyage des membranes :	32
Conclusion :	33
Chapitre III :partie Expérimental	36
INTRODUCTION :	36
III.1 Présentation de logiciel WAVE :	36
III.2 Les Avantages du logiciel WAVE :	36
III.3 Les étapes de simulation par logiciel WAVE software :	37
conclusion	50
Conclusion général	55
<i>Références bibliographique</i>	57
ANNEXE	58

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
Figure I.1	Racks conduites (vapeur – gaz – eau – air).	1
Figure I.2	Organigramme de la division fluide.	2
Figure I.3	les chaudières de la station de chaufferie.	3
Figure I.4	Compresseur copco atlas à trois étages.	3
Figure I.5	Station de l'eau potable.	4
Figure I.6	Conduite d'arrivée d'eau.	5
Figure I.7	Salle EBS.	5
Figure I.8	Brise charge.	6
Figure I.9	Le bac de coagulant (Fe Cl 3).	7
Figure I.10	Le bac a flocculent.	8
Figure I.11	Processus de coagulation, floculation et de sédimentation.	8
Figure I.12	Bac de la chaux	10
Figure I.13	Le décanteur.	11
Figure I.14	La filtration a sable	11
Figure I.15	L'installation d'ultrafiltration.	13
Figure I.16	Principe de fonctionnement d'osmose inverse.	14
Figure I.17	Installation d'unité d'osmose inverse.	15
Figure I.18	l'installation de l'osmose inverse dans la zone EST.	15
Figure II.1	Principe de la filtration membrane.	19
Figure II.2	Pores de membranes d ultrafiltration.	20
Figure II.3	Principe de fonctionnement d'une membrane dense.	21
Figure II.4	Membrane poreuse.	22
Figure II.5	Membrane asymétrique.	24
Figure II.6	Membrane d'osmose inverse model CPA5-LD.	27

Figure II.7	Système d'une unité de dessalement par procédé d'osmose inverse mono étage.	28
Figure II.8	Système d'unité de dessalement par procédé d'osmose inverse en série.	29
Figure II.9	Membranes colmatée dans la zone EST.	31
Figure III.1	Démarrage du logiciel.	37
Figure III.2	Déposez l'icône RO et spécification de flux d'alimentation et le type d'eau.	38
Figure III.3	Saisie de la composition spécifique de l'aliment RO.	39
Figure III.4	les charges de la balance n'est pas équilibrée.	40
Figure III.5	Ajustement la charge de balance.	41
Figure III.6	Membrane CPA5-LD.	41
Figure III.7	La membrane Eco Pro – 400.	42
Figure III.8	Fenêtre de conception d'RO.	44
Figure III.9	Calculs du résultat obtenu	45
Figure III.10	L'étape pour obtenir un rapport détaillé	46
Figure III.11	exportation de rapport en PDF	47
Figure III.12	Diagramme de flux du système RO.	47
Figure III.13	Informations sur le flux RO.	48
Figure III.14	Tableau de débit RO.	48
Figure III.15	Concentrations de soluté RO- Passe1.	49

Liste des tableaux :

Tableau N°	Titre	Page
01	Caractéristique de membrane d'osmose inverse.	29
02	Comparaison entre la membranes CPA5-LD et ECO PRO 400.	44
03	Comparaison entre les résultats de la simulation et les résultats de laboratoire et la qualité de l'eau demandée.	51

Liste des abréviations

ADE	L'algérienne des eaux
TH	Titre hydrotimétrique.
TA	Titre alcalimétrique.
TAC	Titre alcalimétrique complet.
UF	Ultrafiltration.
RO	Osмосe inverse.
CIP	Cleaning in place.
Wave	Water Application Value Engine

INTRODUCTION GENERALE

Introduction général

L'eau est une ressource naturelle indispensable pour la survie de l'humanité et de toute espèce animale ou végétale et pour l'environnement, aucune substance ne peut le remplacer. En plus, l'eau joue un rôle crucial dans de nombreux domaines et secteurs industriels

Dans notre cas, nous avons suivi la qualité de l'eau utilisée au sein du complexe sidérurgique d'El-Hadjar, qui alimente les circuits de refroidissement et les chaudières. Cette eau s'est révélée de mauvaise qualité, entraînant des problèmes de corrosion et d'entartrage susceptibles de causer des dommages irréversibles aux différents équipements. Pour remédier à ces problèmes, le complexe s'est équipé de stations de traitement de l'eau de haute technologie, basées principalement sur des techniques membranaires d'ultrafiltration et d'osmose inverse (OI).

Le processus d'Osмосe Inverse (OI) est une opération de séparation membranaires en utilisant un gradient de pression comme force de transfert. Effectivement, son but est de retirer les sels et les minéraux dissous de l'eau, pour produire de l'eau déminéralisée.

Ce mémoire pour objectif d'étudier les différentes étapes de traitement d'une eau brute jusqu'à ce qu'elle devienne une eau déminéralisée dans la zone Est du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

Nous visons également à identifier les causes de la mauvaise performance de la station d'osmose inverse, qui impacte la production et la qualité du perméat. Pour mener à bien cette étude, nous utiliserons un nouveau programme de conception et de simulation, le Water Application Value Engine (WAVE) de Dupont. Ce logiciel permet de simuler divers processus et facilite la conception, ce qui contribue à réduire le temps nécessaire à la gestion du système de traitement de l'eau à long terme. En entrant toutes les données, y compris les compositions de l'eau d'alimentation, les analyses du laboratoire central, et les conditions de fonctionnement, nous obtiendrons les résultats de la simulation. Ces résultats seront ensuite comparés aux analyses du laboratoire central de l'eau du complexe et à la qualité de l'eau requise par le complexe.

Ainsi notre étude sera présentée en deux parties :

Une étude bibliographique composée de deux chapitres, dans le premier chapitre on présentera une description sur la division fluide précisément la zone EST du complexe sidérurgique d'El Hadjar où nous avons effectué notre stage. Ensuite on présentera les différents procédés de traitement des eaux dans la zone pour la production de l'eau déminéralisé.

Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude bibliographique qui regroupe un certain nombre de généralités concernant les membranes et leurs différents types, ainsi que leurs caractéristiques utilisé dans le complexe sider lhadjer, Par la suite une partie importante porte sur les problèmes techniques rencontrés dans l'osmose inverse et enfin le nettoyage des membranes.

Le troisième chapitre, nous présenterons le logiciel de conception et de simulation de fonctionnement des systèmes de traitement d'eau, et les différentes étapes de l'utilisation de ce programme. Nous aurons ainsi la possibilité de comparer les résultats obtenus par ce logiciel avec ceux du laboratoire central d'analyse des eaux.

Enfin, une conclusion générale récapitulera les résultats majeurs obtenus

CHAPITRE I :

Description de division fluide

CHAPITRE I : description de la division fluide

Introduction :

L'eau occupe une place primordiale dans de nombreux secteurs, et elle est particulièrement importante dans l'industrie du complexe sidérurgique El-Hadjar. Ce complexe joue un rôle essentiel dans l'économie et la fabrication d'acier en Algérie. Cependant, les méthodes industrielles employées dans la production d'acier nécessitent une grande quantité d'eau. On utilise principalement le refroidissement des équipements et des machines avec une capacité de 1600 m³/h afin de maintenir les températures à des niveaux optimaux et d'éviter les risques de surchauffe. Il est donc primordial d'adopter des techniques de traitement de l'eau performantes pour préserver cette ressource précieuse.

L'élément clé de cette dynamique, la zone EST pour la division des liquides, joue un rôle essentiel en gérant une quantité considérable d'eau, assurant ainsi le bon fonctionnement du complexe et assurant ainsi la durabilité de la production, Dans ce chapitre, nous allons faire une description du département fluide et précisément de la zone Est qui était notre espace de visite, ainsi que ses méthodes de traitement de l'eau.

I.1 Présentation de département fluide :

La division fluide s'occupe principalement de la distribution des différents fluides à travers le Complexe et assure la distribution à partir d'un réseau de conduite (le rack), tout diamètre confondu, qui s'étend à plus de 25 Km.



Figure I.1 : Racks conduites (vapeur – gaz – eau – air).

Ce service assure la production de plusieurs fluides à savoir :

- ✓ Vapeur Surchauffée
- ✓ Air Comprimée
- ✓ Eau Brute
- ✓ Eau Décarbonatée ou Industrielle
- ✓ Eau Déminéralisée
- ✓ Eau Potable

Cette division comprend deux secteurs :

- ✓ La zone ouest
- ✓ La zone EST

I.1.1 Organisation de la division fluide :

Cet organigramme (**Figure I.2**) montre la planification et l'organisation des différents équipements de la division fluide :

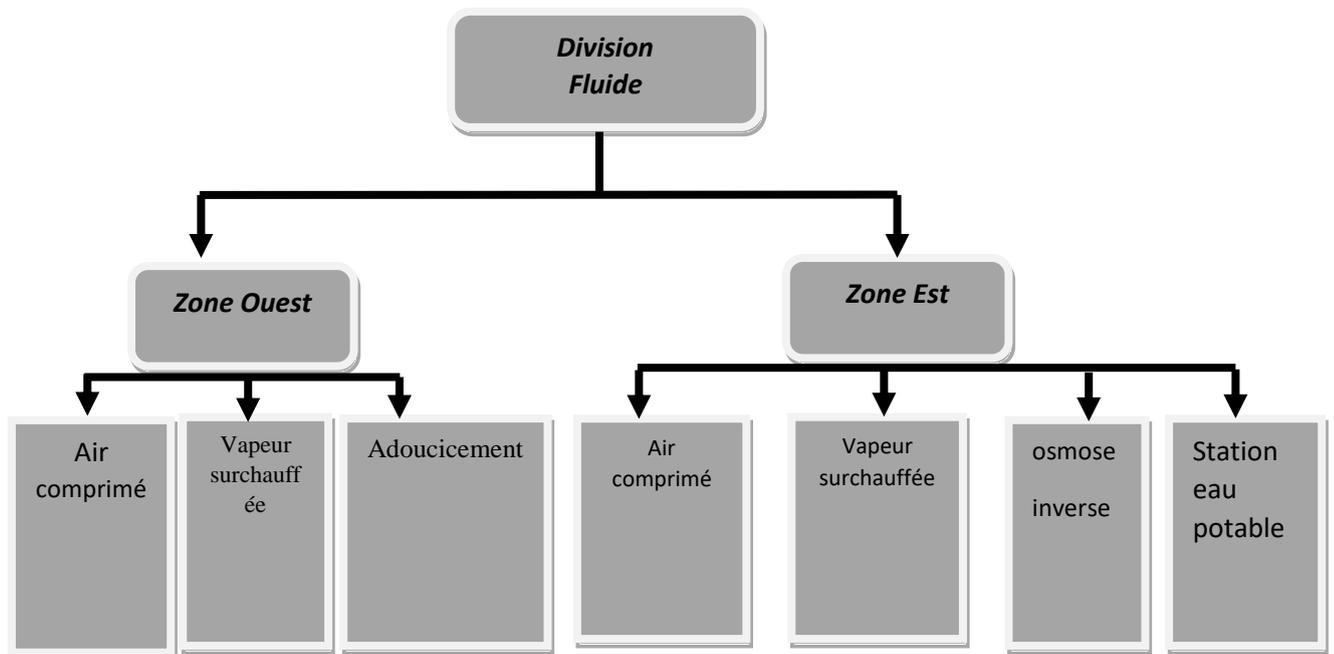


Figure I.2 : organigramme de la division fluide

I.2 Description technique de la zone EST :

I.2.1 La zone EST : La zone EST du département des fluides joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau des différents secteurs du complexe, ce qui en fait un élément vital pour la croissance de la production.

✓ **Production et la Distribution de la vapeur saturée dans le complexe :**

Le complexe utilise de la vapeur saturée dans toutes ses zones. Cette vapeur est produite par deux types de chaudières situées dans la zone EST : [1]

- **Chaudière Babcock :** D'une capacité de 15 t/h
- **Chaudière Siterm :** avec une capacité de 30 t/h



La chaudière Siterm



la chaudière Babcock

Figure I.3 : les chaudières de la station de chaufferie.

❖ **Production de l'air comprimé :**

L'usine utilise de l'air comprimé comme une forme d'énergie. Ce dernier est produit par un compresseur **ATLAS COPCO** à trois étages à refroidissement par eau.



Figure I.4: Compresseur copco atlas à trois étages.

- Débit d'air libre : 10700 à 17000 m³/h.
- Moteur installée : 1000 à 1850 KW.
- Masse :18000 Kg.
- Pression d'aspiration :1 bar.
- Température de l'air à l'aspiration : 35 °C.
- Humidité relative : 60 %.
- Température d'eau de refroidissement : 26,7 °C.

L'eau brute est transformée en eau potable propre et saine, répondant aux normes de qualité en vigueur grâce une station dans le service de division fluide (Figure I.5).

Pour compléter le processus de filtrage, certains produits chimiques sont employés, tels que : la chaux, et le sulfate d'aluminium.



Figure I.5: Station de l'eau potable.

De plus, la production d'eau déminéralisée par osmose inverse est un système de filtration très fin qui ne laisse passer que les particules d'eau.

Dans la zone EST, il existe deux osmoses inverses :

- ✓ La sortie chaine 1
- ✓ La sortie chaine 2.

Cette zone utilise des méthodes et techniques anciennes comme un décanteur et un filtre etc..., tandis que la zone Ouest se base sur des techniques modernes.

I.3. Alimentation de l'eau brute dans la zone EST :

L'usine est alimentée en eau brute par l'Algérienne des Eaux (ADE), elle-même approvisionnée par le barrage de CHAFFIA vers la station de pompage qui se trouve à SIDI AMAR, cette dernière alimente le complexe avec des conduites de 1050 mm (Fig. 1) sous une pression de 4 bars et un débit de 2000m³/h, tandis que le débit réel moyen est de 900 m³/h.



Figure I.6 : Conduite d'arrivée d'eau.

L'usine dispose d'une réserve d'eau (retenue collinaire) d'une capacité de 310 000 m³ pouvant être utilisée en cas d'urgence [2].

C'est dans la salle de pompage EBS (**Figure.I.7**) qu'on s'assure que la pression de l'eau est bonne et régulé.



Figure I.7 : Salle EBS

L'eau du barrage arrive dans la conduite d'alimentation avec une forte pression. Elle est ensuite dirigée vers un bassin amortissant appelé "brise-charge" (**Figure I.8**), Ce dernier a pour rôle de dissiper l'énergie cinétique de l'eau et de réduire sa vitesse.



Figure I.8 : Brise charge.

I.4. Production de l'eau prétraitée (industrielle) dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar :

I.4.1. : la coagulation :

La coagulation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques amenant une suspension stable ou sol de particules de très petite taille en solution ; les colloïdes à séparer en deux phases distinctes. Il sert principalement à éliminer les particules (matières en suspension) qui ne sédimentent pas et que l'on peut retrouver dans l'eau. Donc la coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par addition d'un réactif chimique on appelle coagulant [3]. Il y a de multiples agents coagulants. Tous partagent une caractéristique commune : ils ont une charge différente de celle des matières en suspension. Il s'agit fréquemment de sels d'aluminium ou de fer inorganiques. Le sulfate d'aluminium, le sulfate ferrique et le chlorure d'aluminium sont parmi eux. Les plus fréquemment employés dans l'eau sont les sulfates ferriques et d'aluminium.

