

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Badji Mokhtar-Annaba
Badji Mokhtar- Annaba UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénierie

Département : Génie des procédés

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Étude et diagnostique de l'eau industrielle de SIDER
-Annaba, utilisant WAVE logiciel de simulation de
traitement des eaux**

Présenté par :

HANNACHI Chahinez

BENOUHIBA Lina

Encadrant : Mr. Lachgar Grade : MCA, Université : Badji Mokhtar-Annaba

Jury de Soutenance:

<i>Pr. kherrat</i>	<i>Pr</i>	<i>UBMA</i>	<i>Président</i>
<i>Mr. Lachgar</i>	<i>MCA</i>	<i>UBMA</i>	<i>Encadrant</i>
<i>M. Hmouche</i>	<i>MAA</i>	<i>UBMA</i>	<i>Examineur</i>

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu qui nous a donné la force et la patience pour terminer nos études

*Nous tenons à remercier notre encadreur **Ms. Lachgar** 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 chimique

*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

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.

*Surtout à mon défunt père **ABD ALLHAK** qui a toujours souhaité me voir à ce niveau et qui m'a toujours soutenu, m'a donné espoir et m'a encouragé,*

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

*A mes frères et ma sœur « **Houssam, Khair-Eddine et Bassma** » qui ont*

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 tous mes amis « **Chaïma, Lyna** » qui m'ont toujours*

encouragé et à qui je souhaite plus de succès.

Chahinez Hannachi

Dédicaces

À mes très chers parents, ce travail représente l'aboutissement du leur soutien qu'ils prodigués tout au long de ma scolarité, mes remerciements ne pourront jamais égaler leur amour, encouragements et sacrifices

*À mes sœurs et mon frère : **Dounia, Aida et Mohamed***

*À mes chères amies et mon amie intime **Houda***

*À **Chahinez**, pour son implication dans ce travail,*

A tous les gens qui m'aiment

*Et à mon chat d'amour **OREO***

Lina Benbouhia

Résumé :

Ce mémoire se concentre sur l'étude des techniques de traitement de l'eau utilisées dans la zone EST de Sider El Hadjar. Plus spécifiquement, Il se penche sur l'efficacité de la membrane d'osmose inverse dans ce processus de traitement.

Dans un premier temps, une revue approfondie de la littérature est réalisée pour comprendre les principes fondamentaux de l'osmose inverse et son application dans le traitement de l'eau. Les avantages et les limitations de cette technologie sont également examinés.

Ensuite, une étude pratique est menée en utilisant le logiciel WAVE pour simuler le processus de traitement de l'eau dans la zone EST de Sider El Hadjar. Les données de l'analyse réelle de laboratoire de la centrale de SIDER EL HADJAR sont comparées aux résultats obtenus par la simulation.

Les résultats de la simulation mettent en évidence un problème significatif dans les membranes d'osmose inverse actuelles. Des paramètres tels que le débit d'eau osmosée sortant et d'autres indicateurs de performance montrent une dégradation de l'efficacité de la membrane.

Cela indique clairement la nécessité de la remplacer par une nouvelle membrane ou une membrane équivalente comme celle utilisée dans la simulation, qui a démontré de meilleurs résultats.

Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1

Chapitre I: présentation de l'entreprise

Introduction:.....	5
I.1 Historique de l'entreprise :	5
I.2 Situation géographique :	6
I.3 Les unités de production du complexe d'El-Hadjar :	7
I.3.1 Zone chaude :	7
I.3.2 Zone produits plats :	8
I.3.3 Zone produits longs :	8
I.4 Organisme de l'entreprise :	9
I.5 Présentation de département fluide :	11
I.6 La zone EST :	13
I.7 Cycle d'eau dans l'entreprise :	14
I.7.1 L'eau brute :	14
I.7.2 L'eau industrielle :	15
I.7.3 L'eau ultrafiltrée :	15
I.7.4 L'eau déminéralisée :	15
Conclusion:	15

Chapitre II: Les procédés de traitement de l'eau dans la zone EST

Introduction :	18
II.1. Alimentation en eau brut :	18
II.2. Prétraitement de l'eau brut :	18
II.2.1 le dégrillage et le tamisage :	18

II.2.2 le dessablage :	20
II.2.3 le déshuilage et le dégraissage :	20
II.3. Production de l'eau industrielle dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar :	21
II.3.1 : la coagulation :	21
II.3.2. la floculation :	22
II.3.3. Décarbonations à la chaux :	23
II.3.4. Décantation :	25
II.3.5. Filtration à sable :	26
II.4. Production d'eau déminéralisée dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar :	28
II.4.1 définitions d'ultrafiltration :	28
II.4.2. L'osmose inverse :	29
Conclusion :	32

Chapitre III: Séparation membranaire

Introduction :	34
III.1. Définition du processus de séparation membranaire :	34
III.2. Définition de la membrane :	34
III.3. Les Caractéristiques des membranes :	35
III.3.1. Le seuil de coupure :	35
III.3.2. La pression transmembranaire (PTM) :	35
III.3.3. Flux de perméation :	35
III.3.4 La perméabilité :	35
III.3.5. Résistance hydraulique :	36
III.3.6. La sélectivité :	36
III.3.7 Le taux de conversion :	37
III.4. les caractéristiques des membranes utilisée dans la zone EST :	37
III.4.1. Membrane d'ultrafiltration :	37
III.4.2. Membrane d'osmose inverse :	38
III.5 : Le nettoyage de membrane :	40
III.5.1 : Le nettoyage contre lavage (flush)	40
III.5.2 : Le nettoyage contre lavage chimique (Chemically Enhanced Backwash, CEB)	40
III.5.3 : Le nettoyage en place (cleaning in place, CIP)	40

Conclusion :	41
--------------	----

Chapitre IV: Partie Expérimentale

Introduction :	43
----------------	----

PARTIE A : Description du logiciel WAVE Software	43
--	----

IV.A.1. Présentation de logiciel WAVE :	43
---	----

IV.A.2. Les avantages du logiciel :	43
-------------------------------------	----

IV.A.3. Les étapes de simulation par logiciel WAVE software :	44
---	----

PARTIE B : Résultats et discussions	51
---	----

IV.B.1. Ultrafiltration :	51
---------------------------	----

IV.B.1.3. Cout des services et produits chimique utilise dans l'unité d'ultrafiltration :	52
---	----

IV.B.2. Osmose inverse :	54
--------------------------	----

IV.B.2.2. Cout des services et produits chimique utilise dans l'unité d'osmose inverse.....	55
---	----

Conclusion :	59
--------------	----

Conclusion générale :	61
-----------------------	----

Reference Bibliographique :	63
-----------------------------	----

Annexe

Liste des figures

Figure I.1	Logo du complexe Sider El-Hadjar	6
Figure I.2	Situation du complexe Sidérurgique d'El-Hadjar	7
Figure I.3	Processus de la production de Sider El-Hadjar	9
Figure I.4	Organigramme d'installation et produits de l'entreprise	10
Figure I.5	Organisme de l'entreprise	11
Figure I.6	Organisation de la division fluide	12
Figure I.7	Chaudière BABCOCK	13
Figure I.8	Compresseur ATLAS COPCO à trois étages	13
Figure I.9	Cycle d'eau dans Sider	14
Figure II.1	Le dégrilleur	19
Figure II.2	Un tamis a tambour rotatif pour les eaux usées	20
Figure II.3	Fonctionnement de la STEP	21
Figure II.4	Le bac de coagulant (Fe Cl ₃)	22
Figure II.5	Bac à flocculent	23
Figure II.6	Processus de coagulation, floculation et de sédimentation	23
Figure II.7	Bac de la chaux	25
Figure II.8	Le décanteur	25
Figure II.9	Le Filtration à sable	26
Figure II.10	La salle de traitement	27
Figure II.11	Les étapes de la production de l'eau industrielle au niveau de la zone EST	27
Figure II.12	L'installation d'ultrafiltration	29
Figure II.13	Procédé de l'osmose inverse	30
Figure II.14	Séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane	30
Figure II.15	L'installation de l'osmose inverse dans la zone EST	31

Figure III.1	Schéma d'une membrane de séparation	34
Figure III.2	Membrane UF Module Dizzer XL 0,9 MB 70 WT	37
Figure III.3	Membrane d'osmose inverse model CPA5-LD	38
Figure IV.1	Spécification des informations utilisateur	44
Figure IV.2	Sélection de la bibliothèque de produits chimiques pour spécifier les produits	45
Figure IV.3	Spécification des coûts d'exploitation	46
Figure IV.4	Déposez l'icône d'UF et RO et spécification de flux d'alimentation et type d'eau	47
Figure IV.5	Saisie de la composition spécifique de l'aliment UF	48
Figure IV.6	Fenêtre de conception d'UF	49
Figure IV.7	Fenêtre de conception d'RO	50
Figure IV.8	Fenêtre de rapport récapitulatif	51
Figure IV.9	Conception UF	51
Figure IV.10	Diagramme de flux du système RO	52

Liste des tableaux

Tableau III.1	Caractéristiques de la membrane ultrafiltration	38
Tableau III.2	Caractéristique de la membrane d'osmose inverse	39
Tableau IV.1	Qualité de l'eau UF	52
Tableau IV.2	Cout de service de l'eau	53
Tableau IV.3	Cout de l'électricité et des pompes hydrauliques	53
Tableau IV.4	Cout des produits chimiques	53
Tableau IV.5	Informations sur le flux RO	54
Tableau IV.6	Concentrations de soluté RO- passe 1	55
Tableau IV.7	Concentrations de soluté RO- passe 2	55
Tableau IV.8	Cout de Service de l'eau	56
Tableau IV.9	Cout de l'électricité	56
Tableau IV.10	Cout des pompes	56
Tableau IV.11	Cout des produits chimique	56
Tableau IV.12	Comparaison entre les qualités d'eau	57

Liste des abréviations

UF : Ultrafiltration

RO : Osmose inverse

SBS : Société bônoise de sidérurgie

SNS : Société nationale de sidérurgie

TSS : Tuberie sans soudure

LNM : Lakshmi Niwas Mittal

AMA : Arcelor Mittal Algérie

PMA : Préparation des matières et agglomération

HF1 : Hauts fourneau n°1

HF2 : Hauts fourneau n°2

ACO1 : Acière à oxygène pour brames

ACO2 : Acière à oxygène pour billettes

ACE : Aciérie électrique

LAC : le laminoir a chaude

LAF : le laminoir à froid

PDE : Poste de distribution électrique

RPA : Règlement parasismique Algérien

LFR : l'unité a fil et rond

COX : Centrale à oxygène

AMM : Ateliers maintenance magrébins

ATC : Ateliers de construction

MCM : Maintenance Centrale Mécanique

TUS : Tubes spiral

LRB : Laminoir rond abbéton

ADE : L'algérienne des eaux

STEP : Station de traitement des eaux usées

TAC : Titre alcalimétrique complet

TA : Titre alcalimétrique

TH: Titre hydrotimétrique

CEB: chemically Enhanced Backwash

CIP: cleaning in place

TDS: Total dissolved solids

TOC: Total suspended solids

SDI: Silt density index

Introduction Générale

Introduction générale

L'eau est provient des cours d'eau, des lacs et des océans de la Terre et le majeur constituant des fluides de la plupart des êtres vivants. Elle est vitale pour toutes les formes de vie connues et joue un rôle essentiel dans de nombreux processus industriels. Cependant, sa pureté est nécessaire pour éviter toute nuisance sur les machines et les produits et pour assurer le bon fonctionnement des différents procédés industriels.