Le chlorure ferrique $FeCl_3$ est le coagulant utilisé dans la zone EST du complexe Sider ElHadjar, car il est très efficace dans la clarification et peut être utilisé comme agent de déshydratation des boues. Même s'il laisse une légère trace de couleur, ce produit chimique permet d'éliminer efficacement la turbidité.

Voici également quelques propriétés physico-chimiques de ce coagulant :

- ❖ Il est disponible sous forme liquide.
- ❖ Il possède une odeur légèrement âcre.
- ❖ Couleur rougeâtre.
- ❖ Un pH inférieur à 1.
- ❖ Il est donc très acide.

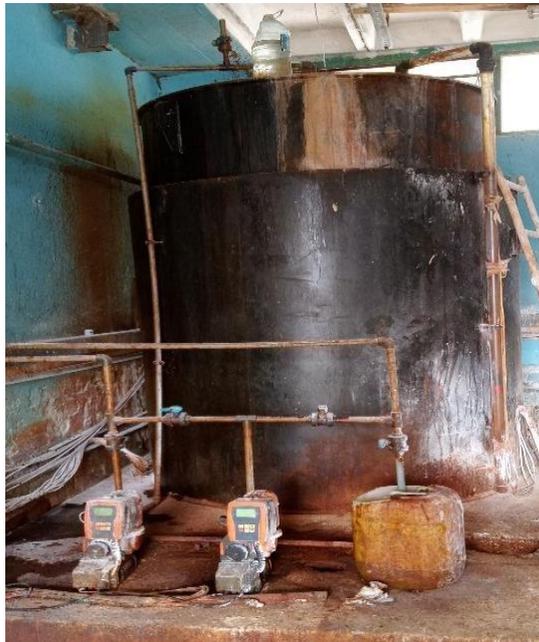


Figure I.9 : Le bac de coagulant (FeCl_3).

I.4.2. La floculation :

La floculation joue un rôle crucial dans de nombreux domaines, car elle permet de rassembler les petites particules en suspension dans un liquide ou une solution. Ce phénomène conduit à la création de structures plus volumineuses connues sous le nom de floes [4].

L'ajout de produits chimiques spécifiques, connus sous le nom de floculant, joue un rôle prépondérant dans ce processus. Ces agents favorisent la liaison et la collision entre les particules, stimulant ainsi leur agrégation.

Elle intervient notamment dans la séparation des solides des liquides, contribuant ainsi à la purification de l'eau et d'autres fluides.

Dans le complexe sidérurgique d'El-Hadjar, l'emploi de polymères en tant qu'agents floculant revêt une importance capitale. Les particules de coagulant sont absorbées par ces polymères, ce qui entraîne une altération de leurs caractéristiques de surface et favorise la formation de

flocs. Les particules sont rapprochées les unes des autres grâce à l'établissement de ponts entre elles.

Ce rapprochement amplifie l'influence des forces d'attraction de van der Waals, réduisant conséquemment la barrière énergétique requise pour la floculation. Ce phénomène favorise la formation de flocs peu compacts, optimisant ainsi le processus de séparation.



Figure II.10 : bac à flocculent

En résumé, la coagulation et la floculation agissent en synergie pour optimiser l'élimination des particules en suspension dans les liquides. La coagulation favorise la rencontre des particules, tandis que la floculation amplifie leur regroupement, menant à une séparation plus rapide et efficace des phases.

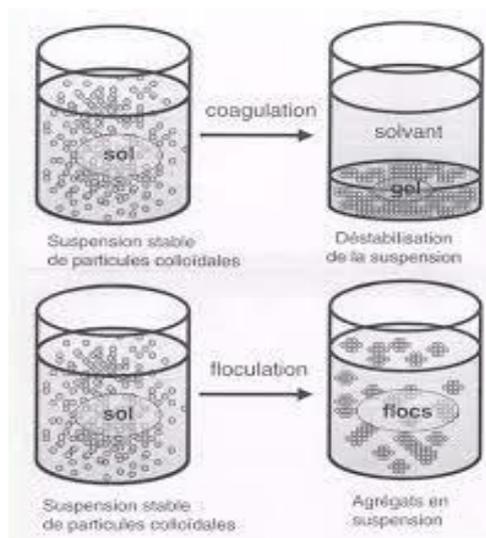


Figure I.11 : Processus de coagulation, floculation et de sédimentation.

I.4.3 Décarbonations à la chaux :

La décarbonation est un procédé permettant de corriger les eaux de nature trop incrustantes, c'est-à-dire possédant une teneur élevée calcaire ci ta dire (TH, titre hydrotimétrique) est élevée elle s'accompagne du titre alcalimétrique complet(TAC)élevé [5].

Elle permet d'éliminer une partie du calcaire présent dans l'eau, mais ne le supprime pas totalité.

La dureté de l'eau décarbonatée est d'environ 20 °f (une dureté moyenne), ce qui en fait le procédé de précipitation le plus couramment employé.

Une pompe doseuse ajoute de la chaux sous forme de lait de chaux en fonction du débit et du TAC de l'eau à traiter. Cette chaux est préparée dans la salle des réactifs, puis elle est transférée dans un tube souterrain vers la charge brise, puis elle est pompée par des pompes jusqu'au décanteur.

Les réactions chimiques suivantes représentent les principales réactions d'élimination de la carbonatation :

- La chaux réagit avec le dioxyde de carbone libre présent dans l'eau pour former de l'hydrogénocarbonate de calcium.
- $2\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
- Par conséquent, une augmentation du TAC et de TCa favorise la précipitation du CaCO_3 , selon la réaction.
- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightleftharpoons 2\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Si $\text{TH} < \text{TAC}$ (eau bicarbonatée calcique et magnésienne) on a ensuite :
- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow \text{MgCO}_3 + \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Le carbonate de magnésium étant relativement soluble. Un excès de chaux conduira à la réaction :
- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{MgCO}_3 \longrightarrow \text{CaCO}_3 +$



Figure 1.12 : bac de la chaux.

I.4.4. Décantation :

La décantation est un processus crucial pour la purification de l'eau. Elle élimine efficacement les impuretés comme les sédiments et les débris organiques. Et c'est cette action améliore la qualité de l'eau et prévient la contamination. Parmi les 3 modes de séparation solides/liquides, la décantation est la plus simple et la moins onéreuse [6].

Le principe de la décantation repose sur le fait que les floccs formes en suspension dans l'eau à la sortie de flocculateur sédimentent sous l'influence de leur poids, leur densité étant supérieure à celle de l'eau, et vont s'accumuler au fond du bassin pour former une boue. L'eau séparée de ces particules est alors récupérer en surface de décanteur.

Le décanteur est en forme d'entonnoir et possède un pont racleur. Lors de la rotation du pont le racleur circulaire entraine la boue vers la fosse centrale et la herse contribue à l'épuisement des boues en facilitant la séparation. Et l'eau claire est récupérée en haut pour être filtrée. Les particules seront retirées périodiquement du fond du décanteur.

Dans la région Est, il y a généralement deux décanteurs qui opèrent simultanément afin de développer un traitement plus efficace. Cependant, ils sont en cours de suspension en raison de problèmes de performance du pont-racleur. Cela conduit à une question de qualité des eaux industrielles.



Figure I.13: Le Décanteur

I.4.5. Filtration à sable :

L'une des méthodes de traitement de l'eau les plus anciennes est la filtration par le sable. Elle se compose d'une couche de sable de qualité appropriée, à travers laquelle l'eau circule à une vitesse relativement faible [7].

Le filtre à sable permet une séparation sur la base du diamètre des particules, Il consiste en un récipient ou bassin rempli de sable en guise de médium filtrant. Le liquide à traiter s'écoule de haut en bas à travers ce médium [8].

Ce filtre contient également des bosselures équipant le plancher qui collectent l'eau uniformément dans une chambre située sous le plancher et reliée au régulateur de niveau lorsqu'il est présent.

L'eau à filtrer est le liquide résiduaire du processus de décantation. Cette eau s'écoule dans cinq filtres. La longueur de chaque filtre est de 10 m, sa largeur est de 4 m et sa profondeur est de 1 m, et Chaque filtre contient 1964 buses. L'eau filtrée obtenue à la fin est de l'eau industrielle.



Figure I.14 : La filtration a sable.

I.5. Production d'eau déminéralisée dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar :

I.5.1 Ultrafiltration :

I.5.1.1 Définition d'ultrafiltration :

L'ultrafiltration est une technique de séparation physique. Elle utilise des membranes poreuses dont la taille de pores est comprise entre 100 et 2 nm pour séparer des éléments dissous tels que les virus, les protéines dans un liquide.

I.5.1.2 principe de fonctionnement d'ultrafiltration :

Cette technique permet de faire circuler le liquide tangentiellement à la surface du média Filtrant, la membrane poreuse et sous l'effet de la pression, une partie du liquide traverse la membrane pour être clarifié. [9]

En général, la filtration est de type tangentielle, ce qui signifie que le fluide se déplace parallèlement à la membrane, à la différence de la filtration traditionnelle qui est appelée frontale. Grâce à la filtration tangentielle, il est possible de réduire l'accumulation de dépôts qui obturent la surface filtrée.

Le liquide traversant la membrane est le filtrat ou le PERMEAT.

La solution qui concentre les espèces ne pouvant traverser la membrane est le RETENTAT. [10].

L'ultrafiltration comporte trois chaînes d'opération différentes qui selon la demande sont mise en production en temps voulu, Ces chaînes sont :

- Filtration (production de filtrat), Ce processus prend vingt minutes : Des pompes de transformation transfèrent l'eau industrielle de la bache de lavage vers les modules de filtration (A et B), chacun avec 14 membranes. La pression hydrostatique pousse l'eau vers la partie inférieure de l'UF, où elle est filtrée par une membrane très fine (la pression de filtration est généralement comprise entre 0,1 bar et 1,5 bar). On retient à la surface des membranes toutes les particules solides en suspension et les solvants de haut poids moléculaire (plus de 0,001 μm) pendant que l'eau dissoute de bas poids moléculaire traverse la membrane. Ensuite, l'eau filtrée est envoyée vers la cuve d'eau traitée par la vanne de production.
- Rétro lavage (nettoyage de la cartouche du filtre), Ce processus prend une minute et demie. En cas d'expiration du temps de filtration ou de remplissage du réservoir de filtrat. On procède à un rétrolavage afin de débarrasser les membranes des impuretés qui s'y fixent. Se servir exclusivement d'eau. On répète ces deux opérations vingt fois.

- Rétro lavage chimiquement assisté ou nettoyage chimique, ce processus prend une heure et demie. Les deux processus sont terminés, un rétrolavage chimique a lieu Le principe de fonctionnement de ce procédé est le même que celui du rétrolavage, le seul changement utilisant les produits chimiques. Les produits chimiques utilisés sont : l'hydroxyde de sodium (NaOH) et l'acide sulfurique (H₂SO₄)



Figure I.15 : Installation D' ultrafiltration .

▪ **Les avantages de l'ultrafiltration :**

- ✓ Toute l'énergie mise dans le flux est dépensée directement pour forcer l'eau à travers la membrane.
- ✓ Pas de recirculation
- ✓ Aucun excès de matière solide ne traverse le système, toutes les particules s'accumulent sur la membrane, il n'y a donc pas besoin de recirculation.
- ✓ Plus petite empreinte
- ✓ L'absence de recirculation signifie qu'aucune canalisation, pompe ou vanne supplémentaire n'est nécessaire et aucune énergie supplémentaire n'est dépensée pour cette fonctionnalité.

▪ **Les inconvénients de l'ultrafiltration :**

- ✓ L'accumulation continue sur la membrane nécessite un nettoyage plus fréquent, ce qui peut entraîner des coûts d'exploitation plus élevés.
- ✓ Diminution du flux membranaire
- ✓ À mesure que la couche de gâteau sur la membrane s'épaissit, le flux à travers la membrane diminue à mesure que le flux est bloqué par ces solides [11].

I.5.2. L'osmose inverse :

I.5.2.1. Définition de l'osmose inverse :

L'osmose inverse est une technique de purification de l'eau en éliminant les impuretés dissoutes telles que les ions et les minéraux de la solution. Les éléments en solution sont filtrés par une membrane semi-perméable. Par rapport à une osmose normale, elle demande l'application d'une force avec une pression [12].

I.5.2.2. Principe de fonctionnement d'osmose inverse :

L'osmose inverse fonctionne à l'opposé du principe de l'osmose normale, la tendance naturelle de l'eau contenant des solutés dissous à s'écouler à travers une membrane de faible à forte concentration de soluté.

La pression hydrostatique externe est utilisée dans le système d'osmose inverse afin de dépasser la pression osmotique normale de la solution, ce qui permet de séparer l'eau pure de ses impuretés. Les particules impures sont éliminées en fonction de leur taille et de leur charge. Les membranes performantes des osmoseurs les plus récents permettent d'obtenir une eau osmosée qui est pure à près de 99 % (95-99,8 %) [13].

Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

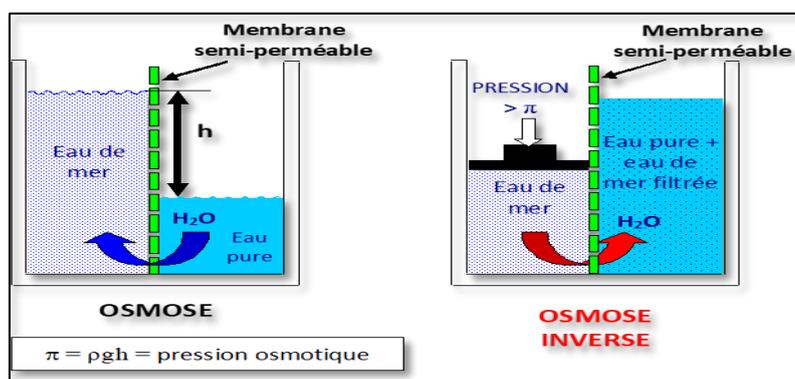


Figure I.16: Principe de fonctionnement.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique ; c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée.

Une partie passe à travers la membrane vers la chambre d'eau pure (permet).

La partie qui ne passe pas par la membrane est celle qui renferme des particules de sel (concentrat ou retentât). On transmet l'eau déminéralisée à la bêche de stockage, puis, grâce à des pompes, on la transmet à l'installation de chaudière et à l'installation de refroidissement. L'unité d'osmose inverse de la zone EST a une capacité de production de $2 \times 35 \text{ m}^3/\text{h}$ ($75 \text{ m}^3/\text{h}$) d'eau déminéralisée.

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la (Figure I.18) [14].

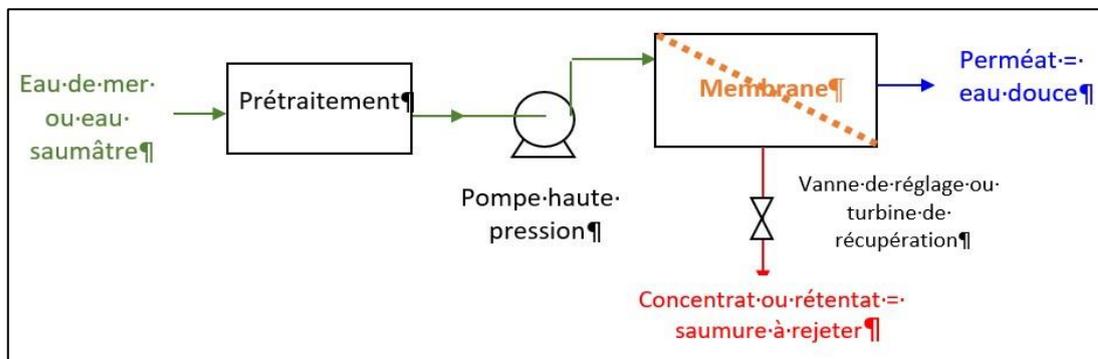


Figure I.17: installation d'unité d'osmose inverse.