Par conséquent, il est important de s'assurer que l'eau utilisée est de haute qualité et exempte de polluants. Pour y parvenir, de nombreux procédés de traitement différents sont utilisés. Certains processus impliquent l'utilisation d'une membrane semi-perméable pour séparer les contaminants de l'eau. Il existe plusieurs types de procédés membranaires, dont l'ultrafiltration et l'osmose inverse.

L'ultrafiltration est un procédé à membrane couramment utilisé pour éliminer les solides en suspension et les bactéries de l'eau. Quant à l'osmose inverse c'est une méthode courante qui a pour but d'éliminer les sels et minéraux dissous de l'eau. Afin de produire une eau déminéralisée.

Au niveau du complexe Sider El-Hadjar, plus précisément dans la zone EST, de nombreux problèmes liés à la performance de l'osmose inverse ont été identifiés dans le processus de traitement de l'eau déminéralisée.

Sur la base de ces résultats, nous avons effectué une étude pour trouver la raison de la mauvaise performance de l'osmose inverse, qui a affecté la production de perméat et sa qualité dans la zone EST, en utilisant un nouveau programme de conception et de simulation, qui est Water Application Value Engine (WAVE) de Dupont. Ce logiciel permet aux ingénieurs de simuler différents processus de traitement de l'eau et de prévoir leurs performances dans différentes conditions de fonctionnement. En saisissant des données sur la composition de l'eau d'alimentation et les conditions de fonctionnement, les ingénieurs peuvent simuler le processus de traitement et prédire l'efficacité d'élimination de chaque contaminant. Et s'assurer que l'eau traitée respecte les normes requises pour un usage industriel. Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus par ce programme et les résultats du laboratoire central d'analyse des eaux du complexe El-Hadjar.

Notre mémoire est constitué de quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une vue globale sur le complexe sidérurgique d'El-Hadjar, avec une description du département fluide et précisément de la zone EST qui était notre lieu de stage.

Le deuxième chapitre on va expliquer les différents procédés pour le traitement des eaux dans le complexe sidérurgique d'El-Hadjar et précisément dans la zone EST.

Le troisième chapitre s'intéresse aux généralités des procédés de séparation membranaire et on va donner les caractéristiques des deux membranes nécessaires utilisés dans le complexe d'El-Hadjar qui sont la membrane d'ultrafiltration et la membrane d'osmose inverse.

Le quatrième chapitre Concernant la partie expérimentale où on va présenter un nouveau logiciel de conception et de simulation du fonctionnement des systèmes de traitement d'eau

utilisant les technologies de composants UF, RO qui est Water Application Value Engine (WAVE). Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus par ce logiciel avec ceux de laboratoire central d'analyse des eaux.

Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus sans oublier les citations des références bibliographiques et les annexes, qui nous ont aidées à élucider notre étude.

Partie Théorique

Chapitre I

INTRODUCTION :

Pendant le développement économique mondial, l'Algérie a investi dans plusieurs domaines à savoir, parmi lesquels les activités sidérurgiques, qui ont eu une place très importante dans l'industrie du pays, concrétisé par le complexe d'El Hadjar en 1969. [1]

Dans ce chapitre on va présenter ce complexe sidérurgique d'El-Hadjar qui est le symbole de l'industrie lourde et la base de la sidérurgie dans le pays ainsi que son organisme, avec une description du département fluide et précisément de la zone Est qui était notre espace de visite.

I.1 Historique de l'entreprise :

Le projet de construction d'une usine sidérurgique était prévu dans le plan de Constantine en 1958 où la société bônoise de sidérurgie (SBS) a été créée afin de réaliser un haut fourneau ainsi que ses annexes. [2]

La Société nationale de sidérurgie (SNC), a été créée le 3 septembre 1964 avec pour mission de mettre sur pied le complexe d'El-Hadjar, inauguré effectivement le 19 juin 1969 dans la commune de Sidi Amar, wilaya d'Annaba, par l'ancien président Houari Boumediene (1932-1978). [1]

À la fin de 1978, le projet d'expansion a été achevé, qui comprend les différentes unités situées au niveau du complexe, et s'est terminé par l'élaboration du plan administratif pour l'entretien, à la suite duquel des milliers de jeunes ont été employés, en particulier les diplômés des trois centres de formation de la Société nationale sidérurgique, conformément à la politique d'emploi poursuivie à l'époque. Et le nombre de travailleurs a atteint 27 700 travailleurs au niveau du territoire national, où la production a atteint 700 mille tonnes d'acier liquide, pour passer en 5 ans à 1985, 1,5 million de tonnes par an. Le plus grand résultat enregistré dans l'histoire du complexe en raison de la disponibilité de toutes les possibilités, y compris l'assistance technique aux collaborateurs étrangers.

La production a ensuite fortement chuté au cours des trois années suivantes, atteignant 700 mille tonnes en 1988 en raison de la baisse de l'assistance technique aux étrangers dont les contrats arrivaient à expiration, et de l'impact de la crise économique en Algérie en 1986.

À cette époque, le complexe a connu une phase d'instabilité en raison des conditions professionnelles difficiles subies par les travailleurs et des menaces de grève du syndicat, ce qui a eu un impact significatif sur la décision de restructurer l'institution, où « CEDAR » est devenu une institution actionnariale avec une loi fondamentale avec deux filiales, « Coprésidence » et « TSS », qui contiennent chacune 6000 travailleurs et 22000 travailleurs pour la société mère « CEDAR ». La production au cours de cette période est restée entre 700 mille et 900 mille tonnes par an. [3]

En 1995, l'entreprise nationale Sider devienne Groupe Sider pour passer ensuite d'une entreprise administrée à une entreprise publique économique avec un plan de redressement en 1999 donnant naissance à 25 entreprises industrielles autonomes (filiales). [2]

Le 18 octobre 2001, un contrat de partenariat a été signé entre Sider et le groupe indien LNM a donné naissance à « ISPAT ANNABA », ce qui a permis à LNM de détenir 70% du capital du complexe d'El-Hadjar. La société a ensuite décidé de changer de dénomination en « MITTAL STEEL ANNABA », en décembre 2004. [4]

En 2007, le groupe s'est constitué, en plus de MITTAL, d'une entreprise internationale française dite ARCELOR. [5]

En 2013, le gouvernement a décidé de reprendre le contrôle, le groupe public Sider augmente sa participation dans AMA de 30% à 51%. [2]

En 2016 l'Etat décide de mettre fin à ce partenariat et d'acquérir l'intégralité du capital du complexe qui redevient une entreprise publique relevant du groupe industriel public Sider dénommée Sider El-Hadjar en 2017. [3]

A cette fin, le complexe Sider El-Hadjar connaît encore plusieurs crises notamment l'approvisionnement en fer brut et des problèmes liée à l'approvisionnement en eau, sans oublier les opérations de corruption et de sabotage, qui a fait que le complexe a connu des difficultés financières qui ne lui ont même pas permis d'acheter des pièces de rechange, ou de renouveler certaines anciennes unités.



Figure I.1 : logo du complexe Sider El-Hadjar

I.2 Situation géographique :

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar est le plus grand complexe industriel en Afrique, qui a pour mission de transformer le minerai de fer et de fabriquer les divers produits sidérurgiques.

Il est situé à 15 Km de la ville d'Annaba dans la commune de Sidi Amar, et occupe une superficie de 832 Ha, dont (300Ha) affectés aux ateliers de production sidérurgiques, (300Ha) affecté aux stockages et (200Ha) aux voies de communication et les surfaces des services.

L'usine dispose de ses propres installations maritimes reliées au réseau ferroviaire pour le transport des matières premières et les expéditions des produits finis.

Sider El-Hadjar dispose d'un réseau commercial composé de 7 points de vente à travers le territoire nationale.

Le complexe est équipé de 3 centrales thermiques, 4 centrales d'oxygène et 3 usines à eaux pour répondre aux besoins énergétiques et en fluide.

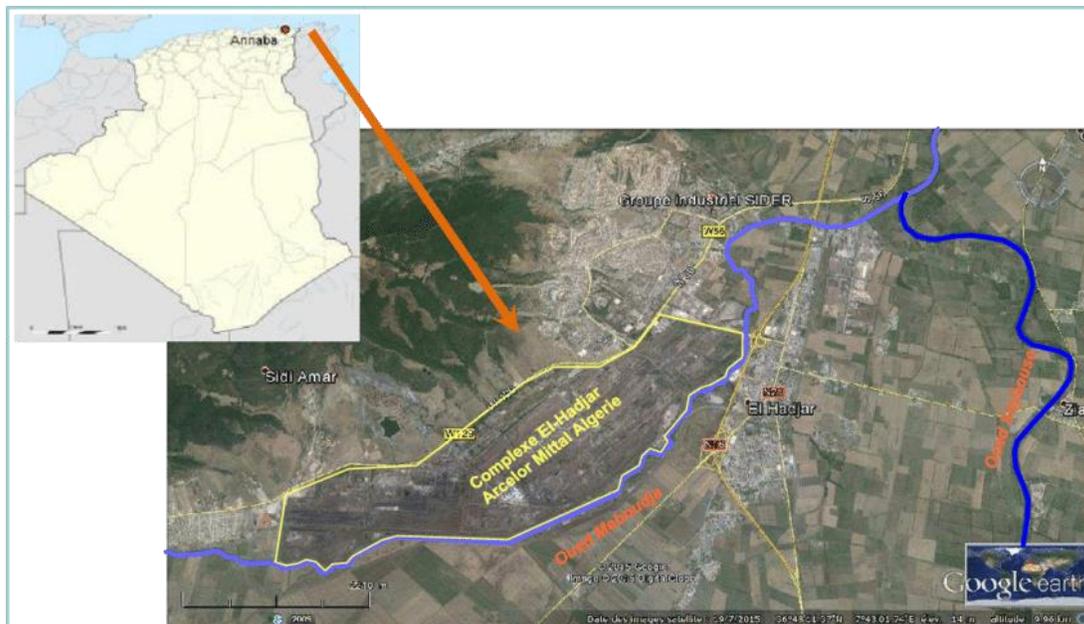


Figure I.2 : Situation du complexe Sidérurgique d'El-Hadjar

I.3 Les unités de production du complexe d'El-Hadjar :

Le complexe d'El-Hadjar est constitué de trois zones, zone chaude, zone produits plats et zone produits long. Chaque zone est constituée de plusieurs unités

I.3.1 Zone chaude :

I.3.1.1 L'unité PMA : L'ensemble des installations regroupées dans cette division sous le sigle PMA (Préparation des Matières et Agglomération) comprend trois principaux secteurs à savoir :

- ❖ **Secteur minéral :** Le rôle est identique au précédent en ce qui concerne le minéral acheminé par wagons des mines de Boukhadra et d'Ouenza à la station de déchargement. [6]

- ❖ **Secteur coke :** et additions Il réceptionne, stocke, traite et achemine les combustibles et les additions nécessaires au fonctionnement des hauts fourneaux et des agglomérations. [7]
- ❖ **Secteur agglomération :** A pour but, sous une haute température de la haute d'allumage (1200-1300 °C), de faire le traitement thermique du mélange (minerai + additions) afin d'obtenir l'aggloméré qui alimente le haut fourneau.

Il existe deux agglomérations, l'agglomération n°1 d'une capacité de 770 000 tonnes par an et l'agglomération n°2 d'une capacité de 2 800 000 tonnes par an. [8]

I.3.1.2 L'unité HF1, HF2 : Le complexe est composé initialement de deux hauts fourneaux (HF1) et (HF2) mais, à partir de 2009, le haut fourneau n°1 reste inexploité jusqu'à son démantèlement qui débute en 2020, leur principale fonction est la production de la fonte liquide. [9]

I.3.1.3 L'unité ACO1, ACO2 : Le complexe est composé de deux aciéries à oxygène ACO1 (Acière à oxygène pour brames) et ACO2 (Acière a oxygène pour billettes) ; la fonte en provenance des hauts fourneaux est transformée en acier liquide. Chaque aciérie est divisée en deux sections : le convertisseur, où la fonte est traitée et transformée en acier liquide et la coulée continue, où l'acier liquide est solidifié en brames. [10]

I.3.1.4 L'unité ACE : l'aciérie électrique a été conçue initialement pour alimenter la tuberie sans soudure en lingots, en plus de la production de lingots, l'ACE s'est doté pour produire des billettes et des blooms. [10]

I.3.2 Zone produits plats :

I.3.2.1 L'unité LAC : le laminoir à chaud est mis en service en 1972, cette installation a pour but de transformer les brames produites par l'aciérie à oxygène n°1, en bobines. Sa production est destinée à 50% à l'alimentation du laminoir à froid, le reste sert à l'industrie de transformation (tubes, tôles noires, bouteilles à gaz...). [11]

I.3.2.2 L'unité LAF : le laminoir à froid reçoit les bobines du LAC pour décalaminage mécanique et chimique, planéité et cisailage des rives. Ce procédé est appelé décapage, ensuite dans les laminoirs tandems, les bobines décapées sont laminées jusqu'à l'obtention de l'épaisseur souhaitée, enfin dans une ligne de recuit continue qui est équipé d'un skin-pass, une opération d'écrouissage est effectuée sur la bande d'acier qui lui donne l'élongation, la rugosité et la planéité selon l'exigence du client. [12]

I.3.2.3 L'unité RPA : la ligne de galvanisation à chaud, est mise en service en 1980. Son rôle est de protéger l'acier contre la corrosion en déposant une fine couche de zinc sur la tôle d'acier. [13]

I.3.3 Zone produits longs :

I.3.3.1 L'unité LFR : l'unité a fil et rond produit de fil machine et du rond à béton nervuré à partir des billettes fournies par l'aciérie à oxygène n°2 ou par l'aciérie électrique. [13]

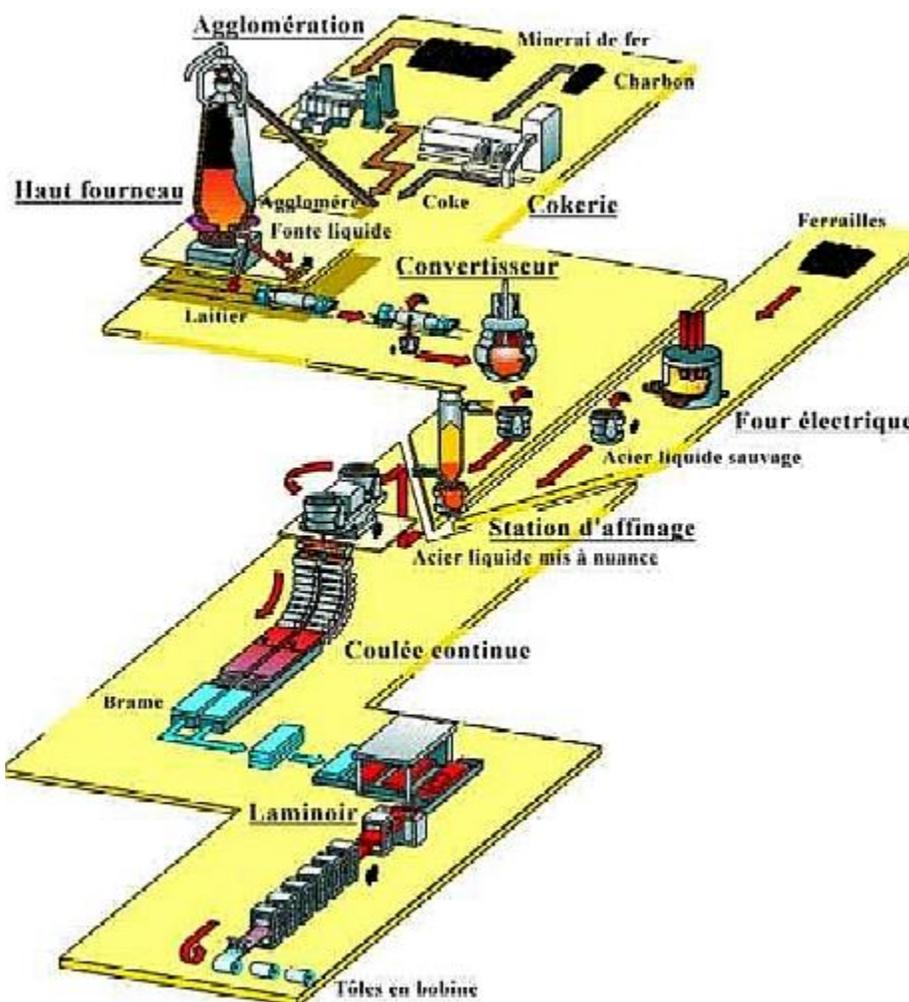


Figure I.3 : Processus de la production de Sider El-Hadjar

Le complexe d'El-Hadjar se compose d'autres unités qui sont des unités de support et logistique : COX, PDE, FLUIDES, AMM, ATC, MCM.

I.4 Organisme de l'entreprise :

En juin 1969, les premières unités de production de coulée de fonte sont implantées dans le haut fourneau et la production des matières. Des hauts fours de coulée, et des unités de laminage à froid et à chaud ont été développés.

Le complexe peut fabriquer des produits sidérurgiques finis et semi -finis pour le marché national et international comme : brames, billettes, lingots, fil machine et ronds à béton. [1]

L'organigramme ci-dessous représente l'organisation des différentes installations ainsi que leurs produits finis avec les principaux utilisateurs

Le complexe est constitué de 7 directions dont la plus importante est la direction des productions qui assure un directeur sur plusieurs unités de production quant à leur fonctionnement et stratégies adoptées.