Figure I.18 : l'installation de l'osmose inverse dans la zone EST.

I.5.2.3 Les principales applications d'osmose inverse :

- ✓ Dessalement d'eau de mer ou saumâtre pour la production d'eau potable ou d'irrigations.
- ✓ Production d'eau ultra pure (en complément d'autres techniques) pour : (L'industrie électronique, l'industrie pharmaceutique, alimentation de chaudières)
- ✓ De produits agroalimentaires).
- ✓ Dés- alcoolisation des boissons

I.5.2.4. Les avantages et les inconvénients d'osmose inverse :

▪ Les avantages :

L'osmose est le passage de molécules de l'eau, à travers une membrane semi-perméable, depuis le milieu le moins concentré (hypotonique) en solutés vers celui le plus concentré

(Hypertonique). Parmi c'est avantages :

- ✓ Maintenance Simple :

Les systèmes RO ont très peu de pièces mobiles ou remplaçables, ce qui facilite le nettoyage et l'entretien des systèmes RO

- ✓ Elimination des Impuretés :

Les procédés d'osmose inverse permettent d'éliminer les substances polluantes de l'eau, telles que les pesticides, les nitrates, les fluorures, les sulfates, les produits pharmaceutiques, les bactéries, l'arsenic et bien d'autres encore. Le filtre à charbon s'occupera de l'élimination du chlore et des chlora mines [15].

▪ Les inconvénients :

Bien que l'osmose inverse offre de nombreux avantages, il présente également quelques inconvénients à prendre en compte :

- ✓ Rejet d'Eau :

L'osmose inverse produit de l'eau pure mais rejette également de l'eau chargée en contaminants. Ce rejet peut être considérable, ce qui peut être un inconvénient dans les régions où l'eau est rare.

- ✓ Perte de Minéraux :

En éliminant les impuretés, l'osmose inverse élimine également certains minéraux bénéfiques. Cependant, ces pertes sont généralement minimales

- ✓ Coût Initial :

L'installation d'un système d'osmose inverse peut représenter un investissement initial. Cependant, les économies à long terme en matière d'eau en bouteille et de réparation de plomberie peuvent compenser ce coût [16].

I.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous visons à présenter une description exhaustive de la chaîne de traitement, en évoquant les différentes étapes que l'eau traverse pendant son processus de traitement. De l'eau brute à la sortie de l'eau industrielle par filtration sur sable, où elle est répartie dans l'industrie, en passant par l'ultrafiltration, où l'eau ultrafiltrée est dessalée par osmose inverse.

Chapitre II

**Séparation membranaire par
Le procédés d'osmose inverse**

Chapitre II : Séparation membranaire par le procédés d'osmose inverse

Introduction :

Au cours de ce chapitre, nous avons porté notre attention sur le système d'osmose inverse et ses spécificités. Nous examinerons aussi les principaux désavantages de l'utilisation des membranes d'osmose inverse dans la filtration de l'eau, la vulnérabilité de la membrane à la contamination qui entraîne le colmatage et les solutions à ces problèmes. Les membranes d'osmose inverse requises pour le complexe de traitement des eaux de Hadjar seront également exposées.

II.1 Définition de la membrane :

Une membrane est une mince barrière sélective qui permet ou bloque le passage de certaines espèces ou composants à l'échelle microscopique entre deux milieux. Cette membrane peut agir sous l'influence de différentes forces telles que la différence de pression, de potentiel électrique ou de concentration de part et d'autre. Lorsque la membrane retient certaines substances, on parle de retentât ou « de concentrât », tandis que les substances qui traversent la membrane sont appelées perméat ou « filtrat. » Les membranes utilisées dans le traitement des eaux peuvent être poreuses ou denses et sont conçues pour éliminer les contaminants principalement par effet stérique, en utilisant une pression transmembranaire ou un flux de perméat constant [17].

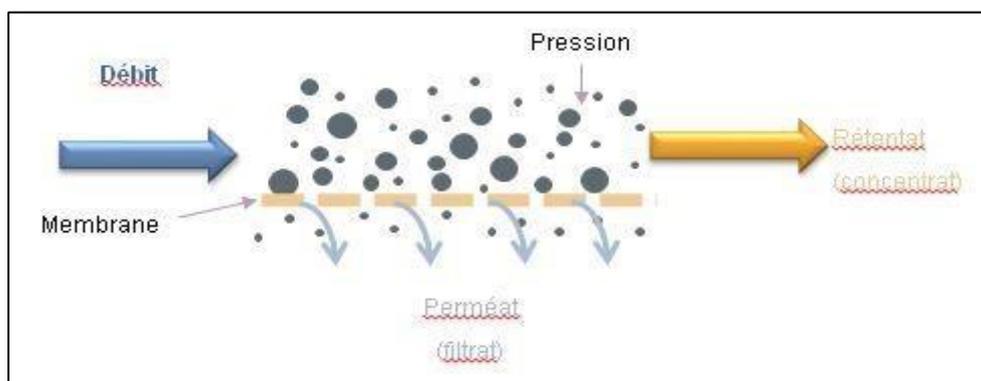


Figure II.1 : Principe de la filtration membrane

II.2. Types de membranes :

Chaque procédé est associé à un type spécifique de membrane. Les membranes peuvent toutefois être classées en familles en fonction de critères tels que leur composition chimique, leur morphologie, le mécanisme de transfert de matière ou encore leur mode de fabrication.

II.2.1 Selon la nature :

- Membrane organique :

On peut trouver ces membranes sous la forme de films de fibres creuses avec un diamètre intérieur de 0,5 mm à 2 mm, qui sont utilisés pour la microfiltration et l'ultrafiltration. Elles peuvent également être utilisées sous forme tubulaire avec un diamètre de 2 cm à 25 cm [18].

En général, on retrouve des matériaux tels que l'acétate de cellulose, la polysulfone, le polyacrylonitrile, le polyamide, le polypropylène, l'acétate de cellulose, le téflon et le polyéthersulfone [19].

De 10 μm (symétriques) à 200 μm (asymétriques ou composites), ces membranes sont très minces et peuvent être utilisées dans toutes les tailles de pores, de l'osmose inverse à la microfiltration. La membrane mince est soutenue par une sous-couche macroporeuse dans les membranes asymétriques [20].

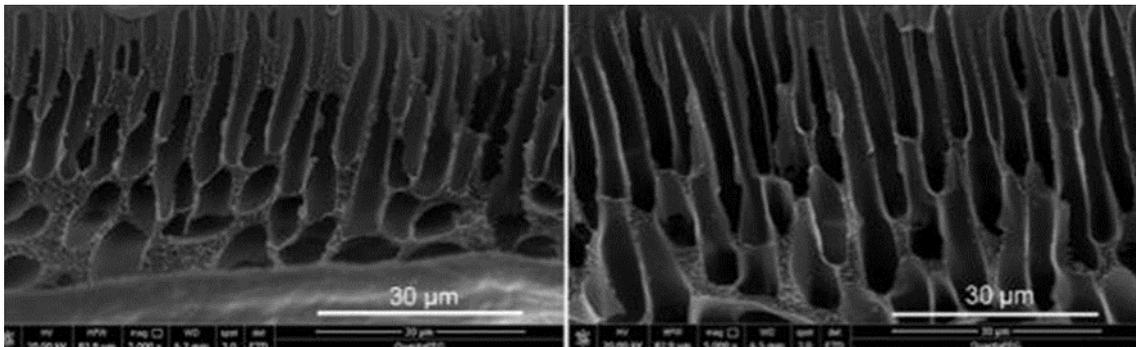


Figure II.2 : Pores de membranes d'ultrafiltration

- **Les membranes inorganique (ou minérale) :**

Peuvent être fabriquées à partir de céramique, d'oxyde de zirconium, de carbone ou de verre poreux. Elles sont de 2 mm à 3 mm d'épaisseur et sont principalement présentes sous la forme de tubulaire et de multicanaux.

- **Les membranes composites :**

Les membranes composites sont composées d'un mélange de deux ou plusieurs couches de matériaux de diverses natures, parfois appelées TFC - Thin Film Composite.

Les porosités et les compositions chimiques variées Ces membranes ont été créées pour accroître la perméabilité en réduisant l'épaisseur de la couche active sélective. On utilise des épaisseurs allant de 10 nm à 100 nm. Les autres couches sont de plus en plus poreuses et assurent la stabilité mécanique de la couche active. Il s'agit principalement de membranes composites, qu'elles soient planes ou tubulaires, utilisées pour la nano filtration ou l'osmose inverse[21]

II.2.2 Selon le mécanisme de séparation :

- Membrane dense :

Les membranes denses sont des membranes qui ne présentent plus de porosité libre. Le solvant les gonfle, mais celui-ci, qui est chimiquement fortement lié au matériau membranaire, a perdu toutes ses capacités de solvation ; ainsi, le solvant traverse la membrane sans produire de soluté. Ce mélange hydro-organique présente des caractéristiques de solvation spécifiques, ce qui explique pourquoi le coefficient de partage entre la membrane et la solution varie en fonction de la nature et de la composition chimique de la membrane. Cependant, afin que le transfert d'eau puisse se produire, il est essentiel que celle-ci soit l'un des éléments de la membrane ; une membrane dense qui est laissée sécher perd, souvent de manière irréversible, ses propriétés osmotiques.

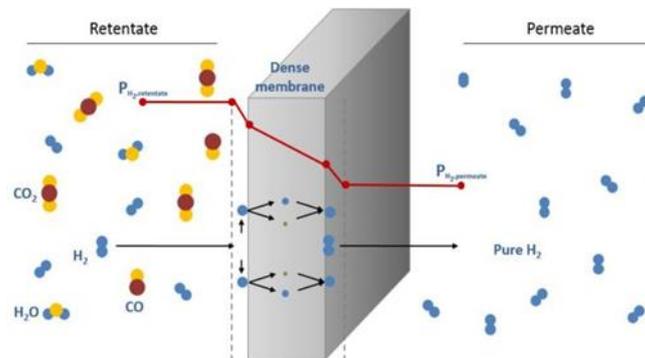


Figure II. 3 : Principe de fonctionnement d'une membrane dense.

- Membrane poreuse :

Les membranes méso- et microporeuses désignent celles dont les pores ont un diamètre compris entre 1 nm et 100 nanomètres ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) et 0,1 à 10 micromètres ($1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). Leur capacité de sélectivité est corrélée à la taille de leurs pores. Les solutés dont le diamètre dépasse celui des plus gros pores de la membrane auront un coefficient de partage nul, tandis que les solutés beaucoup plus petits que les pores auront un coefficient de partage lié à la porosité de la membrane. Le coefficient de partage sera situé entre ces deux valeurs pour les solutés dont le diamètre est légèrement inférieur à celui des pores [22].

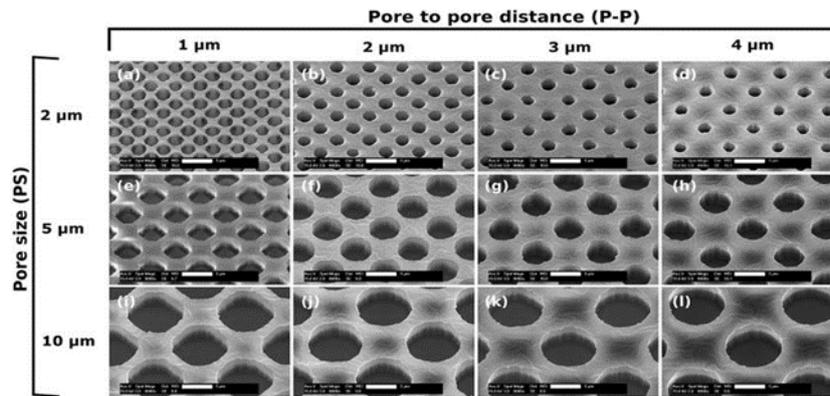


Figure II. 4 : Membrane poreuse.

- **Membrane microporeuse :**

Ce terme fait référence à des membranes qui ont des pores dont le diamètre varie de $0,1\mu\text{m}$ à $10\mu\text{m}$. Si les conséquences électrocinétiques sont minimes.

Le transfert de matière sous pression est uniquement convectif pour le solvant, ce qui signifie qu'il ne transporte que les espèces dont la taille est inférieure à celle des pores (effet tamis).

- **Les membranes mésoporeuses :**

Elles se caractérisent par des pores mesurant entre quelques dizaines et quelques centaines d'angströms (10 à 1000 \AA). En ce qui concerne le transport du solvant, il est nécessaire d'ajouter un terme osmotique, d'autant plus crucial que la taille des pores réduit. Il est également important de prendre en considération la solubilité, la solubilité et la diffusion dans le matériau, et l'effet tamis n'est plus seul à expliquer son transfert.

- **Membrane échangeuse d'ions :**

Les membranes d'échange d'ions sont formées de gels chargés qui sont chargés de charges fixes positives ou négatives. Les membranes échangeuses d'ions présentent des propriétés et des procédures de préparation étroitement liées à celles des résines échangeuses d'ions. Différents polymères et groupes fonctionnels sont disponibles pour donner au produit des caractéristiques d'échange d'ions, la plupart étant basés sur les zéolithes et les bentonites [23]

II.2.3 Selon la morphologie :

- **Les membranes isotropes :**

Également appelées membranes symétriques, se distinguent par une microstructure homogène dans toute leur épaisseur. On peut les considérer comme poreuses ou denses [24].

- **Les membranes isotropes non poreuses (denses) :**

Sont peu fréquemment employées dans les méthodes de séparation par membrane, car le flux transmembranaire à travers ces membranes relativement épaisses est trop faible pour des procédés de séparation pratiques.

Toutefois, elles sont couramment employées en laboratoire afin de déterminer les caractéristiques des membranes. En laboratoire, on procède à la préparation des membranes isotropes (denses) en les coulant en solution ou en les pressant à chaud. Les mêmes méthodes peuvent être exploitées à une échelle plus importante afin de fabriquer, par exemple, des matériaux d'emballage.

- **Les membranes isotropes microporeuses :**

Présentent une structure et une fonction très similaires à celles d'un filtre traditionnel. Structure rigide, très vide, pores interconnectés et répartis de manière aléatoire. Toutefois, ces pores se distinguent de ceux d'un filtre traditionnel par leur taille très réduite, de 0,01 μm à 10 μm de diamètre. La membrane rejette entièrement toutes les particules plus grandes que les pores les plus grands. Selon la répartition de la taille des pores de la membrane, les particules plus petites que les plus grands pores, mais plus grandes que les plus petits pores, sont partiellement exclues. La membrane est traversée par des particules beaucoup plus petites que les pores les plus petits [23].

De cette manière, la séparation des solutés par les membranes microporeuses dépend principalement de la taille des molécules et de la répartition de la taille des pores. Généralement, seules les molécules dont la taille est très différente peuvent être séparées de manière efficace par les membranes microporeuses.

- **Les membranes asymétriques :**

Elles sont fabriquées à partir d'un matériau identique et composent de deux couches superposées : une "peau" très fine (0,1 à 1 micron) et une sous-couche poreuse beaucoup plus épaisse (100 à 300 microns), souvent accompagnée d'un support textile. Les caractéristiques de séparation de ces membranes sont principalement liées à celles de la "peau", la sous-couche poreuse garantit la stabilité mécanique sans apporter de résistance au transfert de matière.