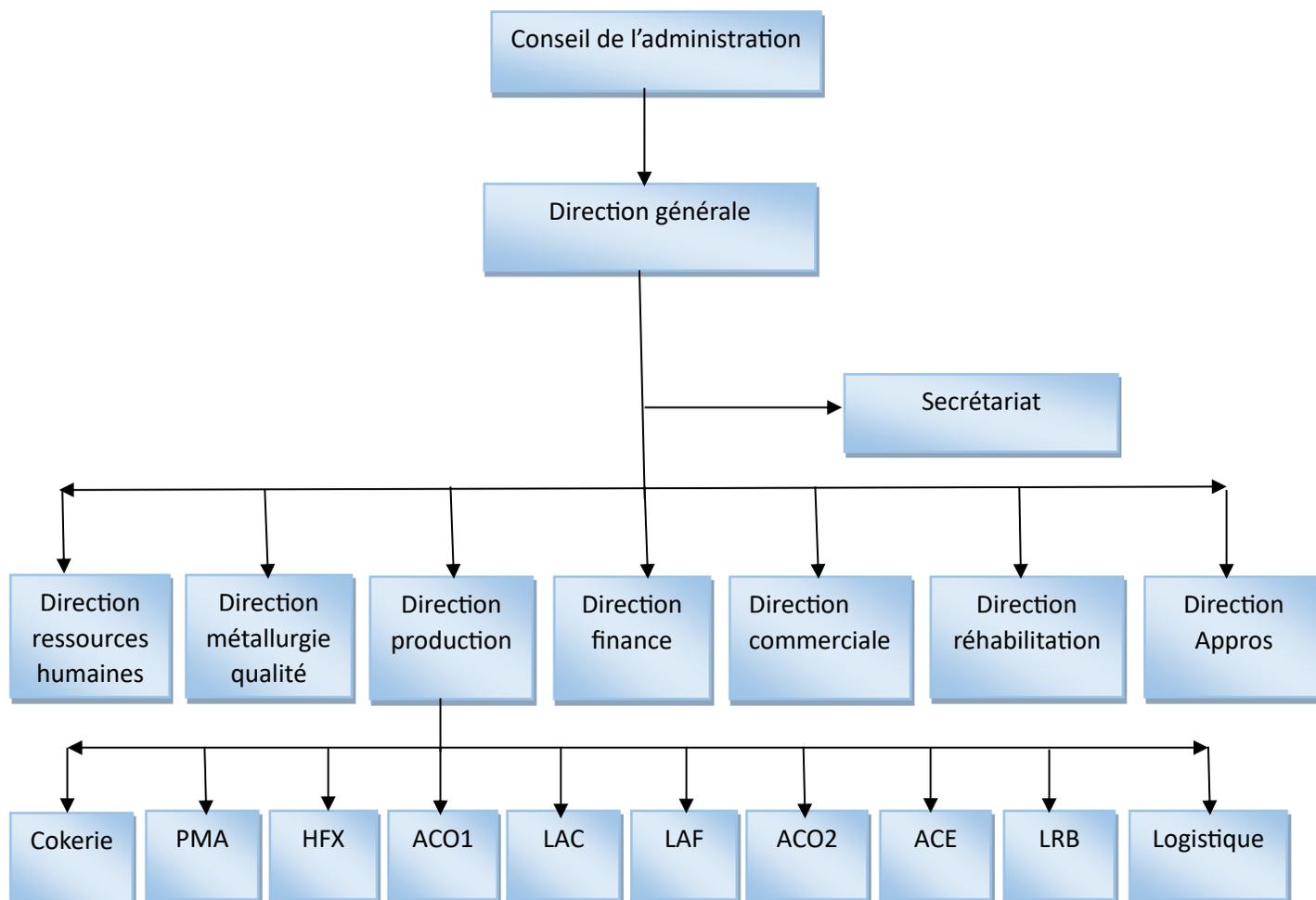


Figure I.5 : organisme de l'entreprise

I.5 Présentation de département fluide :

La Division des fluides fait partie de la Direction des énergies et fluides, elle constitue les Artères du complexe Sider El-Hadjar et s'occupe de la production et distributions des utilités nécessaires aux unités de productions à savoir : [14]

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

- ✓ Eau Adoucie
- ✓ Eau Déminéralisée
- ✓ Eau Potable
- ✓ Eau Épurée
- ✓ Gaz Naturel

Cette division comprend quatre secteurs :

- ✓ Le dispatching fluide
- ✓ La zone ouest
- ✓ La zone EST
- ✓ La station d'épuration est actuellement à l'arrêt en raison de la détérioration des équipements (l'installation devenu inutilisable)

L'organigramme suivant montre l'organisation des différents équipements de la division fluides :

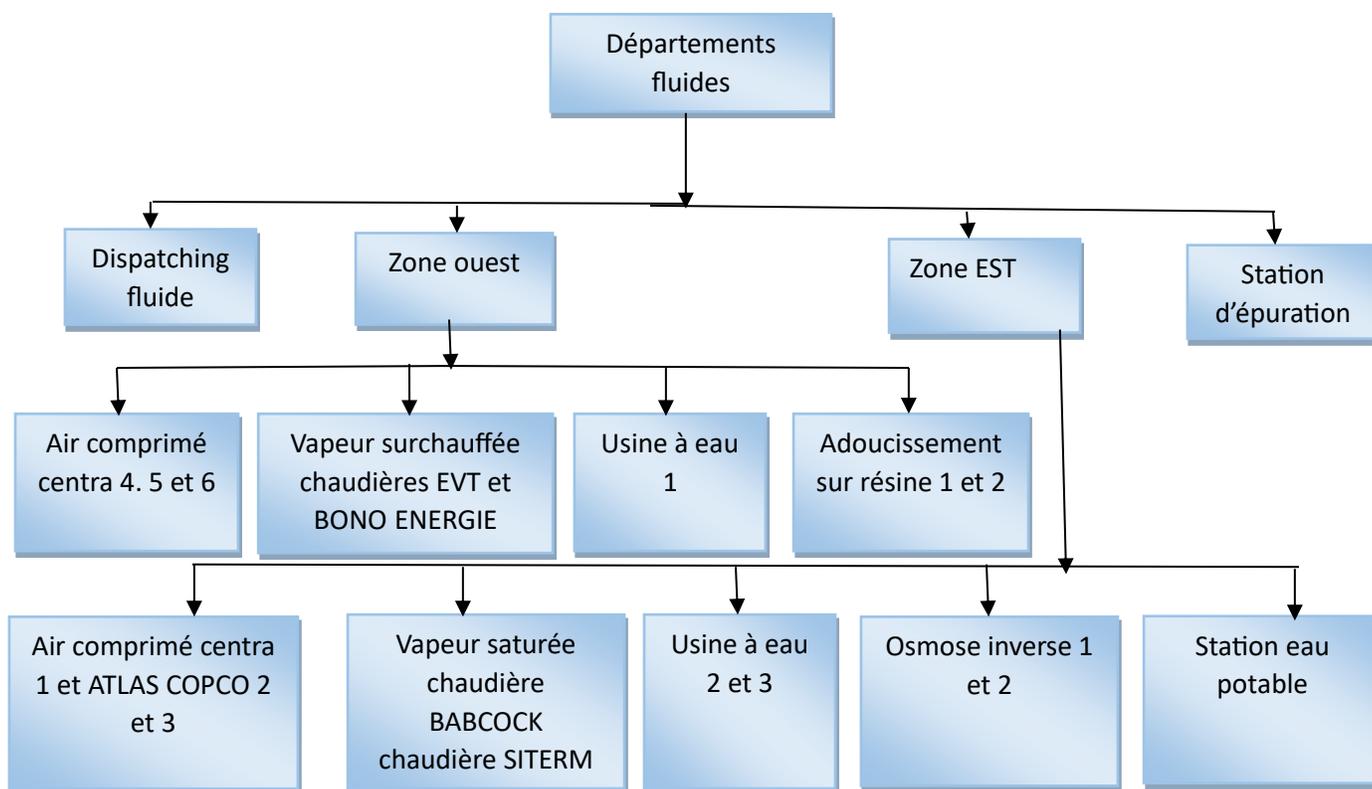


Figure I.6 : Organisation de la division fluide

I.6 La zone EST :

La zone EST du département des fluides est considérée comme l'un des secteurs de base les plus importants pour la croissance de la production du complexe car elle travaille à traiter une grande quantité d'eau qui sert à alimenter les différents secteurs du complexe, [13]

- La production de vapeur saturée à partir des chaudières, où cette dernière est utilisée dans toutes zones du complexe.

Il existe deux types de chaudières dans la zone EST :

- ✓ Chaudière de marque BABCOCK
- ✓ Chaudière de marque SITERM



Figure I.7 : chaudière BABCOCK

- La production de l'air comprimé par le compresseur ATLAS COPCO à trois étages à refroidissement par eau.



Figure I.8 : compresseur ATLAS COPCO à trois étages

- Dans le service de division fluide il y'a une station de transformation de l'eau brute en eau potable.

Et pour compléter le processus de filtrage, nous utilisons certains produits chimiques :

- ✓ La javelle
- ✓ La chaux
- ✓ Sulfate d'aluminium
- La production de l'eau déminéralisée par osmose inverse est un système de filtration très fin qui ne laisse passer que les particules d'eau.

Il existe dans la zone EST deux osmose inverse :

- ✓ Sortie chaine 1
- ✓ Sortie chaine 2

La zone EST s'appuie également sur les méthodes et les techniques anciennes en utilisant un décanteur, un filtre, etc... Par rapport à la zone Ouest, elle s'appuie sur des techniques modernes.

I.7 Cycle d'eau dans l'entreprise :

L'utilisation d'eau est au cœur de nombreux processus industriels. Elle peut participer au processus industriel proprement dit, être utilisée pour le lavage et l'évacuation des déchets, pour le refroidissement des installations ou pour faire fonctionner les chaudières. [15]

Le cycle de l'eau se déroule dans le Sider, de la source (l'algérienne des eaux, qui provient du barrage de CHEFFIA) à la production d'une eau de grande pureté en passant par plusieurs étapes de traitement de l'eau brute.

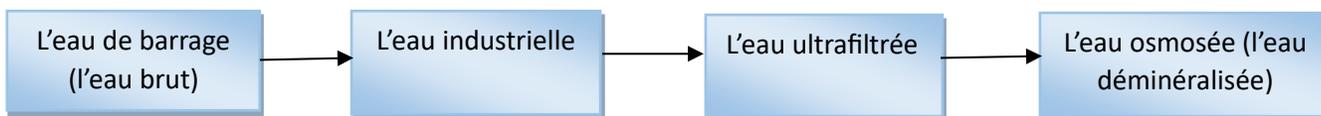


Figure I.9 : Cycle d'eau dans Sider

I.7.1 L'eau brute :

Le terme eau brute désigne une eau qui n'a subi aucun traitement qui contient tous les minéraux, ions, molécules, bactéries ou parasite.

L'eau brute comprend l'eau de pluie, l'eau souterraine, l'eau des puits d'infiltration et l'eau des réservoirs tels que les lacs et les rivières. Il peut alimenter une station de production de l'eau potable. [16]

L'eau brute peut être utilisée à de nombreuses fins, telles qu'eau de refroidissement, eau de rinçage, production chimique, eau purifiée et eau potable. Cependant, en raison des contaminants possibles, l'eau brute doit être traitée avant d'être autorisée pour la consommation humaine ou pour certains autres usages industriels. [17]

I.7.2 L'eau industrielle :

Les eaux industrielles désignent les eaux résiduaires provenant de diverses utilisations industrielles. Les propriétés de cette eau sont très variables et directement liées au type d'industrie. Selon ses caractéristiques, il peut être envoyé au réseau d'eau ou d'assainissement. [18]

Lorsque de l'eau industrielle est utilisée dans le processus de production, des matériaux indésirables peuvent avoir un impact négatif sur la qualité du produit. Si de l'eau est utilisée dans les processus de production, les impuretés peuvent affecter directement la qualité du produit et provoquer des tartres et de la corrosion. [19]

I.7.3 L'eau ultrafiltrée :

L'eau ultrafiltrée est une eau hautement traitée physiquement avec une haute résistance. Elle est filtrée par ultrafiltration qui est un processus dans lequel l'eau est passée à haute pression à travers une membrane. L'eau ultra-purifiée est totalement exempte d'impuretés, de virus et de bactéries. [20]

Il est couramment utilisé dans les industries pharmaceutiques, des semi-conducteurs, etc.

L'eau ultrafiltrée est utilisée comme prétraitement par osmose inverse et traitement final de l'eau ultrafiltrée dans le processus de brassage. [21]

I.7.4 L'eau déminéralisée :

L'eau déminéralisée est une eau qui a été filtrée à travers un système d'osmose inverse. L'eau passe à travers plusieurs filtres avant de passer à travers une membrane osmotique qui ne laisse passer que les molécules d'eau et les plus petits minéraux (calcium et magnésium). Le pourcentage de ces minéraux est très faible. De plus, il est non conducteur et n'est pas potable. On l'appelle aussi eau déionisée (mais il reste des traces d'ions). [22]

L'eau déminéralisée est spécialement conçue pour alimenter la chaudière, on peut donc compter sur elle pour protéger les véhicules du l'unité chaudière et éviter les dysfonctionnements des canalisations dus aux polluants présents dans l'eau d'alimentation (éviter l'entartrage, la corrosion et le pelage) .Protection des systèmes de traitement des eaux des tours de refroidissement. [19]

Conclusion :

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar représente l'une des plus grandes réalisations économiques de l'Algérie. Depuis des décennies, les produits des unités de production du complexe ont largement contribué à l'émergence de l'industrie algérienne et à l'édification d'une infrastructure nationale très solide.

La continuité de la production nécessite toujours une utilisation abondante de l'eau, le secteur principal de cette continuité est la zone EST pour la division des liquides car elle traite une grande et importante quantité d'eau.

Chapitre II

Introduction :

L'eau est une ressource vitale dans de nombreux secteurs, et son importance est particulièrement cruciale dans l'industrie du complexe sidérurgique El-Hadjar. Ce complexe, joue un rôle essentiel dans l'économie et dans la production d'acier en Algérie [23]. Cependant, les processus industriels impliqués dans la production d'acier nécessitent une quantité significative d'eau. Cette dernière est principalement utilisée pour le refroidissement des équipements et des machines avec une quantité de 1600 m³/h, afin de maintenir les températures à des niveaux optimaux et éviter les risques de surchauffe, pour cela il est primordial de mettre en place des procédés de traitement de l'eau efficaces pour préserver cette ressource précieuse.

Dans ce chapitre, nous aborderons en détail les divers procédés de traitement de l'eau utilisés dans la zone EST du complexe sidérurgique Sider El-Hadjar. Notre objectif est de présenter une vue d'ensemble des différentes méthodes et technologies employées pour assurer la qualité de l'eau dans cette région.

II.1. Alimentation en eau brut :

- Approvisionnement d'eau brute : à partir de l'Algérienne des Eaux (ADE) qui est alimentée par le barrage de CHAFFIA.
- Débit max : 1800 m³/h
- Débit réel moy. : 900 m³/h
- Réserve (retenue collinaire) : l'usine possède une réserve en eau qui peut servir en cas extrême avec un débit de 310 000 m³/h.
- La salle de pompage EBS : son rôle est de réguler la pression de l'eau brute arrivée par les conduites d'alimentation en eau brut. Cette dernière se dirige directement dans un bassin amortissant appelé le brise charge qui a pour but de casser la grande charge de l'eau qui arrive du barrage et essayer de les freiner. [13]

II.2. Prétraitement de l'eau brut :

Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs. [25]

Il vise essentiellement à éliminer les matières flottantes ou en suspension par des opérations physiques ou mécaniques. Tels que le dégrillage et le tamisage, le dessablage, et enfin le déshuilage et le dégraissage.

II.2.1 le dégrillage et le tamisage :

Le dégrillage a pour but de séparer les déchets grossiers et les particules non désirables de l'eau usée avant traitement dans la station d'épuration. Cela diminue le risque d'encrassement et de dommage envers la tuyauterie et les vannes. [26]

L'installation de dégrillage se compose : d'un canal, de la grille, du dégrilleur et d'une benne pour les déchets. [27]

Le dégrillage consistera donc à positionner des grilles séparément ou suivant un canal rectiligne pour capter les chiffons, les textiles, les débris végétaux, les plastiques présents dans ces eaux usées. La nature et la concentration de ces déchets, appelés refus de dégrillage, diffèrent selon l'activité humaine ayant pollué l'eau. Le choix des dégrilleurs se fait aussi en conséquence.

On peut distinguer les grilles à nettoyage manuel et les grilles à nettoyage automatique. [28]

L'écartement spécifique entre les barreaux de la grille donne naissance à plusieurs niveaux de dégrillage. On distingue :

- Le prédégrillage quand la grille a un écartement supérieur à 40 mm.
- Le dégrillage moyen quand la grille a un espacement strictement situé entre 40 mm et 10 mm.
- Le dégrillage fin quand l'écartement de la grille se situe strictement entre 10 mm et 6 mm.
- Le dégrillage ultra fin ou tamisage lorsque l'écartement des grilles du dégrilleur est strictement compris entre 0,5 mm et 6 mm. [29]



Figure II.1 : le dégrilleur

Le tamisage est le second procédé de prétraitement mécanique permettant une séparation plus fine que le dégrillage des déchets contenus dans les eaux brutes. [30]

Pour cette opération on utilise un tamiseur dont il existe plusieurs types, les plus courants utilisent un système rotatif constitué d'un tambour. L'eau que va traiter la tamiseuse arrive soit

par un système de pompage soit de façon gravitaire dans un tambour puis, une fois le mécanisme centrifuge ou de rotation effectué, l'eau est évacuée tandis que les refus de tamis (matière suspendue) sont récupérés et évacués. [31]

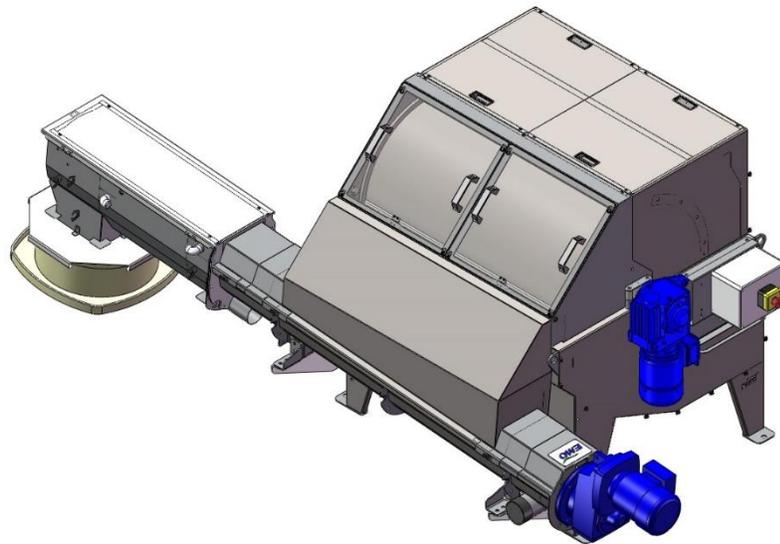


Figure II.2 : un tamis a tambour rotatif pour les eaux usées

II.2.2 le dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales, de diamètre supérieur à 0.2mm et de masse spécifique de l'ordre de 2.65 g/cm^3 dont la vitesse de décantation est supérieure à celle de la matière organique, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits et à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion. [32]

Pour réaliser cette opération, Un soufflage d'air avec des bulles grossières et plus fines optimise la décantation des sables et induit la flottation des matières grasses. [33]

II.2.3 le déshuilage et le dégraissage :

Dans le même bassin que le dessablage, les graisses présentes dans l'eau sont entraînées en surface par les bulles d'air. L'eau va ensuite dans un deuxième bassin, dans lequel elle va reposer. Les huiles vont alors remonter à la surface de l'eau et se joindre aux graisses pour que le tout à la fin forme une couche qui va être éliminé par un raclage de la surface, c'est le dégraissage et le déshuilage. [34]

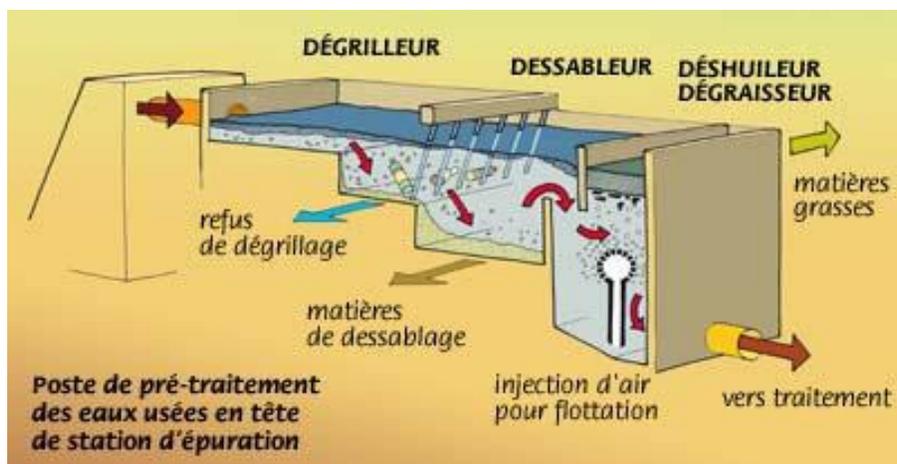


Figure II.3 : fonctionnement de la STEP

II.3. Production de l'eau industrielle dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar :

II.3.1 : la coagulation :

La coagulation est le procédé chimique largement utilisé dans le traitement de l'eau, grâce à son mécanisme qui est très efficace pour réaliser un traitement primaire. Il sert principalement à éliminer les particules (matières en suspension) qui ne sédimentent pas et que l'on peut retrouver dans l'eau.