Lorsque les membranes se présentent sous la forme de fibres creuses, on parle de peau interne lorsque celle-ci recouvre le lumen de la fibre, ou de peau externe lorsque celle-ci se trouve sur la face externe de la fibre [25].

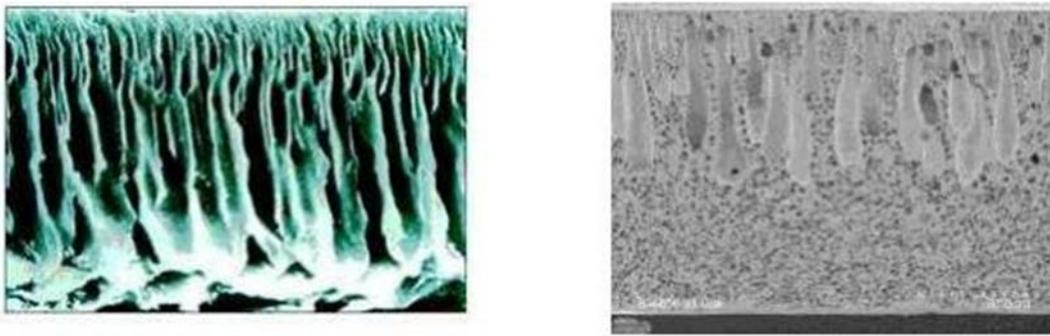


Figure II.5: Membrane asymétrique.

II.3. Présentation des membranes d'osmose inverse :

II.3.1 Définition des modules d'osmose inverse :

Les dispositifs de séparation unitaires, qui utilisent des membranes, sont désignés sous le nom de « cartouches » ou de « modules ». Ils sont conçus de manière différente en fonction de la forme de la membrane et doivent à la fois garantir une circulation adéquate à la surface de celle-ci et avoir une bonne compacité. Ils sont également élaborés en fonction de l'application future et doivent répondre aux exigences d'utilisation (montage, démontage, nettoyage) [26]

II.3.2 Définition et description des membranes d'osmose inverse :

Les membranes d'osmose inverse peuvent varier en fonction de leur nature, qu'elles soient organiques ou inorganiques (minérales), composites ou à charge électrique [27]

L'osmose inverse repose sur la capacité des membranes semi-perméables à permettre le passage de l'eau tout en arrêtant la dissociation des sels [26]. Le choix des matériaux, les techniques d'élaboration et la structure de la membrane influencent la séparation des solutés et le passage du solvant (l'eau dans la plupart des cas) [28]

Le développement de l'osmose inverse a été possible uniquement grâce à l'amélioration de techniques permettant de fabriquer des films polymères d'une épaisseur très faible, sans quoi les surfaces membranaires nécessaires pour obtenir un rendement adéquat auraient été considérables.

Ainsi, les membranes employées présentent des propriétés asymétriques (plusieurs couches d'épaisseur différente) et composites (plusieurs matériaux différents) [28] Les premières membranes d'osmose inverse étaient composées de cellulose asymétrique en acétate de cellulose. De nos jours, la plupart des membranes d'osmose inverse sont composées d'une couche active

composée de polyamide aromatique, qui est déposée sur un support polysulfone sur polyester. Cette couche offre une meilleure résistance mécanique, chimique et thermique, ainsi que des densités de flux plus efficaces. En règle générale, elles se composent de trois couches

II.4 Les caractéristiques principales d'une unité d'osmose inverse

II.4.1 Mécanisme de transfert :

La solubilisation-diffusion est un processus clé dans la séparation par membrane, permettant le transfert sélectif de solvant et de soluté à travers une membrane semi-perméable. La compréhension des mécanismes sous-jacents à ce phénomène est essentielle pour optimiser les performances des procédés de séparation par membrane [29].

II.4.2 Le taux de conversion :

Le taux de conversion, exprimé en pourcentage, représente la fraction du débit de solution d'alimentation qui traverse la membrane et se transforme en perméat. Il s'agit d'un paramètre clé pour mesurer l'efficacité d'une installation de séparation par membrane et pour optimiser les performances du procédé. [30].

$$Y = \frac{Q_P}{Q_A} \times 100$$

Avec :

Y : Le taux de conversion

Q_p : Débit de solution du perméat

Q_A : débit de solution d'alimentation

II.4.3 Le taux de rétention (sélectivité) :

Le pourcentage de rétention R (%) témoigne de la capacité des solutés à se fixer et de la sélectivité de la membrane. La rétention tout au long du module membranaire correspond à la moyenne des concentrations d'alimentation du module C_A et en sortie du module C_p [30.31]

$$R = \frac{C_A - C_P}{C_A}$$

$$R = 1 - \frac{C_P}{C_A} \times 100$$

Avec :

R : Le taux de retentions (%).

CP : La concentration de soluté dans le perméat.

CA : La concentration d'alimentation

II.4.4 Densité de flux de perméat :

La productivité du perméat par rapport à la surface de la membrane mise en œuvre est mesurée par la vitesse de perméation ou la densité de flux de perméat. La densité de perméat J_p correspond au rapport entre le débit de perméat Q_P et la surface membranaire S_m . [30].

$$J_p = \frac{Q_P}{S_m}$$

Avec :

J_p : Densité de flux de perméat

Q_P : Débit de perméat

S_m : La surface membranaire

II.4.5 La pression transmembranaire :

La pression transmembranaire est calculée en prenant en considération la moyenne des pressions d'alimentation P_A (pression en entrée) et de rétention P_R (pression en sortie), à partir de laquelle on déduit la pression du perméat P_p . [30].

$$P_{TRM} = \left(\frac{P_A + P_R}{2} \right) - P_p$$

Avec :

P_{TRM} : Pression transmembranaire

P_A : pression d'entrée

P_R : pression en sortie

II.4.6 Pression osmotique $\Delta\Pi$:

La loi de Van 't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercée dans l'état gazeux parfait dans le même volume V et à la même température T . Si le soluté est dissocié en ' i ' ions, la pression osmotique sera ' i ' fois supérieure. La pression osmotique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en soluté.

$$\Pi = iCRT$$

Π = pression osmotique en bar

i = nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte

C = concentration molaire mol/L

T = température en degré Kelvin

II.5 Les caractéristiques des membranes d'osmose inverse utilisée dans la zone EST :

II.5.1 membrane d'osmose inverse :

Le modèle CPA5-LD est une membrane d'osmose inverse produite par Nitto Hydranautics (Nitto Group Company, Allemagne). Cette unité de filtration est constituée d'un module membranaire enroulé en spirale autour d'un noyau central, qui sert à filtrer l'eau et à éliminer les sels, les minéraux et les produits chimiques. Où il a été réalisé en utilisant du polyamide.



Figure II.6 : Membrane d'osmose inverse model CPA5-LD.

II.5.2 caractéristique de membrane d'osmose inverse :

Les caractéristiques de la membrane d'osmose inverse sont présentes dans le tableau suivant :

Caractéristique		
<i>Performance</i>	Débit de perméat	41.6 m ³ /d
	Rejet du sel	99.7% (99.6% minimum)
<i>Type</i>	Configuration	Plaie en spirale à faible encrassement
	Membrane Polymère	Composite Polyamide
	Surface active de la membrane	37.1 m ²
	Surface membranaire totale	1038.8 m ² (0.864 mm)
<i>Application</i>	Pression maximale appliquée	600 psig (4.14 MPa)
	Concentration maximale de chlore	< 0.1 PPM
	Température de fonctionnement maximale	113 °F (45 °C)
	Turbidité maximale de l'eau d'alimentation	1.0 NTU
	Débit d'alimentation maximale	75 GPM (17,0 m ³ /h)
<i>Caractéristiques physiques</i>	Longueur (cm)	101.6
	Diamètre (mm)	7.80
	Poids (kg)	16.4

Tableau II.1 : caractéristique de membrane d'osmose inverse.

II.6 Différents types de systèmes d'osmose inverse :

II.6.1 Système mono-étage :

Un système de dessalement par osmose inverse consiste en une alimentation en eau salée qui passe par un système de pompage pour la mise en pression, qui refoule l'eau sous une pression

élevée vers les modules d'osmose inverse. Tous les modules sont assemblés simultanément. [29.31].

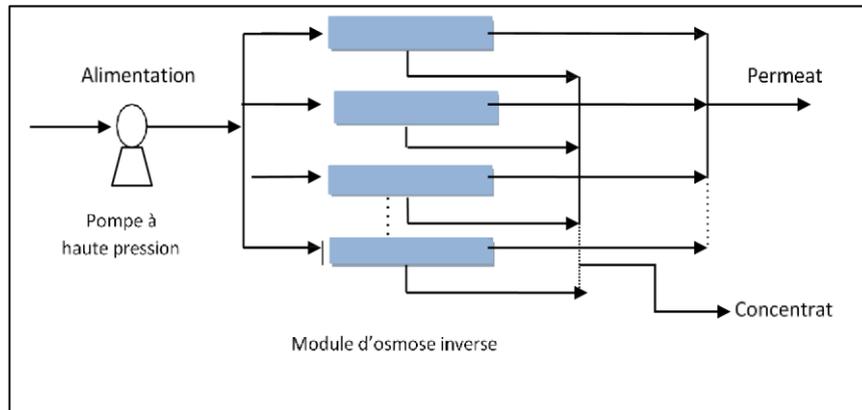


Figure II.7 : système d'une unité de dessalement par procédé d'osmose Inverse mono étage

II.6.2 Système multi-étages en série :

Deux formes de montage sont identifiées : le montage en série rejet et le montage en série production.

II.6.2.1 Le montage multi-étage en série rejet :

Il est principalement constitué d'un ensemble d'étages dont le rejet de chaque étage alimente l'étage suivant, et ainsi de suite. On regroupe les productions de tous les étages afin de donner à la fin la production totale du système [32].

II.6.2.2 Le montage multi-étage en série production :

Il est constitué d'un ensemble de niveaux dont la production de chaque niveau alimente le niveau suivant et ainsi de suite, de manière à ce que l'alimentation de chaque niveau ait les mêmes caractéristiques que la production de l'étage précédent [32].

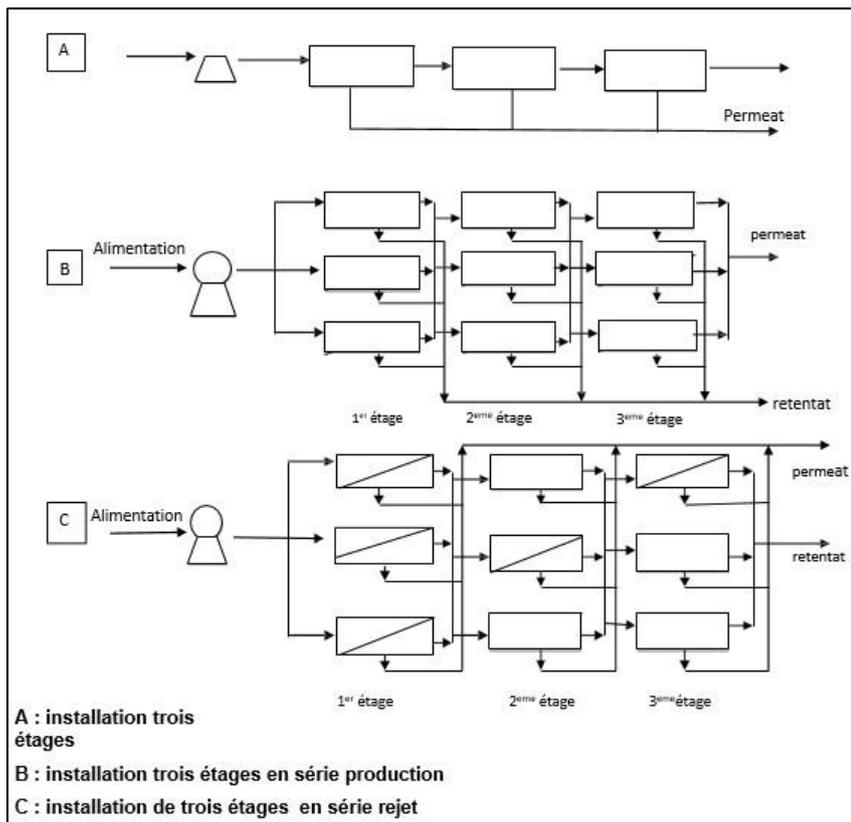


Figure II.8 : système d'unité de dessalement par procédé d'osmose inverse en série

• Configuration dans la zone EST du complexe :

L'osmose inverse située dans la zone EST se compose de deux étages, le premier étage se compose de trois tubes de pression et chaque tube a 6 membranes, tandis que le deuxième étage contient deux tubes de pression, chaque tube à 5 membranes.

II.7 Les problèmes techniques rencontrés dans l'osmose inverse :

Les principaux problèmes rencontrés dans la déminéralisation de l'eau brute sont :

II.7.1. Le Colmatage (Fouling) :

Étant donné leur seuil de rétention extrêmement bas et leur charge de surface élevée, les membranes d'osmose inverse sont extrêmement vulnérables au colmatage causé par une combinaison de substances colloïdales, organiques et biologiques.

L'injection de produits de prétraitements non compatibles avec les membranes peut également entraîner le colmatage. En raison de la charge négative (-) des membranes, les produits cationiques (+) ne peuvent pas être employés. Cela entraînerait la formation d'un gel en attirant les charges de signes opposés, ce qui entraînerait un colmatage des membranes qui pourrait être irréversible.

En cas de dimensionnement incorrect de la surface membranaire mise en œuvre et d'une densité du flux trop élevée, les membranes risquent de se colmater rapidement. [33].

II.7.2 Entartrage (scaling) :

Les membranes sont entartées lorsque certains sels dissous se précipitent lorsque leur produit de solubilité est dépassé. Il est possible que ce phénomène se produise dans la zone d'alimentation/concentration où la quantité de sels dissous augmente au fur et à mesure que les éléments successifs sont logés dans le corps de pression, ce qui est causé par la perméation d'une partie de l'eau. Étant donné les ions.

Ces dépôts sont principalement composés de carbonate de calcium (CaCO_3), d'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH}_2)$) et de sulfate de calcium (CaSO_4), présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonate, sulfate) [34].

II.7.3 colmatage par matière organique (bio-fouling) :

Dans le cas de colmatage par matière organique, les dépôts peuvent différer de ceux rencontrés lors de l'entartrage (scaling). Alors que l'eau contient des microorganismes tels que des bactéries et des virus, ils se développent dans les zones des installations où les conditions physicochimiques le permettent, ce qui entraîne la formation de films biologiques sur les surfaces de transfert (biofouling) [35-30].

Les bactéries se sont fixées sur les parois, ce qui entraîne la formation des premiers éléments d'un bio-film. Les bactéries continuent de se multiplier et la matière organique morte s'adsorbe sur le bio-film, ce qui entraîne une augmentation de sa taille. Le bio-film se transforme en un ensemble solide et cohérent qui est extrêmement complexe à supprimer. Des fragments de bio-film sont finalement libérés et se propagent dans les différents éléments du système, y compris les membranes. Quand ils sont fixés aux membranes, les microorganismes commencent à se reproduire, en se servant des nutriments de l'eau qui alimente le système. Ainsi, un bio-film se forme sur la membrane, ce qui entrave le débit de l'eau à travers celle-ci. Il est donc nécessaire d'utiliser une pression plus élevée, ce qui entraîne des coûts plus élevés et des dommages irréversibles aux membranes. [36]

Les effets du biofouling sont les suivants [37] :

- La diminution des sections de passage de l'eau à traiter entraîne une augmentation de la perte de charge.
- La croissance bactérienne est un processus exponentiel qui varie en fonction de divers paramètres tels que la température, les nutriments, le PH, la vitesse du fluide, la pression osmotique, la teneur en oxygène et la présence ou non de biocides.