Le processus de coagulation consiste à ajouter un coagulant pour provoquer l'agglutination de particules en suspensions. Ces coagulants sont bien souvent de charge(s) opposée(s) à celle des particules que l'on trouve en suspensions. Cette manœuvre va faire perdre aux particules leur caractère électronégatif et donc leur capacité de répulsion. Quand cette réaction se produit, les particules se lient ensemble où se coagulent.

Ce procédé est bien souvent suivi d'une phase mécanique appelée floculation. [35]

II.3.1.1. Les coagulants utilisés :

Il existe de nombreux agents coagulants. Ils ont tous un point commun, ils possèdent une charge opposée à celle des matières en suspension. Ce sont souvent des sels inorganiques d'aluminium ou de fer. Parmi eux :

- Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$
- Chlorure d'aluminium $AlCl_3$
- Aluminate de sodium $NaAlO_2$
- Chlorure ferrique $FeCl_3$
- Sulfate ferrique $Fe(SO_4)_3$
- Sulfate ferreux $FeSO_4$

Remarque :

Le coagulant utilisé dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar est le Chlorure ferrique $FeCl_3$, en raison de sa grande efficacité dans la clarification et de son utilité en tant qu'agent de déshydratation des boues. Bien qu'il laisse une légère couleur résiduelle, ce produit chimique offre une excellente élimination de 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. [36]



Figure II.4 : le bac de coagulant ($Fe Cl_3$)

II.3.2. La floculation :

La floculation est l'étape qui suit la coagulation dans le traitement des eaux usées, cette deuxième phase est indispensable pour assurer l'efficacité de la première phase de traitement (la coagulation). Une fois les particules de déchets agglomérées grâce à la coagulation, on utilise des agents floculants pour éliminer les agglomérats.

Dans le complexe sidérurgique d'El-Hadjar on utilise les polymères comme des agents floculants qui feront office de colle entre les floes et donc accélérer la manipulation. Ces floes ou amas de particules, formés grâce à la floculation peuvent précipiter après repos et sont facilement éliminable. [37]



Figure II.5 : bac à flocculent

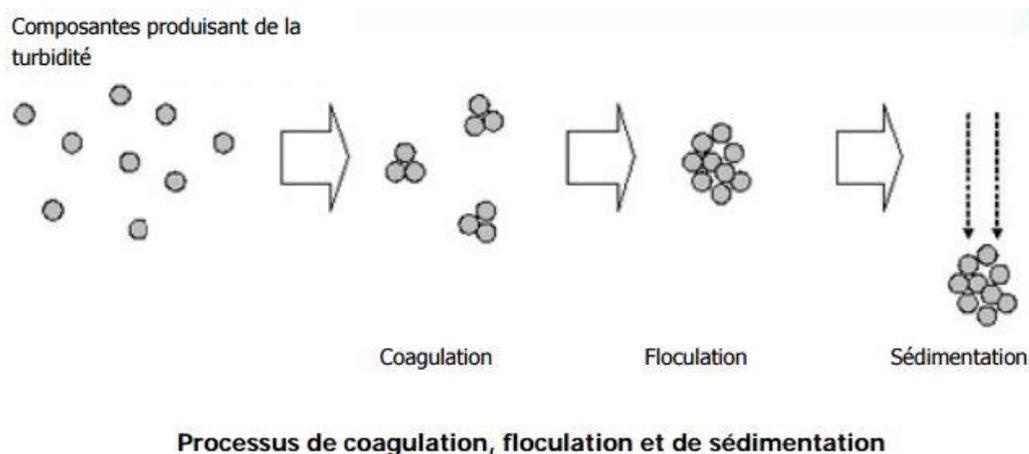


Figure II.6 : Processus de coagulation, floculation et de sédimentation

II.3.3. Décarbonations à la chaux :

L'eau brute qui provient d'algérienne des eaux (ADE) est chargée d'un pourcentage élevé de calcium et de magnésium, deux minéraux responsables de la formation de calcaire.

Pour réduire leur pourcentage dans l'eau, on utilise la technique de décarbonation de la chaux, ou ce qu'on appelle aussi l'hydroxyde de calcium, C'est le procédé de précipitation le plus utilisé. Lorsque la dureté de l'eau (TH, titre hydrotimétrique) est élevée elle s'accompagne du titre alcalimétrique complet (TAC) élevé. L'eau peut être diluée par élimination du carbone à l'aide de chaux, c'est-à-dire qu'elle permet de provoquer la précipitation des bicarbonates, responsables du

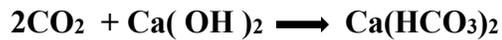
(TAC) en carbonates de calcium. Le gaz carbonique équilibrant est également neutralisé, ce qui entraîne la réduction du (TH). [38]

Ce processus se déroule dans le décanteur, où des cristaux (boues de carbonate de calcium) se forment dès que l'eau et le réactif entrent en contact, ils se déposent donc dans la partie inférieure de la structure, puis l'eau claire est récupérée dans la partie supérieure pour être filtrée. [39]

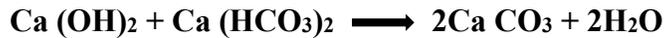
La chaux est ajoutée sous forme de lait de chaux par une pompe doseuse au prorata du débit et du TAC de l'eau à traiter, Cette chaux est préparée dans la salle des réactifs, puis elle passe dans un tube souterrain vers la charge brise, puis elle est pompée par des pompes jusqu'au décanteur.

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

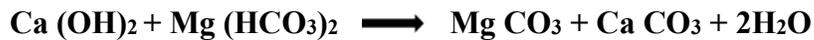
- La chaux réagit avec le dioxyde de carbone libre présent dans l'eau pour former de l'hydrogénocarbonate de calcium.



- Par conséquent, une augmentation du TAC et de TCa^{+2} favorise la précipitation du CaCO_3 , selon la réaction.



- Si $\text{T}_{\text{Ca}} < \text{TAC}$ (eau bicarbonatée calcique et magnésienne) on a ensuite :



- Le carbonate de magnésium étant relativement soluble. Un excès de chaux conduira à la réaction :





Figure II.7 : bac de la chaux

II.3.4. Décantation :

Une fois que l'eau de la brise de charge atteint le décanteur, Là où se déroule le processus le plus important qui est la décantation est nécessaire lorsque la charge de l'eau brute est trop élevée pour permettre l'usage d'une filtration directe sans provoquer le colmatage trop rapide des filtres.

La décantation est une technique largement utilisée dans les stations d'épuration et de traitement des eaux, c'est un séparateur solide-liquide qui sépare les solides en suspension et les colloïdes recueillis en masse après l'étape de coagulation-floculation. [40]

Le décanteur est en forme d'entonnoir et possède un pont racleur. Lors de la rotation du pont le racleur circulaire entraîne la boue vers la fosse centrale et la herse contribue à l'épaissement 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.



Figure II.8 : Le décanteur

Dans la zone Est, il existe deux décanteurs qui fonctionnent généralement en parallèle pour concevoir un meilleur traitement. Mais ils sont actuellement suspendus en raison de problèmes de performance du pont-racleur. Ce qui entraîne un problème de qualité des eaux industrielles.

II.3.5. Filtration à sable :

La filtration à sable est l'une des plus anciennes méthodes de traitement. Comme tout filtre, c'est un séparateur liquide-solide. Il est constitué d'une couche de sable de qualité appropriée à travers laquelle l'eau circule à une vitesse relativement faible. Son but est de retenir les matières en suspension (Mes) présentes dans l'eau à traiter grâce à une épaisse couche de sable. [41]

Le filtre contient également des buselures 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.

Le filtre à sable doit être nettoyé régulièrement car la fréquence de nettoyage dépend de la quantité d'impuretés qui y sont collées.



Figure II.9 : Le filtration à sable

Après la filtration à sable, l'eau filtrée sort par cinq sorties dans la salle de traitement des eaux vers la bache de lavage de 100 m³/h, où sont stockées les eaux industrielles.

Dans la salle de traitement de l'eau, nous avons 3 réservoirs :

- ✓ La bache de lavage
- ✓ La bache de relevage
- ✓ La bache de recyclage

Lorsque le premier réservoir est rempli, l'eau s'écoule par des trous plats pour remplir la bache de relevage de 500 m³/h avec de l'eau industrielle.

À partir de ce dernier, au moyen de trois pompes, l'eau industrielle est distribuée aux différentes unités du complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

La bache de relevage contient également des trous plats par lesquels s'écoule l'excès d'eau des deux réservoirs pleins vers la bache de recyclage de 120 m³/h, où se trouvent deux pompes par lesquelles l'eau est envoyée à la brise de charge pour la réutiliser et éviter déchets.

A l'intérieur de la salle de traitement de l'eau, il y a différentes pompes, chacune avec un rôle spécifique, y compris les pompes de lavage Utilisé pour laver les filtres.