- Il est possible qu'il y ait une attaque chimique des métaux (corrosion) ou des membranes par des composés acides produits par des bactéries (en général des acides organiques).



Figure II.9 : membranes colmatées dans la zone EST.

II.7.4 Prévention et lutte contre le biofouling :

Il est difficile d'éliminer le colmatage biologique et organique car les microorganismes sont protégés des désinfectants grâce à une couche de gel. Il est donc essentiel de prévenir l'apparition du colmatage afin d'assurer une performance optimale de l'OI [37].

Il est possible de réduire le colmatage biologique en effectuant des désinfections régulières du système [38].

II.8. Nettoyage des membranes :

L'évaluation des méthodes de nettoyage est influencée par la nature des dépôts responsables du colmatage, ainsi que par la nature des membranes : il est nécessaire de dissoudre les dépôts et de détériorer ces dernières. [39].

Dans ces conditions, il est évident que chaque fabricant de membranes recommande une solution de nettoyage spécifique en fonction de la nature de la membrane et de la nature du dépôt.

- Lorsque les membranes sont encrassées, il est nécessaire d'appliquer une pression plus élevée afin de maintenir les flux (capacité).
- Les fabricants de membranes conseillent de procéder à un nettoyage chimique des membranes lorsque la pression augmente de 10 à 15 % afin d'éviter un encrassement irréversible.

Afin de purifier les membranes dans la zone EST, différentes stratégies sont mises en place, telles que :

- **Nettoyage par contre pression :**

Cette procédure appelée en anglais « back flushing ». avec de l'eau filtré ce nettoyage est réalisé pendant une minute et demi. Ce processus consiste à inverser le sens de l'écoulement à travers la membrane et le gradient de pression, ce qui permet au perméat de passer à travers la membrane et d'éliminer tous les sédiments ou particules qui pourraient avoir provoqué le colmatage.

▪ **Le nettoyage en place (clearing in place, CIP) :**

Le nettoyage est un procédé qui permet de nettoyer les équipements de production sans les démonter est réalisé tous les six mois.

L'objectif du nettoyage effectué est de retirer la saleté et les contaminants accumulés à la surface de la membrane, une solution de nettoyage adéquate est introduite dans le système. En général, les solutions de nettoyage utilisent de l'eau et incluent des détergents, des acides ou des agents alcalins en fonction du type de saleté à éliminer.

Dans la zone EST, les solutions utilisées pour le nettoyage en place sont : l'acide sulfurique.

Enfin, on procède à la stérilisation de l'équipement en utilisant un désinfectant afin de détruire les bactéries, les champignons et autres micro-organismes.

La mise en place du nettoyage présente de multiples bénéfices, tels que la diminution des interruptions de production, la réduction de la manipulation de l'équipement, la réduction des dépenses liées au nettoyage et une amélioration de la qualité des produits. Toutefois, il est essentiel d'avoir une planification approfondie et une maintenance régulière afin de garantir son efficacité.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de membranes d'osmose inverse, ainsi que leurs particularités, ces membranes sont spécialement conçues pour éliminer les solutés dissous et les sels minéraux de l'eau, ce qui en fait un élément essentiel dans les processus de filtration et de purification de l'eau. Nous avons également abordé les différents types de système OI ainsi que leurs problèmes techniques.

Il convient de souligner que l'accumulation de dépôts et la formation de biofilms peuvent entraîner la colmatation des membranes et leur perte d'efficacité au fil du temps.

Il est donc essentiel de les nettoyer régulièrement afin de garantir leur performance optimale. Le nettoyage flash, et le CIP sont les méthodes de nettoyage employées dans Sider El-Hadjar.

Chapitre III

Partie Expérimentale

Chapitre III : Partie Expérimentale

INTRODUCTION :

Le traitement de l'eau nécessite souvent plus d'une technologie spécifique pour atteindre la qualité souhaitée. La majorité des logiciels de conception d'usines de traitement de l'eau ne vous offrent pas la possibilité d'améliorer les systèmes présentant plusieurs technologies, ce qui demande un logiciel distinct et plus de temps pour la configuration et la gestion. Pour cela nous avons utilisé le logiciel WAVE pour dimensionnement de la station RO de 40 m³/h afin de pouvoir comparer les résultats obtenus par ce logiciel avec ceux de laboratoire central d'analyse des eaux et comprendre comment assurer une production optimale d'eau de perméat et une efficacité de l'osmose inverse tout en assurant une qualité constante qui répond aux exigences du complexe Sider El-Hadjar.

III.1 Présentation de logiciel WAVE :

Le Water Application Value Engine (WAVE) est le premier logiciel de modélisation gratuit entièrement intégré de l'industrie à intégrer nos technologies de pointe telles que l'ultrafiltration (UF), l'osmose inverse (RO), l'échange d'ions (IX).

En utilisant une interface partagée, il facilite la conception et, à terme, contribue à diminuer le temps requis pour gérer le système de traitement de l'eau.

En utilisant la dernière version de WAVE 1.82, nous bénéficierons de :

- Une interface conviviale pour les technologies UF, RO, IX, qui est compatible avec Microsoft Windows.
- Outil spécialisé en modélisation.
- Données uniformisées pour tous les produits et méthodes.
- Il existe quatre langues disponibles : l'anglais, le chinois, l'espagnol et le portugais.

III.2 Les Avantages du logiciel WAVE :

WAVE est un logiciel de modélisation intégré spécialement conçu pour la conception d'usines de traitement de l'eau, y compris la conception d'usines de traitement des eaux usées. Il propose :

- Une conception souple en utilisant trois technologies, avec des combinaisons de fonctionnement à unités multiples, ainsi que la possibilité de spécifier le débit d'alimentation du système ou du produit net.

- Un moteur de calcul performant capable de réaliser des conceptions complexes avec une grande précision.
 - Renforcer les calculs et l'interface de l'équilibre hydrique.
- Les volumes et les débits réels du bilan massique reflètent les variations de densité causées par la température, la composition de l'eau et la capacité de compressibilité de l'eau.
- Des limites hydrauliques et des paramètres de régénération cohérents, qui témoignent des pratiques les plus efficaces et des performances et des applications de pointe du produit.
- La plupart des paramètres ont des valeurs par défaut, ce qui nous permet de concevoir rapidement une conception.
- La possibilité d'inclure des paramètres spécifiques au projet afin d'améliorer la précision des calculs des coûts de fonctionnement.

III.3 Les étapes de simulation par logiciel WAVE software :

Afin d'utiliser le logiciel WAVE, nous suggérons de suivre les étapes ci-dessous :

- ✓ **Étape 01** : Démarrage de l'application WAVE :

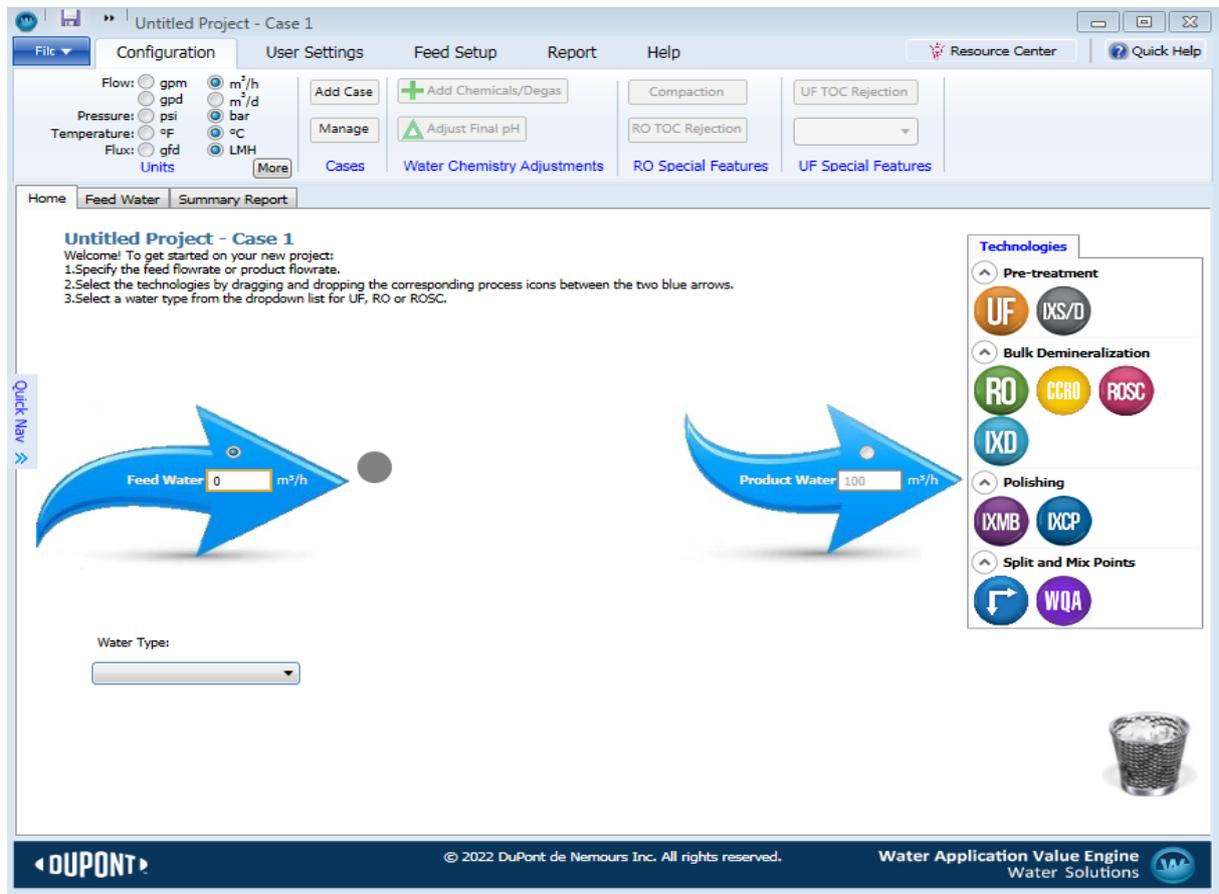


Figure III.1 : démarrage du logiciel

✓ **Etape 02** : Introduire le débit : (Feed / Product) :

Parmi les technologies proposées par WAVE, nous optons pour une technologie de traitement personnalisée.

Cliquez sur l'icône d'osmose inverse RO et placez-la sur la zone grise ; ensuite introduire le débit d'eau d'alimentation, pour notre cas il est de l'ordre de $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dans la liste d'options, sélectionner le type d'eau (par exemple : surface water).

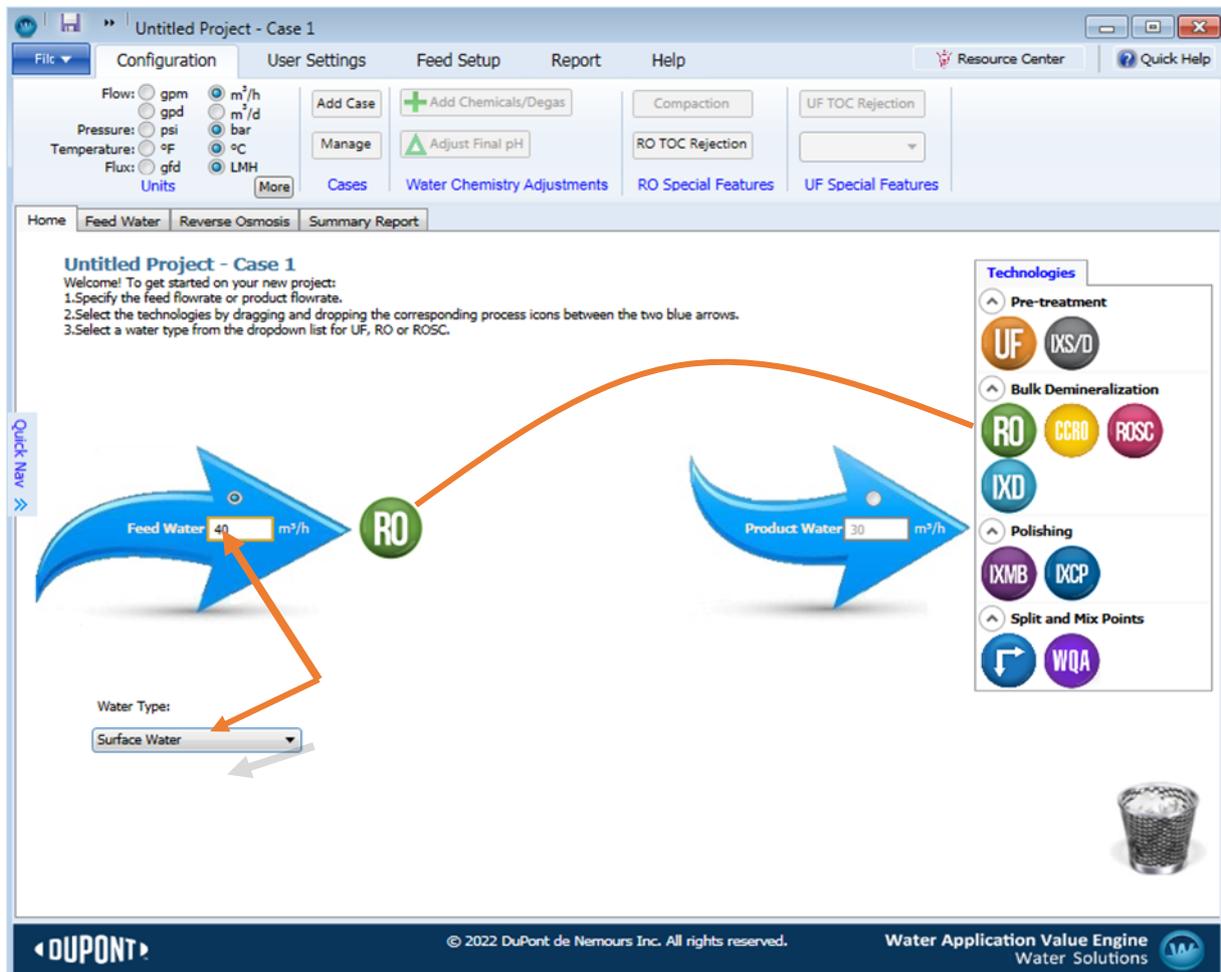


Figure III.2: Déposez l'icône RO et spécification de flux d'alimentation et le type d'eau

✓ **Etape 3** : Introduction des caractéristiques de l'eau (Feed water) .