Figure II.10 : la salle de traitement

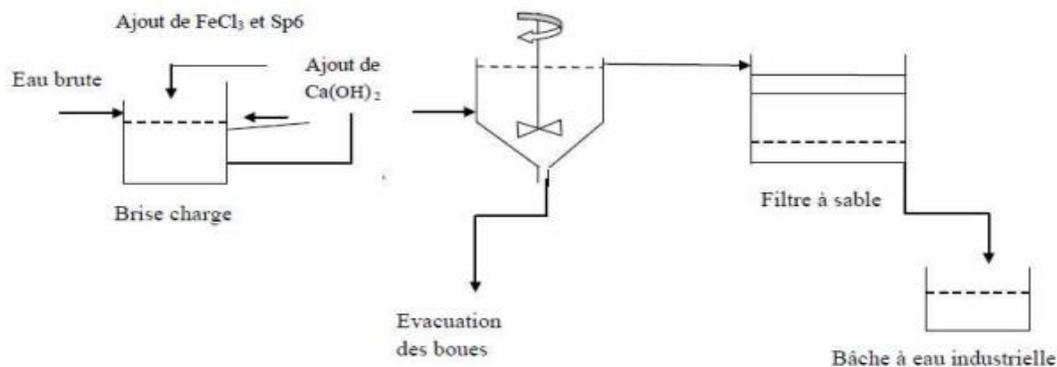


Figure II.11 : les étapes de la production de l'eau industrielle au niveau de la zone EST

II.4. Production d'eau déminéralisée dans la zone EST du complexe Sider El-Hadjar :

II.4.1 définitions d'ultrafiltration :

L'ultrafiltration est C'est un procédé membranaire pour filtrer l'eau, qui permettent au traitement d'atteindre le niveau maximum d'amélioration de toutes les propriétés physiques de l'eau sans aucune modification de la composition chimique.

II.4.1.1 principe de fonctionnement d'ultrafiltration :

Le principe de la fonction d'ultrafiltration repose sur la séparation par pressage des solutions de solvants à travers des membranes semi-perméables de diamètre de pores compris entre 0,1 et 0,001 μm (soit 1 à 100 nm). C'est-à-dire que sa fonction principale est d'éliminer tous les micro-organismes tels que les bactéries, les virus et les germes présents dans l'eau, en plus de quelques grosses particules en suspension qui s'échappent de la filtration sur sable (Mais il n'élimine pas les ions et les substances dissoutes comme le fait l'osmose inverse). [42]

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 :

L'eau industrielle est envoyée de la bache de lavage par des pompes de transformée vers les modules de filtration (A et B), où chaque module contient 14 membranes. L'eau entre par la partie inférieure de l'UF où la pression hydrostatique la pousse contre une membrane très fine où elle est filtrée (la pression de filtration généralement comprise entre 0.1 à max 1.5 bar). Toutes les particules solides en suspension et les solvants de haut poids moléculaire (supérieur à 0,001 μm) sont retenus à la surface des membranes tandis que l'eau de bas poids moléculaire dissoute traverse la membrane, puis l'eau filtrée est envoyée vers la cuve d'eau traitée via la vanne de production.

- ✓ Rétrolavage (nettoyage de la cartouche du filtre), Ce processus prend une minute et demie.

Si le temps de filtration est écoulé ou que le réservoir de filtrat est plein. Un rétrolavage a lieu pour nettoyer les membranes des impuretés qui y adhèrent Utiliser uniquement de l'eau. Ces deux opérations sont répétées vingt fois.

- ✓ Rétrolavage 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 (H_2SO_4) [13]



Figure II.12 : l'installation d'ultrafiltration

II.4.2. L'osmose inverse :

II.4.2.1. Définition de l'osmose inverse :

L'osmose inverse est une technique de purification de l'eau qui élimine les contaminants étrangers, les substances solides, les grosses molécules et les minéraux de l'eau en utilisant une membrane semi perméable. Par rapport à une osmose normale, elle demande l'application d'une force avec une pression. [43]

II.4.2.2. Principe de fonctionnement d'osmose inverse :

Pour comprendre le principe de fonctionnement d'une osmose inverse il faut d'abord connaître le principe de fonction d'une osmose normale.

L'osmose est basée sur le principe fondamental de l'équilibre. Lorsque deux liquides contenant différentes concentrations de solides dissous sont mis en contact, ceux-ci se mélangent jusqu'à uniformisation des concentrations. Lorsque ces deux liquides sont séparés par une membrane semi-perméable (laquelle laisse passer les liquides tandis que les solides dissous restent dans leur compartiment), le liquide contenant la plus faible concentration de solides dissous va traverser la membrane pour aller dans le liquide contenant la plus forte concentration de solides dissous. [44]

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler : cette pression est nommée la pression osmotique π (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique π , on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse. [45]

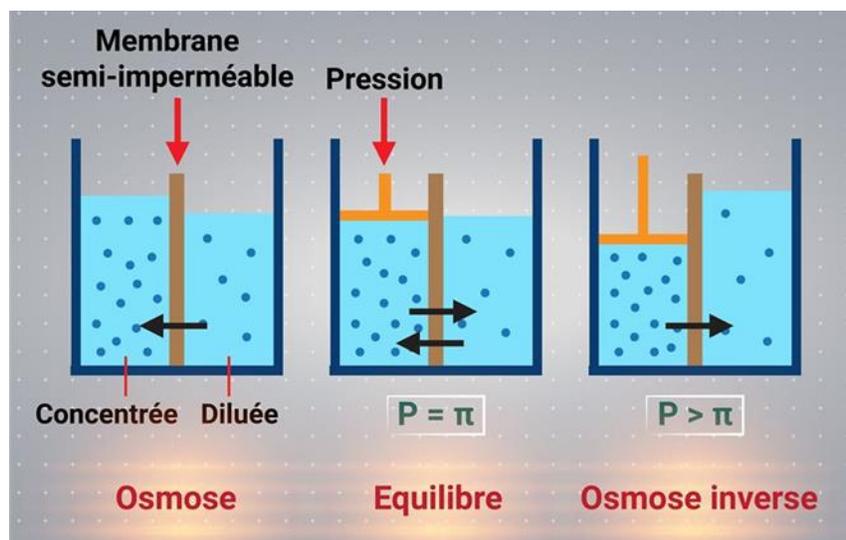


Figure II.13 : procédé de l'osmose inverse

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.

L'eau ultrafiltrée est envoyée depuis un réservoir par trois pompes pour alimenter les deux osmoses inverse. L'eau passe par un préfiltre avant d'être pompée à haute pression à travers la membrane d'osmose inverse. Pour éliminer les grosses particules et les impuretés de l'eau, telles que les sédiments, les sels dissous, les polluants organiques et les bactéries, qui peuvent endommager ou obstruer la membrane d'osmose inverse. Après le préfiltre, l'eau est pompée à travers une membrane semi-perméable d'osmose inverse à haute pression, où elle est divisée au niveau de cette dernière en deux parties avec deux concentrations différentes. [46]

Une partie traverse la membrane en direction de la chambre d'eau pure (perméat).

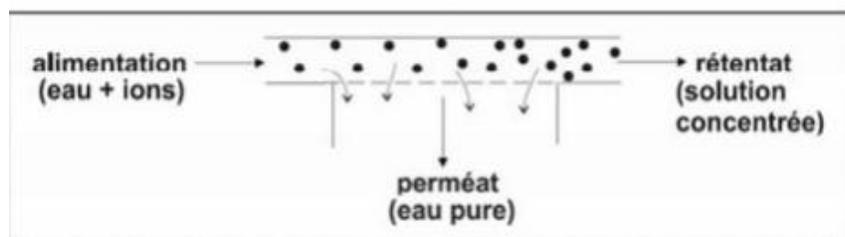


Figure II.14 : Séparation en phase liquide par perméation à travers une membrane

Une partie qui ne traverse pas la membrane est la partie qui contient des particules de sel (concentrat ou rétentat).

L'eau déminéralisée est envoyée à la bache de stockage, et par cette dernière, au moyen de pompes, elle est envoyée à l'installation de chaudière et l'installation de refroidissement.

La capacité de production de l'unité d'osmose inverse de zone EST est $2 \times 35 \text{ m}^3/\text{h}$ ($75 \text{ m}^3/\text{h}$) d'eau déminéralisée.



Figure II.15 : l'installation de l'osmose inverse dans la zone EST

II.4.2.3 Les principales applications d'osmose inverse :

L'osmose inverse peut être dirigée vers un grand nombre d'applications industrielles qui sont devenues indispensables aujourd'hui. Certains d'entre eux sont plus utilisés que d'autres, nous allons voir ce qu'ils sont : [47]

- ✓ Traitement des eaux : dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres pour produire l'eau potable.
- ✓ Production de l'eau ultra pure pour l'utilisation dans des procédé sensible (Industries chimiques, pharmaceutiques et électronique, alimentation de chaudière etc.)
- ✓ Concentration et purification d'effluents acides ou alcalins contaminés.
- ✓ Récupération d'eau d'effluents colorés et d'usine de blanchiment ultrafiltrés et d'eau blanche ultra filtrée.
- ✓ Extraction de protéine du lactosérum dans l'industrie laitière.
- ✓ Le traitement des effluents dans l'industrie du papier, du bois, de la teinture

II.4.2.4. Les avantages et les inconvénients d'osmose inverse :

Les avantages :

- ✓ Installation simple et sûre et fonctionnement automatique extrêmement efficace.
- ✓ Véritable barrière au sel minéraux et bactéries, la membrane d'osmose ne laisse passer que la molécule d'eau.
- ✓ L'osmose inverse permet d'obtenir une eau pure et de la rendre légère.
- ✓ La filtration est une filtration mécanique, pas d'intervention de réactifs chimiques comme des agents d'extraction qui sont des sources de pollution.
- ✓ Opération à température ambiante ce qu'évite la dégradation des molécules fragiles dans le domaine agroalimentaire.
- ✓ Consommation énergétique réduite vis à vis de la distillation pour le dessalement de l'eau.
- ✓ Une durée de mise en œuvre réduite.

Les inconvénients :

- ✓ Les membranes d'osmose inverse sont très sensibles. Une eau mal traitée peut déposer des particules sur la membrane. Ces contaminants affectent le débit et la pression de la membrane. Cela réduit les performances ou produit de l'eau impure.
- ✓ Durée de vie limitée des membranes ; soit par perte de résistance mécanique soit par suite d'une mauvaise tenue aux réactifs utilisés pour le nettoyage.
- ✓ Le coût élevé des filtres.
- ✓ L'eau perd tous ses minéraux, y compris des minéraux bénéfiques comme le magnésium et le calcium, il est donc préférable de reminéraliser l'eau avant de la boire.
- ✓ L'osmoseur n'a rien d'écologique. En effet pour obtenir 1 litre d'eau osmosée, l'appareil utilise 3 litres d'eau si les membranes sont neuves et jusqu'à 8 litres, si les membranes sont colmatées.