Pour cela nous utilisons les valeurs du PV d'analyse de l'eau industrielle qui nous a été transmis , et la turbidité , solides en suspension (total suspended solids, TSS), le PH et la temperature

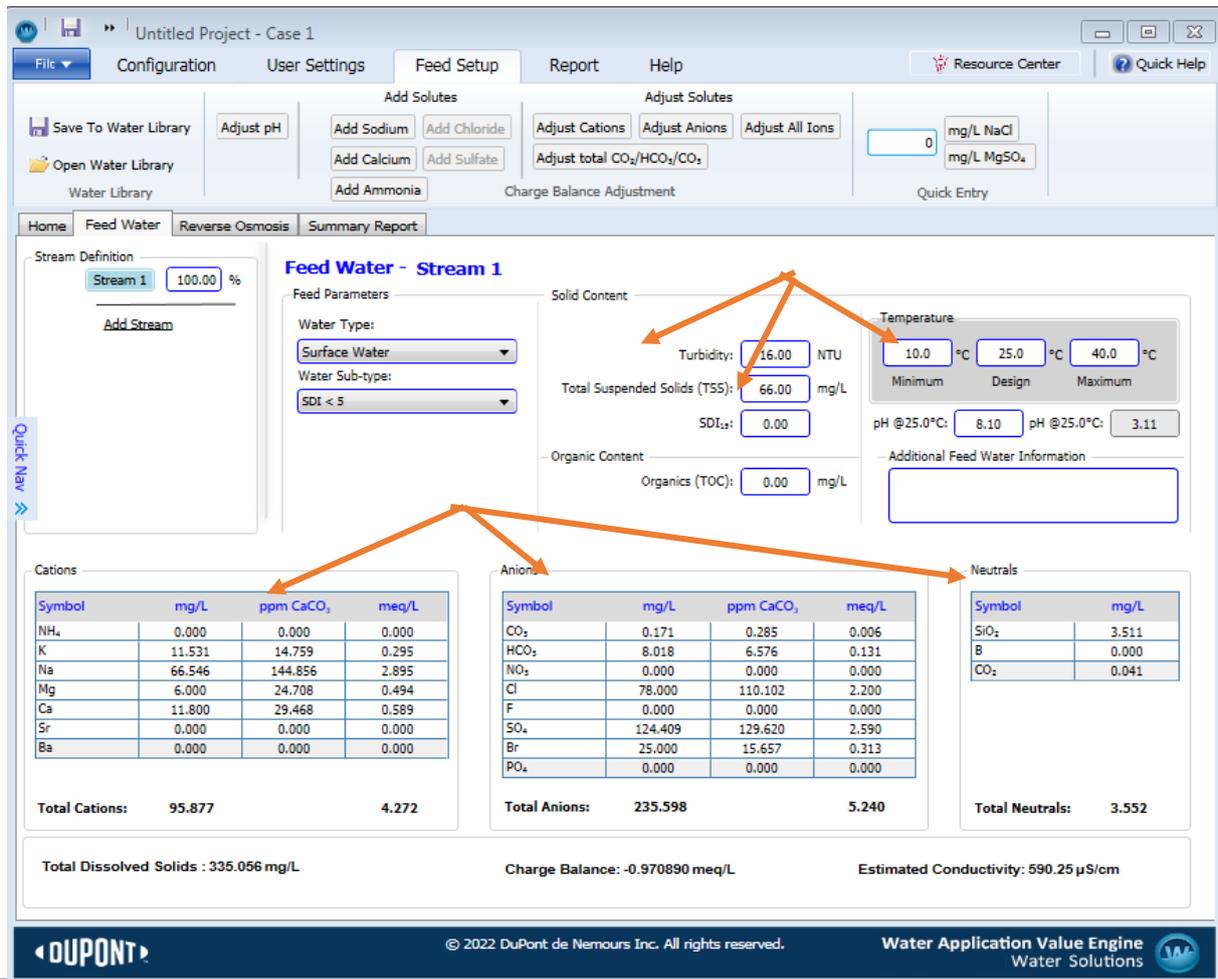


Figure.III.3: Saisie de la composition spécifique de l'aliment RO

✓ Etape 4 : Ajustement la charge de balance des analyses : **Adjust All ions**

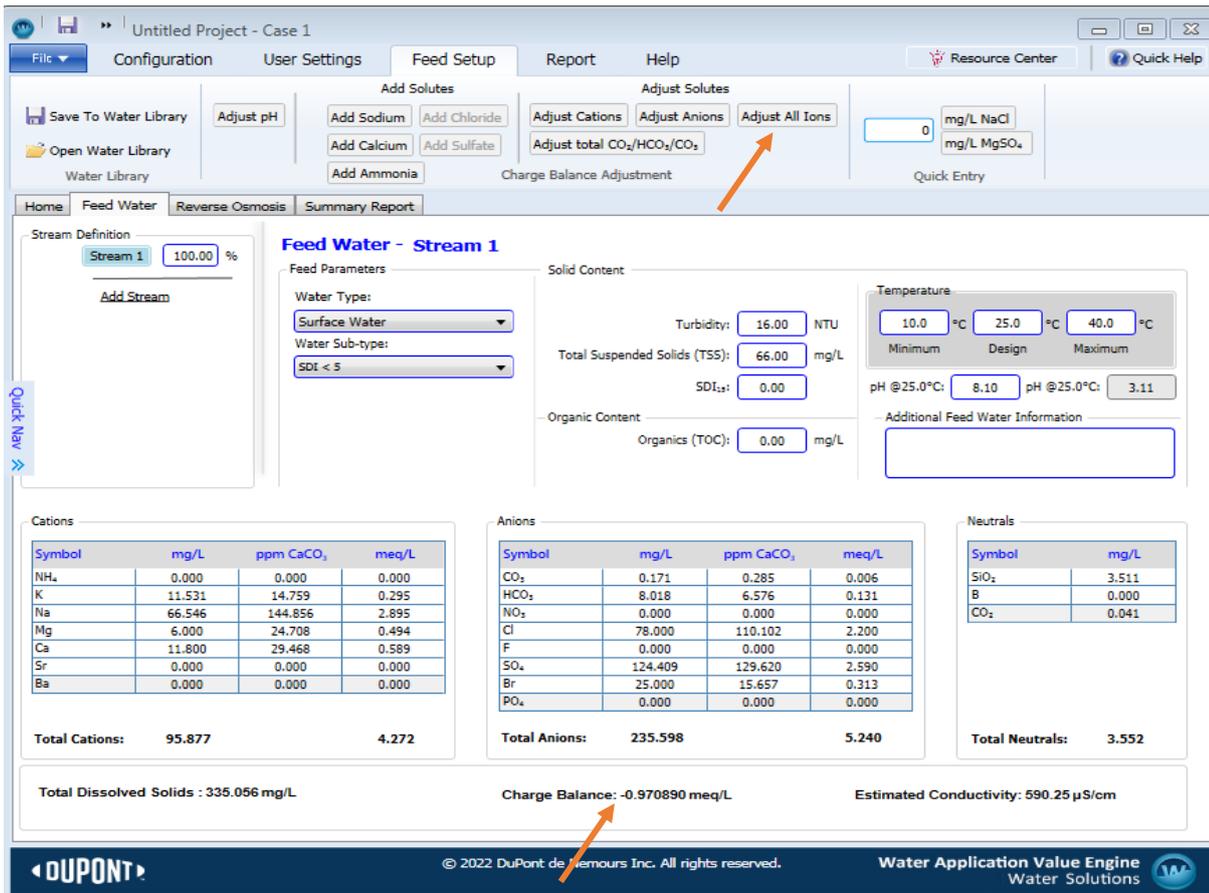


Figure III.4 : les charges de la balance n'est pas équilibrée.

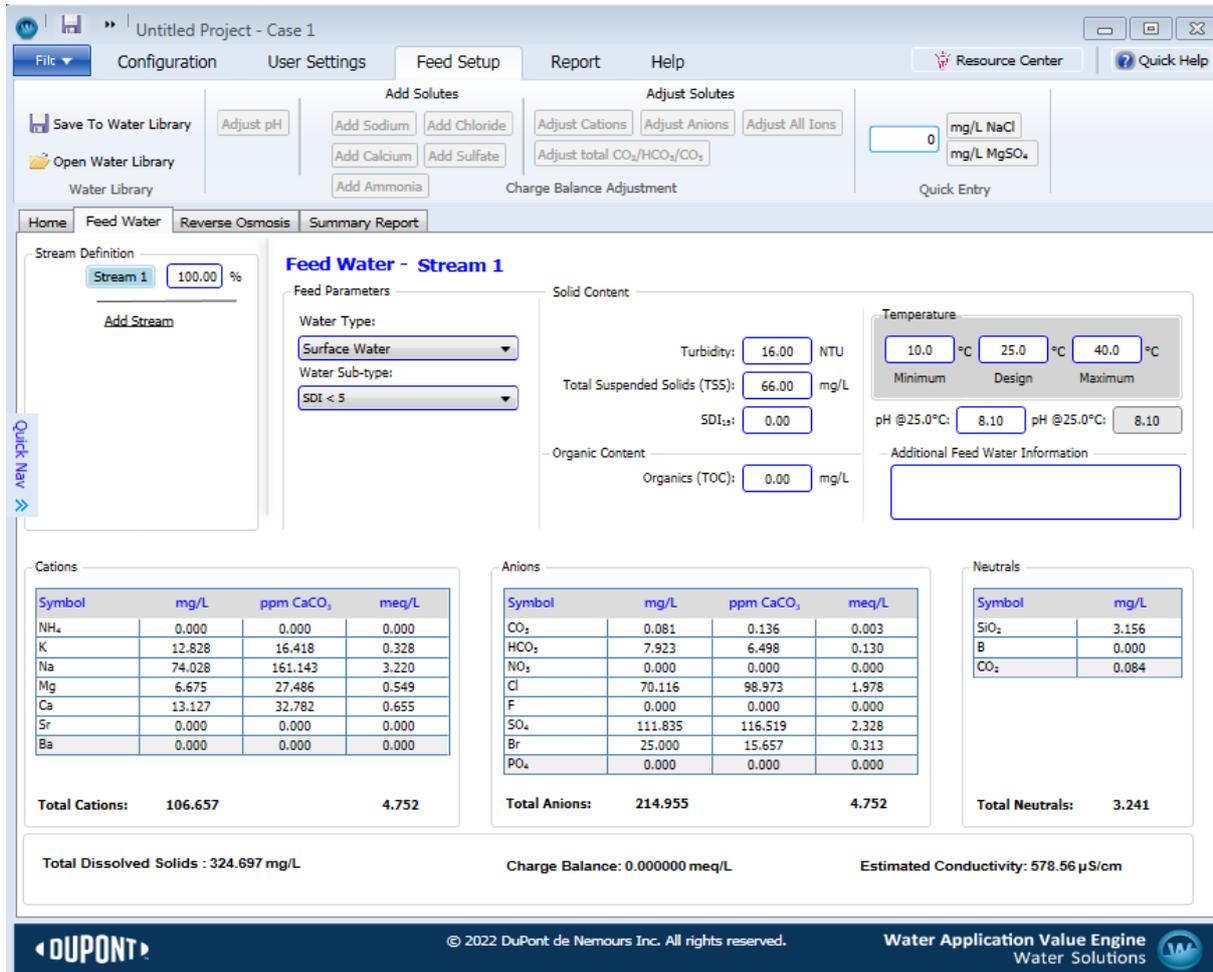


Figure III.5 : Ajustement la charge de balance.

✓ **Etape 5 :**

Afin de réaliser ce processus de manière précise, nous fixons des paramètres précis, tels que le type de membrane, le nombre d'étages et le passe en cliquant sur la fenêtre REVERSE OSMOSIS

- Type de membrane :
Type de membrane utilisé dans la zone EST : **(Nitto CPA5 – LD)**



Figure III.6 : membrane CPA5-LD

Pour cette étape, il est nécessaire de sélectionner un type de membrane similaire à celui utilisée dans la zone EST, c'est pourquoi on a choisi la membrane (**Eco Pro – 400.**)



FigureIII.7 : La membrane Eco Pro – 400

Caractéristique			
Type de membranes		CPA5-LD	ECO PRO 400
Performance	Débit de permeat	41.6 m ³ / d	43.5 m ³ / d
	Rejet de sel	99.7 % (minimum 99.5 %)	99.7%(minimum 99.4%)
Type	Configuration	Plaie en spirale à faible encrassement	Plaie en spirale à faible encrassement
	Membrane Polymère	Composite Polyamide	Composite Polyamide
	Surface active de la membrane	37.1 m ²	37.1 m ²
Application	Pression maximale appliquée	600 psig (4.14 MPa)	600 psig (4.14 MPa)
	Concentration maximale de Chlore	< 0.1 PPM	< 0.1 PPM
	Température de fonctionnement maximale	113 °F (45 °C)	113 °F (45 °C)

Tableau III.1 : comparaison entre la membranes CPA5-LD et ECO PRO 400

Configuration de la station OI dans la zone :

Nous avons 1 « pass » et 2 étages.

Dans le premier étage, nous avons 3 tubes de pression avec 6 membranes dans chaque tube.

Dans le deuxième étage, nous avons 2 tubes de pression avec 5 membranes dans chaque tube

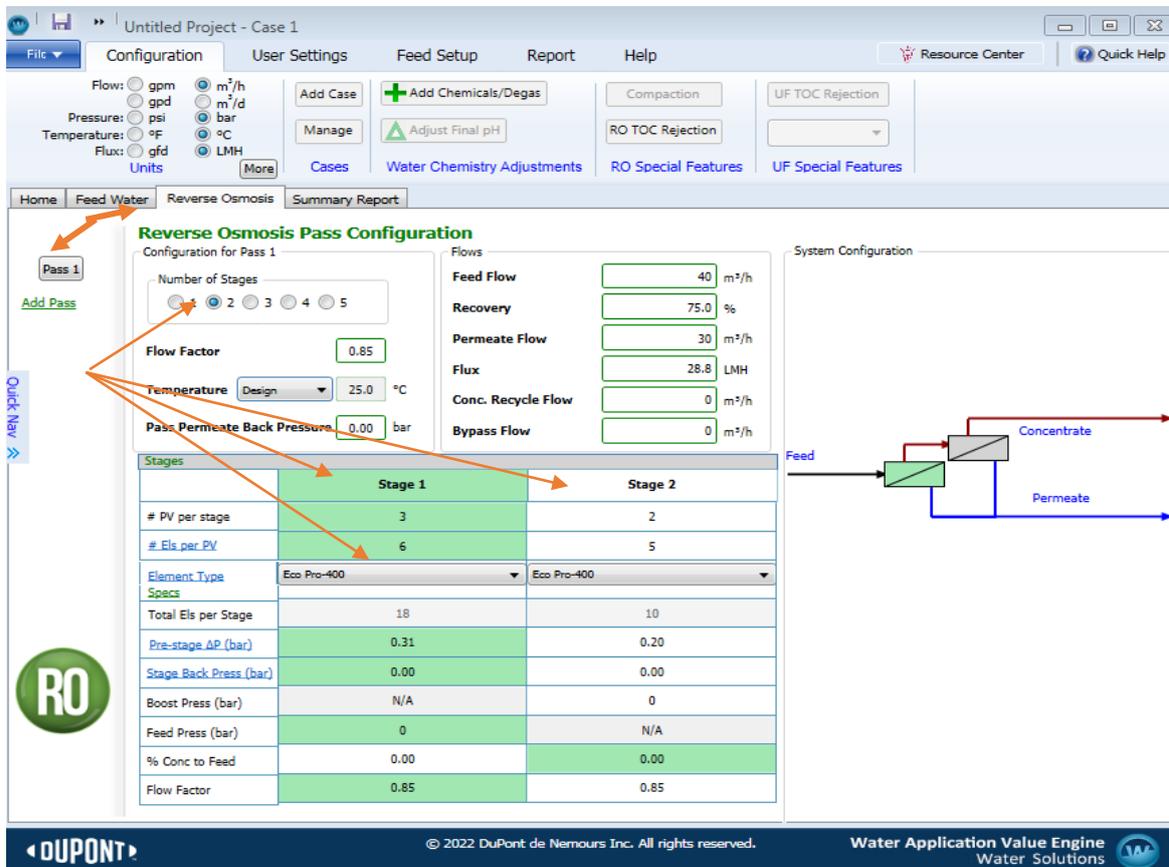


Figure III.8: Fenêtre de conception d'RO

✓ **Etape 6 :**

Après avoir enregistré toutes les informations requises dans les processus d'osmose inverse, le programme WAVE peut produire un rapport récapitulatif qui présente en détail les résultats de la simulation en cliquant simplement sur " summary Report " ou obtenir un rapport détaillé en cliquant sur "Rapport détaillé". Lors de la dernière étape, nous effectuons la conversion du rapport en PDF en cliquant sur « Export to PDF ».

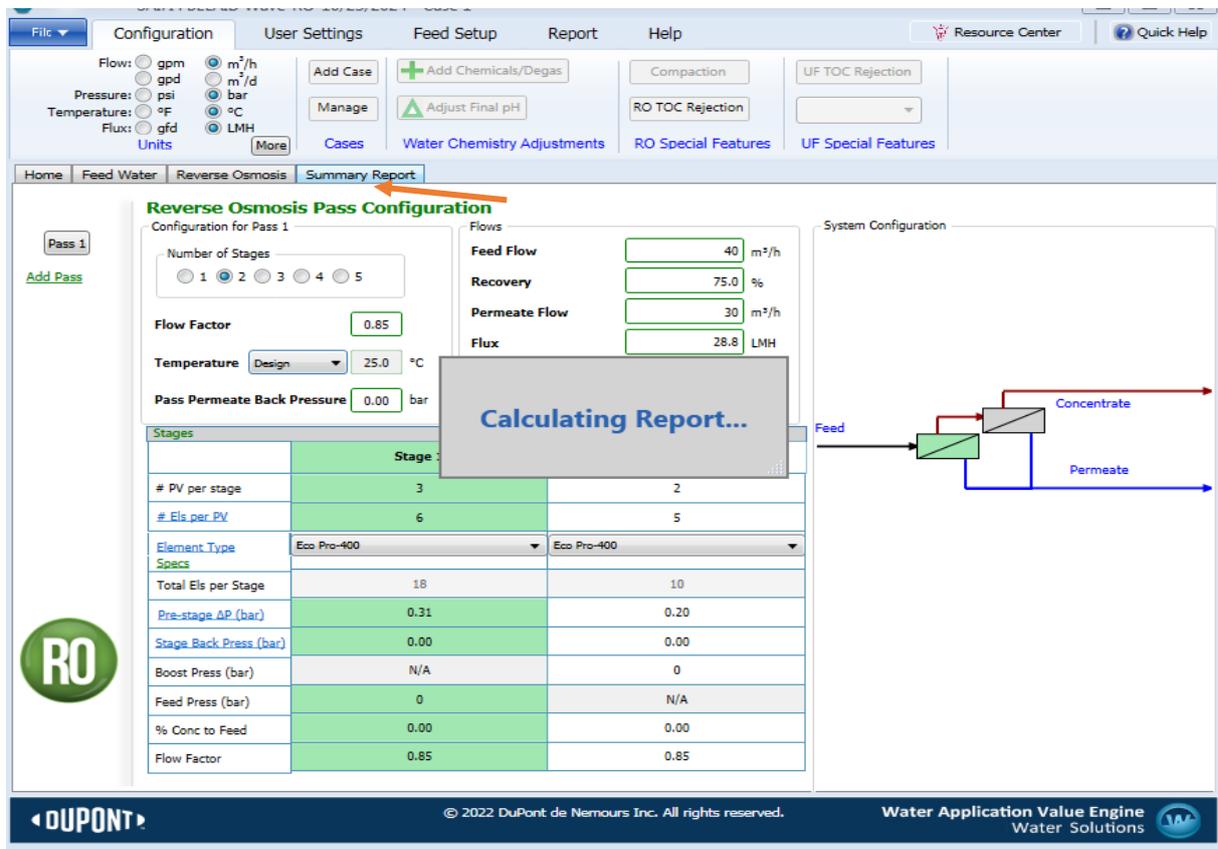


Figure III.9 : calculs du résultat obtenu

The screenshot shows a software window titled 'Untitled Project - Case 1'. The 'Report' tab is active, displaying a 'Reverse Osmosis Report'. The report title is 'RO Summary Report' and 'RO System Flow Diagram'. The flow diagram shows a process flow starting at point 1, passing through a pump (point 2), then through a 'Pass 1' unit (point 3), resulting in a permeate stream (point 4) and a retentate stream (point 6). Below the diagram is a table with the following data:

#	Description	Flow (m ³ /h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	40.0	324.8	0.0
2	Net Feed to Pass 1	40.0	324.9	7.0

The footer of the software window includes the DuPont logo, copyright information '© 2022 DuPont de Nemours Inc. All rights reserved.', and the text 'Water Application Value Engine Water Solutions'.

Figure III.10 : L'étape pour obtenir un rapport détaillé

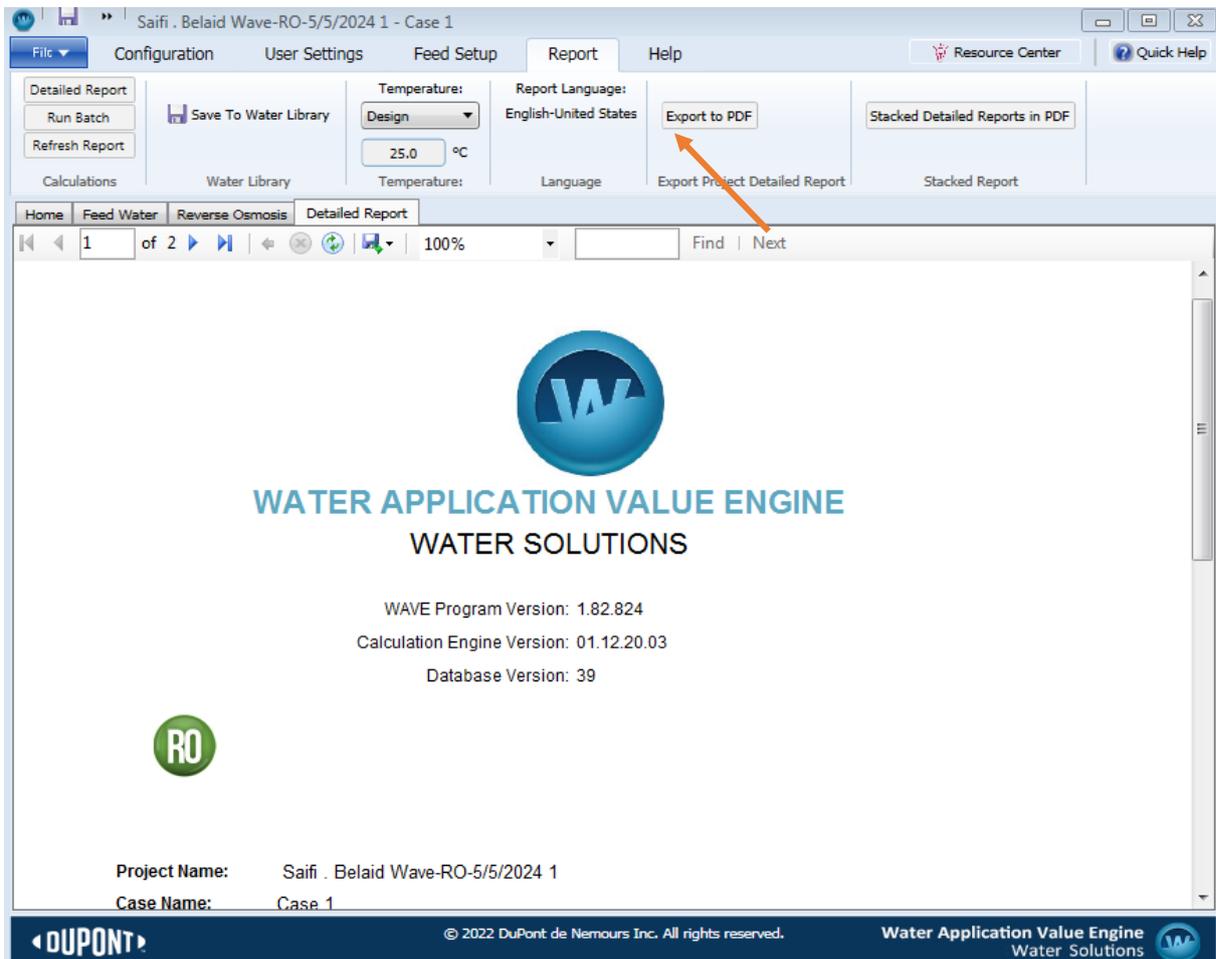


Figure III.11: exportation de rapport en PDF

❖ Résultats et discussions :

RO System Flow Diagram

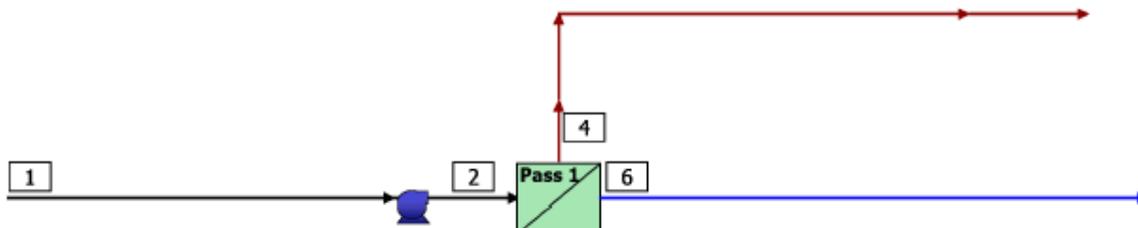


Figure III.12 : Diagramme de flux du système RO.

Les résultats obtenus par la simulation en Osmose inverse sont affichés dans les tableaux suivants :

Stage	Elements	#PV	#Els per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow	Recirc Flow	Feed Press	Boost Press	Conc Flow	Conc Press	Press Drop	Perm Flow	Avg Flux	Perm Press	Perm TDS
				(m ³ /h)	(m ³ /h)	(bar)	(bar)	(m ³ /h)	(bar)	(bar)	(m ³ /h)	(LMH)	(bar)	(mg/L)
1	Eco Pro-400	3	6	40.0	0.00	6.7	0.0	19.5	5.8	0.9	20.5	30.6	0.0	2.75
2	Eco Pro-400	2	5	19.5	0.0	5.6	0.0	10.0	5.1	0.5	9.52	25.6	0.0	6.29

FigureIII.13 : Informations sur le flux RO.

Pass	Pass 1
Stream Name	Stream 1
Water Type	Surface Water (SDI < 5)
Number of Elements	28
Total Active Area	(m ²) 1041
Feed Flow per Pass	(m ³ /h) 40.0
Feed TDS ^a	(mg/L) 324.9
Feed Pressure	(bar) 7.0
Flow Factor Per Stage	0.85, 0.85
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h) 30.0
Pass Average flux	(LMH) 28.8
Permeate TDS ^a	(mg/L) 3.87
Pass Recovery	75.0 %
Average NDP	(bar) 5.3
Specific Energy	(kWh/m ³) 0.32
Temperature	(°C) 25.0
pH	8.0
Chemical Dose	-
RO System Recovery	75.0 %
Net RO System Recovery	75.0%

FigureIII.14 : Tableau de débit RO.

RO Solute Concentrations - Pass 1

Concentrations (mg/L as ion)						
	Feed	Concentrate		Permeate		
		Stage1	Stage2	Stage1	Stage2	Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	12.83	26.14	50.71	0.14	0.33	0.20
Na ⁺	74.03	151.0	293.0	0.75	1.73	1.06
Mg ⁺²	6.67	13.68	26.68	0.01	0.01	0.01
Ca ⁺²	13.13	26.89	52.47	0.01	0.03	0.02
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.06	0.19	0.50	0.00	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	7.90	15.71	29.68	0.35	0.77	0.48
NO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	70.12	142.9	277.2	0.79	1.82	1.12
Br ⁻¹	25.00	50.77	98.14	0.45	1.02	0.63
SO ₄ ⁻²	111.8	229.0	446.6	0.20	0.46	0.28
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	3.16	6.42	12.43	0.05	0.11	0.07
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	0.11	0.16	0.24	0.11	0.17	0.13
TDS ^g	324.8	662.8	1,288	2.75	6.29	3.87
Cond. μS/cm	579	1,149	2,157	5	11	7
pH	8.0	8.1	8.2	6.7	6.9	6.8

Figure III.15 : Concentrations de soluté RO- Passel.

Comparaison entre des résultats obtenus par la simulation en osmose inverse, et les résultats réels obtenus par laboratoire central de Sider El-Hadjar et la qualité de l'eau demandée :

NB : les résultats obtenus par le laboratoire central de la date : 17/03/202 : Les valeurs de TA, TH n'étaient pas affichées dans le programme WAVE, c'est pourquoi nous les avons calculées en utilisant les concentrations obtenues dans le tableau.

Les paramètres de l'eau	Production demandé	Production Réel	Production de la simulation
TDS (mg/l)	< 8	11	3.87
Conductivité (µs/cm)	< 10	23.1	7
PH	6.5 – 8.3	7.05	6.8
Chlorure (mg/l)	<3	10.6	1.12
TH (° F)	<0.3	0.6	0
TA (° F)	0	0	0
TAC (° F)	0.6	0.6	0.03
Débit de perméat (m ³ /h)	35	17	30

Tableau III.2 : comparaison entre les résultats de la simulation et les résultats de laboratoire et la qualité de l'eau demandée.

Calcul de TA :

$$TA = [OH^-] + \frac{[CO_3^{2-}]}{2}$$

- Pour calculer le $[OH^-]$ on a :

$$K = [OH^-] [H_3O^+] \longrightarrow [OH^-] = \frac{k}{[H_3O^+]}$$

Avec

$$[H_3O^+] = 10^{-PH} \longrightarrow [H_3O^+] = 10^{-6.8}$$

Et

$$K = 10^{-14}$$

Donc :

$$[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{[10^{-6.8}]} \longrightarrow [\text{OH}^-] = 0$$

D'après le résultat obtenu de la simulation :

$$[\text{CO}_3^{-2}] = 0 \text{ °F}$$

Donc :

$$\mathbf{T_A = 0 \text{ °F}}$$

Pour calculer le TAC :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{-2}]$$

D'après le résultat obtenu de la simulation :

$$[\text{HCO}_3^-] = 0.48 \text{ mg/l} = 0.03 \text{ °F}$$

Donc

$$\text{TAC} = 0 + 0.03 + 0$$

$$\mathbf{\text{TAC} = 0.03 \text{ °F}}$$

$$\mathbf{\text{TH} = 0 \text{ °F}}$$

Le tableau montre que la qualité réelle de l'eau n'est pas parfaite et ne correspond pas à la qualité requise. De plus, le taux de chlorure est de 10.6 mg/l qui est supérieur à 3 mg/l et la conductivité 23.1 μs/cm supérieure à 10 μs/cm. On remarque aussi que le débit réel du perméat est également constaté à 17 m³/h, ce qui constitue le principal souci pour la production d'eau osmosée, où le débit de production est très faible par rapport au débit demandé, qui égale à

35 m³/h.

Contrairement à ce que nous avons obtenu par simulation, comme nous pouvons le voir dans le tableau de comparaison, les TDS dans le perméat ont diminué de 324.8 mg/l à 3.87 mg/l, ce qui est inférieur à 8 mg/l

On peut constater aussi, que la conductivité électrique de l'eau osmosée produite par notre simulation diminuera également lors de la réduction des matières dissoutes. Elle est maintenant de 7 μs/cm après avoir été de 579 μs/cm.

Par ailleurs, le pH du perméat passe de 8 à 6.8 et la teneur en chlorure est de 1.12 mg/l, ce qui est inférieur à 3mg/l . Finalement, on estime que le débit obtenu par la simulation WAVE est de 30 m³/h.

Enfin, on peut conclure que selon les résultats obtenus qui correspondent à la demande, notre simulation est confirmée

Les problèmes qui impactent la fabrication et la qualité d'eau produite par l'osmose inverse dans la zone EST de Sider El-Hadjar et les solutions proposer :

Nous avons remarqué que le rendement de l'eau perméable est très faible en raison du colmatage des membrane RO, ce dernier peuvent être causés par différents facteurs, tels que :

- La présence de certains éléments chimiques en concentrations élevées qui conduisent tous à l'obstruction des pores de la membrane et à des dépôts calcaires sur la surface de la membrane
- Le colmatage induit par matières organiques dépend de l'absence d'étape de désinfection avec l'eau de javel, ce qui a créé le problème des biofilms et avec le temps les membranes vont se détruire en très peu de temps
- Le manque de la surveillance de contrôle

Pour cela nous proposons quelque solution pour résoudre ces problèmes :

- Le changement des membranes d'osmose inverse avec des nouvelles équivalentes ou meilleures
- Utilisation des produits chimiques spécifiques pour inhiber la croissance des biofilms et éliminer les dépôts existants
- Surveillance régulièrement l'état des membranes et des systèmes pour la détection tout début de colmatage
- Optimisation des conditions de fonctionnement, tels que la pression et le débit.

Conclusion :

Le chapitre présente l'utilisation d'un logiciel de conception et de simulation récent, le WAVE water treatment design. En comparant les résultats obtenus à partir de chacune des simulations réalisées avec le programme WAVE et les résultats du laboratoire central de Sider El-Hadjar

Nous avons aussi, discuté sur les problèmes affectant la fabrication et la qualité de l'eau produite dans la zone EST, en suggérant des solutions adaptées pour prévenir ces problèmes afin de garantir une production et une qualité optimales

Conclusion général

Conclusion général

D'après notre étude sur la qualité de l'eau déminéralisée dans la zone EST du complexe sidérurgique El-Hadjar à Annaba, nous avons utilisé le logiciel WAVE pour obtenir des résultats que nous avons ensuite comparés avec ceux du laboratoire central du complexe ainsi qu'avec la qualité d'eau demandé. Il en ressort que la qualité de l'eau simulée par le logiciel est conforme aux exigences de la zone EST, contrairement à celle obtenue par l'osmose inverse, qui ne correspond pas entièrement aux normes de qualité requises.

Les résultats montrent que $17 \text{ m}^3/\text{h}$ est le débit de perméat de la membrane d'osmose inverse, ce qui est considéré comme très faible par rapport au débit demandé. Le colmatage des membranes d'osmose inverse affecte la production et la qualité de l'eau et peut être causé par divers facteurs. Parmi ceux-ci, une concentration élevée de certains éléments chimiques, comme le fer, entraîne l'obstruction des pores de la membrane et la formation de dépôts calcaires à sa surface. De plus, un manque de surveillance et de contrôle, ainsi que la formation de biofilms induits par des matières organiques, contribuent également à ce problème.

Afin de résoudre cette problématique et garantir une production d'eau de haute qualité, nous avons proposé plusieurs solutions importantes sont les suivantes :

- ✓ Maintenir une surveillance régulière de l'état des membranes et des systèmes afin de repérer dès les premiers signes de colmatage.
- ✓ Améliorer les paramètres de fonctionnement, comme la pression et le flux.
- ✓ -Les membranes d'osmose inverse doivent être remplacées par de nouvelles, équivalentes ou de qualité supérieure.

Références bibliographique

Références bibliographique

- [1] K. chahra suivi de la qualité des eaux de la zone EST du complexe sidérurgique D'EL-HADJAR mémoire fin d'étude département : Génie des Procédés université badji Mokhtar Annaba2019.
- [2] <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/09/Bouziane->
- [3] <https://www.1h2o3.com/apprendre/traitement-physico-chimique/coagulation>
- [4]https://www.mt.com/be/fr/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ParticleProcessing/flocculation.html
- [5] <https://www.culligan.fr/conseils/qu-est-ce-que-la-decarbonatation/>
- [6]<https://www.1h2o3.com/apprendre/decantation/#:~:text=Dans%20le%20traitement%20de%20l,liquide%20o%C3%B9%20elles%20sont%20pr%C3%A9sentes>
- [7] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-a-les-principaux-procedes-de-traitement-physique/3-la-filtration-sur-sable.html#:~:text=Un%20filtre%20%C3%A0%20sable%20est,de%20l'eau%20%C3%A0%20traiter>
- [8] <https://pcawater.com/fr/technologies/filtration/filtre-a-sable>
- [9] <https://www.siva-unit.com/procedes/procedes-de-filtration-membranaires/filtration-tangentielle/ultrafiltration/>
- [10] <http://proc1esss.free.fr/Pages/VersionWeb.php?page=0440>
- [11] <https://fr.genesiswatertech.com/blog-post/pros-and-cons-of-different-types-of-ultrafiltration-technology-configurations/>
- [12] <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/14730/osmose-inverse>
- [13] <https://www.traitement-h2o.com/fonctionnement-systeme-osmose-inverse.html>
- [14]<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux>
- [15] <https://www.uthgroupe.ma/osmoseur/les-avantages-dosmose-inverse-purifier-leau/>
- [16] <https://www.osmoseur-optima.fr/fonctionnement-osmose-inverse>

- [17] P. REMISE, étude des rétro lavages assistés par l'air et contrôle du colmatage résiduel : application à la production d'eau potable en filtration frontale, Mémoire de doctorat, Université de Toulouse, 2006, (<http://eprint.insa-toulouse.fr>).
- [18] W. S. W. Ho, et T. Matsuura, *advanced membrane technologie and application*. 2008.
- [19] W.S. Winston Ho, *Membrane Herdbook*. Springer Science Business Media New York 1992.
- [20] M. Jaffrin , *Procédés de filtration membranaire*, 1^{ere} éditions, bookboon 2014.
- [21] W. Q. Association, "Technical application bulletin - Sélénium," *Signs (Chic)*., no. Octobre, 2005.
- [22]"MEMBRANES,transferts-Encyclopædia,Universalis."
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/membranes-transferts/>(accessed.2021).
- [23] R. W. Baker, "MEMBRANE TECHNOLOGY AND APPLICATIONS SECOND EDITION ohn Wiley & Sons, Ltd "
- [24] J. C. K. Wang, *Membrane and Desalination Technologies*. 2011.
- [25] T. Fatah, "Traitement de l'Eau de Forage par Osmose Inverse au Niveau du Complexe Agroalimentaire Cevital," 2012, [Online]. Available: [http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/9199/Traitement de l'eau de forage par osmose Inverse au niveau du complexe agroalimentaire Cevital.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.univ-bejaia.dz/dspace/bitstream/handle/123456789/9199/Traitement%20de%20l%27eau%20de%20forage%20par%20osmose%20inverse%20au%20niveau%20du%20complexe%20agroalimentaire%20Cevital.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [26] A. LACHHABE. (2004), « Comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de faibles concentrations en sel », Mémoire d'Ingénieur Etat en Hydraulique, Université ABOUBAKR BELKAID, TLEMCEN.
- [27] BENAÏSSA. F-Z, (2013), « Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres », Mémoire de MASTER en Technologies de Traitement des Eaux, Université ABOUBAKR BELKAÏD, TLEMCEN
- [28] D. BELGAÏD (2015), « Etude comparative sur le vieillissement de membranes d'osmose inverse exploitées sur sites industriels : Maïnis (Ténès), Céramit (Sidi Akkacha), Chlore (Mostaganem) », Mémoire de MAGISTER en Sciences de l'Eau et Développement Durable, Université HASSIBA BEN BOUALI, CHLEF.

[29] M. Gavach, « Détoxification de condensats de distillerie par osmose inverse échange d'ions et leur combinaison Application au recyclage en fermentation alcoolique », thèse de doctorat, 2010

[30] A. Maurel, « dessalement de l'eau de mer et des eaux de saumâtres : et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce », 2ème édition 2006.

[31] C. Sagne, « étude des mécanismes de transfert de molécules organiques en osmose inverse », thèse doctorat, institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement Agro Paris Tech, 2008.

[32] John Palmeri, Mehdi Metaiche, « dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres par osmose inverse et nanofiltration », MEDERC, 2009

[33] GLS OIEAU ACTIVITES 2006 SOUS L'ÉGIDE DE L'AMBASSADE DE FRANCE EN ALGERIE ; Formation A L'exploitation Et A La Maintenance Des Unites De Dessalement D'eau De Mer De L'algerienne Des Eaux.

[34] Liu Wen-jun , F. Hui, J. Lédion & Wu Xing-wu, « The influence of metal ion on the scaling in the mineral water tests », Ionics, 14 (2008)

[35] Chatkaew. Tansakul, « Procédés hybrides à membranes pour le Prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse », thèse doctorat, 2009.

[36] M.Metaiche, « technologie membranaire, faculté des sciences appliqués ,université de bouira , 2014

[37] Y.hadjali yassine, « Impact des stations de dessalement de l'Eau de mer sur le littoral cas de la Station Plage EL Hilel (AIN Témouchent) »these master ,université Abou Belkaid ,Tlemcen ,2012.

[38] J. Marc. B,Catherine J, « Les procédés membranaires pour les traitements de l'eau », document technique , Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la peche et des affaires rurales direction de l'espece rural et de la foret Direction de l'Espace Rural et de la Forêt ,France , 2002

[39] SAFEGE, 2003 ; « Étude général du dessalement de l'eau de mer » .tous les rapports de mission.

ANNEXE

ANNEXE

P.V d'analyse de laboratoire central d'analyse des eaux.

DEPARTEMENT : LABORATOIRES CENTRAUX
P.V. D'ANALYSES

Date de l'analyse : 17/03/2024, N°= 000600 Nature de l'analyse : analyse physico-chimique Laboratoire : Eaux
 : 18/03/2024, N°=000083
 : 19/03/2024, N°= 000084

Méthode employée : méthodes (volumétrique + électro métrique + photométrique)

DATE DE Réception	Unité	Circuits	TA	TAC	TH	Ca	Mg	Cl	PH	Na	k	TDS	MES	T °	SiO2 (mg/l)	Conductivité	HCO3	Turbidité	SO4 ²⁻
			°F	°F	°F	°F	°F	Mg/l		Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	µs/cm	Mg/l				
17/03/2024	Utilités	Eau industrielle	0	12.6	17.8	11.8	6.0	78	8.10			286	66	17.9		608			
		Osmose chaîne 1	0	0.6	0.6	0.4	0.2	10.6	7.05			11		17.9		23.1			
18/03/2024	Utilités	Eau industrielle	0	13.6	20.2	14.2	6	92.3	8			324	63	18.1		690			
		Osmose chaîne 1	0	0.6	0.6	0.4	0.2	7.1	7			11		19.3		22.9			
19/03/2024	Utilités	Eau industrielle	0	14.4	14.02	14	7.2	106.5	8			350	57	18.3		744			
		Osmose Chaîne 1 Chaîne 2	Hors service																

Nitto

Membrane Element

HYDRANAUTICS
Nitto Group Company

CPA5-LD
(Low Fouling Technology)

Performance:	Permeate Flow: 11,000 gpd (41.6 m ³ /d) Salt Rejection: 99.7% (99.6% minimum)
Type	Configuration: Low Fouling Spiral Wound Membrane Polymer: Composite Polyamide Membrane Active Area: 400 ft ² (37.1 m ²) Feed Spacer: 34 mil (0.864 mm) with biostatic agent
Application Data*	Maximum Applied Pressure: 600 psig (4.14 MPa) Maximum Chlorine Concentration: < 0.1 PPM Maximum Operating Temperature: 113 °F (45 °C) pH Range, Continuous (Cleaning): 2-11 (1-13) Maximum Feedwater Turbidity: 1.0 NTU Maximum Feedwater SDI (15 mins): 5.0 Maximum Feed Flow: 75 GPM (17.0 m ³ /h) Minimum Ratio of Concentrate to Permeate Flow for any Element: 5:1 Maximum Pressure Drop for Each Element: 15 psi

* The limitations shown here are for general use. For specific projects, operating at more conservative values may ensure the best performance and longest life of the membrane. See Hydranautics Technical Bulletins for more detail on operation limits, cleaning pH, and cleaning temperatures.

Test Conditions

The stated performance is initial (data taken after 30 minutes of operation), based on the following conditions:

- 1500 PPM NaCl solution
- 225 psi (1.55 MPa) Applied Pressure
- 77 °F (25 °C) Operating Temperature
- 15% Permeate Recovery
- 6.5 - 7.0 pH Range



A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)	Weight, lbs. (kg)
40.0 (1016)	7.89 (200)	1.125 (28.6)	33 (15)

Notes: Permeate flow for individual elements may vary ±15 percent. Membrane active area may vary ±4%. Element weights may vary. All membrane elements are supplied with a brine seal, end-connections, and O-rings. Elements are enclosed in a sealed polyethylene bag containing less than 1.0% sodium methanesulfonate solution, and then packaged in a cardboard box. Hydranautics believes the information and data contained herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics products for the user's specific uses.

LENNTECH
info@lenntech.com Tel. +31-152-610-900
www.lenntech.com Fax. +31-152-616-289

Fiche technique de la membrane CPA5-L

Fiche technique de la membrane ECO PRO 400



Product Data Sheet



FilmTec™ Eco Pro-400 Element

Description

Ideal for: reverse osmosis plant managers and operators dealing with challenging waters who are looking for a state-of-the-art solution to tackle tough CAPEX and OPEX challenges.

FilmTec™ Eco Pro-400:

- Offers high salt-rejection at low pressure
- Achieves reduction of the fouling impact by minimized pressure drop
- Delivers excellent silica, boron, nitrate, TOC and ammonium rejection
- Provides most effective cleaning performance, robustness and durability due to its widest cleaning pH range (1-13) and chemical tolerance and the support of DuPont technical representatives



Product Type

Spiral-wound element with polyamide thin-film composite membrane

Typical Properties

FilmTec™ Element	Active Area		Feed Spacer Thickness (mil)	Permeate Flow Rate		Typical Stabilized Salt Rejection (%)	Minimum Salt Rejection (%)
	(ft ²)	(m ²)		(GPD)	(m ³ /d)		
Eco Pro-400	400	37	34-LDP	11,500	43.5	99.7	99.4

1. Permeate flow and salt (NaCl) rejection based on the following standard test conditions: 2,000 ppm NaCl, 150 psi (10.3 bar), 77°F (25°C), pH 8, 15% recovery.
2. Flow rates for individual elements may vary but will be no more than ±15%.
3. Stabilized salt rejection is generally achieved within 24-48 hours of continuous use, depending upon feedwater characteristics and operating conditions.
4. Sales specifications may vary as design revisions take place.
5. Active area guaranteed ± 3%. Active area as stated by DuPont Water Solutions is not comparable to nominal membrane area often stated by some manufacturers.