Conclusion :

Notre objectif dans ce chapitre est de fournir une description complète de la chaîne de traitement, en mentionnant les différentes étapes que traverse l'eau lors de son traitement.

Depuis l'entrée de l'eau brute jusqu'à la sortie de l'eau industrielle par filtration sur sable, où elle est distribuée dans l'industrie, en passant par l'ultrafiltration, où l'eau ultrafiltrée est dessalée par osmose inverse.

Chapitre III

Introduction :

Les procédés membranaires sont industrialisés à partir des années soixante, et se développent encore à un rythme rapide. Il existe maintenant une grande variété de membranes adaptés à divers procédés et à l'origine des applications dans des domaines très différents tel que le traitement des eaux usées, et c'est ce qu'on va expliquer dans ce chapitre dont on va présenter les deux membranes nécessaires utilisés dans le complexe d'El-Hadjar pour le traitement des eaux qui sont la membrane d'ultrafiltration et la membrane d'osmose inverse.

III.1. Définition du processus de séparation membranaire :

Le processus de séparation par membrane est la méthode qui utilise les micropores de la membrane pour filtrer et utilise la perméabilité sélective de la membrane pour séparer certaines substances dans les eaux usées. Actuellement, le procédé de séparation par membrane est souvent utilisé pour le traitement des eaux usées de teinture principalement basée sur la pression membranaire, comme l'osmose inverse, l'ultrafiltration, la nanofiltration et la microfiltration. Le processus de séparation par membrane est une nouvelle technologie de séparation, avec une efficacité d'évaporation élevée, une faible consommation d'énergie, une opération facile qui n'entraîne aucune pollution. [48]

III.2. Définition de la membrane :

La membrane est une couche mince de faible épaisseur permettant une séparation sélective d'espèces chimiques, ioniques, moléculaires ou biologiques entre les deux milieux qu'elle sépare sous l'action d'une force chimique (concentration) ou physique (pression). En général, les constituants qui sont plus petits que les pores de la membrane sont capables de passer à travers la membrane sous l'effet d'une pression appliquée tandis que les substances et les molécules de taille plus importante sont retenues par la membrane [49].

De point de vue classification, il existe une grande diversité des membranes. Elles sont classées par famille selon leur nature chimique, leur structure et leur forme physique [50].

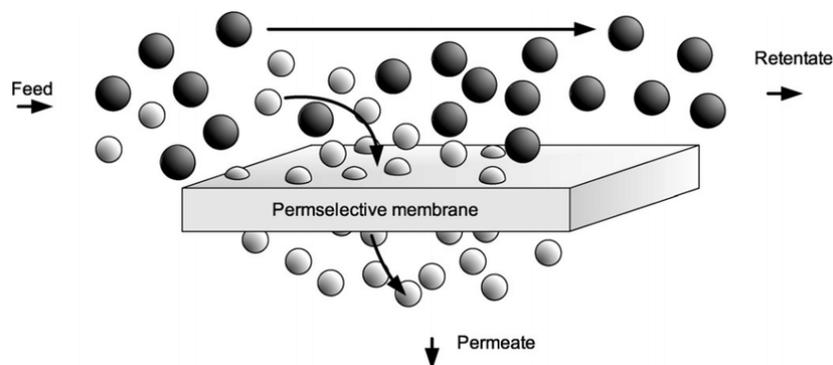


Figure III.1 : schéma d'une membrane de séparation

III.3. Les Caractéristiques des membranes :

III.3.1. Le seuil de coupure :

Le seuil de coupure est une façon pratique de caractériser les membranes. Il correspond à la masse molaire du plus petit composé dont la rétention observée est 90 % c'est-à-dire Les composés ayant une masse molaire supérieure au seuil de coupure de la membrane sont retenus à plus de 90% par la membrane. A l'inverse les composés de masse molaire inférieure au seuil de coupure de la membrane sont retenus à moins de 90%. Celui-ci se mesure en dalton ou en g/mol (1 Da = 1 g. mol⁻¹). [51]

III.3.2. La pression transmembranaire (PTM) :

C'est la pression différentielle entre le côté rétentat et le côté perméat. La PTM moyenne est la moyenne des pressions d'entrée et de sortie du fluide à traiter côté rétentat, moins la pression de sortie du perméat.[52]

Dans la pratique, la PTM n'est pas parfaitement homogène sur toute la longueur de la membrane en raison de l'existence de pertes de charge entre l'entrée et la sortie côté perméat. Cette perte de charge côté rétentat est généralement considérée comme négligeable en OI.[53]

III.3.3. Flux de perméation :

Un paramètre technique d'une installation de séparation par membrane désignant le volume ou la masse de liquide traversant la membrane par unité de surface et par unité de temps ce qu'il lui permet de définir la productivité du procédé.

Le flux de perméation, J, est proportionnel à la pression transmembranaire, PTM. Il s'exprime par la loi de Darcy :

$$J_p = L_p * PTM \quad (III.2)$$

Avec :

J_p : le flux de perméat exprime en (L. h⁻¹. m⁻²).

PTM : La pression transmembranaire exprimée en bar.

L_p : perméabilité hydraulique de la membrane exprimée en (L. h⁻¹. m⁻². bar⁻¹). [54]

III.3.4 La perméabilité :

La perméabilité (A) d'une membrane est une caractéristique intrinsèque de la membrane qui dépend de sa structure (taille et nombre de pores, épaisseur de la membrane, ...).

De façon pratique, la perméabilité peut être définie comme étant le rapport entre le flux de perméat (J_p) et la différence de pression transmembranaire effective (ΔP_m) :

$$A = \frac{J_p}{\Delta P_m} \quad (III.3)$$

Elle peut être aussi exprimée en fonction de la résistance hydraulique de la membrane et de la viscosité du perméat :

$$L_p = \frac{1}{(\mu * R_m)} \quad (III.4)$$

Avec :

R_m : La résistance hydraulique de la membrane (m^{-1}).

μ : La viscosité de perméat (Pa.s), qui est en fonction de la température [54]

III.3.5. Résistance hydraulique :

La résistance hydraulique (R_m) d'une membrane peut être définie comme étant sa résistance à l'écoulement du fluide à filtrer à travers cette membrane. La résistance d'une membrane est l'inverse de sa perméabilité :

$$R_m = \frac{1}{A} = \frac{\Delta P_m}{J_p} \quad (III.5)$$

Cette relation nous permet de calculer d'une façon pratique la résistance hydraulique d'une membrane à partir de mesure de flux de perméation et de la pression transmembranaire. [54]

III.3.6. La sélectivité :

La sélectivité est une caractéristique difficile à quantifier et pourtant essentielle. C'est une caractéristique de surface de la membrane, qui détermine quels composés de la solution la traversent. Cette caractéristique est liée à la nature même de la membrane, physique et chimique.

Elle est définie par le taux de rétention ou que l'on appelle aussi le taux de rejet qui est déterminé par la relation suivante :

$$Ret = 100 - TR = \frac{(C_R - C_P)}{C_R} = \left(1 - \frac{C_P}{C_0}\right) * 100$$

Avec :

Ret : Le taux de rétention (%).

Tr : La transmission.

CP : La concentration de soluté dans le perméat.

CR : La concentration de soluté dans la retentât.

Il y a deux valeurs extrêmes du Ret (valeurs exprimées en pourcentage)

Ret = 0% signifie que le soluté n'est pas de tout retenu par la membrane.

Ret = 100% signifie que le soluté est entièrement retenu par la membrane.

Dans le cas de l'osmose inverse, le soluté de référence est souvent le chlorure de sodium (NaCl), la déminéralisation des eaux étant l'application la plus importante. Certaines membranes développées pour le dessalement de l'eau de mer ont un taux de rejet au chlorure de sodium de 99 % environ. D'autres, développées pour le dessalement des eaux saumâtres, présentent un taux de rejet au NaCl de 96 %. [55]

III.3.7 Le taux de conversion :

Le taux de conversion (Y) correspond au rendement en débit d'une membrane semi-perméable. Le taux de conversion (Y) se calcule à partir du débit d'alimentation Q_0 et du débit de production (perméat) Q_P et $(Q_0 - Q_P)$ débit de rejet (concentra).

$$Y = \left(\frac{Q_P}{Q_0}\right) * 100$$

Le débit du perméat est notamment fonction de la pression d'eau appliquée, de la température et de la minéralisation d'eau à traiter. Le débit du rejet, le concentrât, est à régler par un dispositif tel qu'une vanne à pointeau ou capillaire, de manière à obtenir le taux de conversion souhaité. [56]

III.4. les caractéristiques des membranes utilisée dans la zone EST :

III.4.1. Membrane d'ultrafiltration :

La membrane d'ultrafiltration utilisée est fabriquée par Prominent, Model Dizzer XL 0.9 MB 70 WT For T-Rack 3.0



Figure III.2 : UF Module Dizzer XL 0.9 MB 70 WT

III.4.1.1. Les caractéristiques de la membrane d'ultrafiltration :

Les caractéristiques de la membrane d'ultrafiltration présenter dans le tableau suivant :[13]

Tableau III.1 : Caractéristiques de la membrane ultrafiltration

Module/Element	Dizzer XL 0.9 MB 70 WT
Type de membrane	Poreuse composite
Surface membranaire totale	980 m ²
Mode de transfert de masse	Convection
Perméation de	Solvants, sels et petites molécules
Rétention de	Macromolécule, colloïdes
Taille nominale des pores	0.01 μm
Tolérance de température	0°C – 40°C
Debit de permeation	50 a 300 l/h/m ²
Pression d'opération	2 a 10 bar
Dimension (L, D)	L = 1,720 mm (67.7 in) D = 250 mm (9.875 in)

III.4.2. Membrane d'osmose inverse :

La membrane d'osmose inverse utilisée est fabriquée par **Nitto Hydranautics (Nitto Group Company, Germany)**, Model **CPA5-LD**. Il s'agit d'un module membranaire enroulé en spirale autour d'un noyau central pour former une unité de filtration pour filtrer l'eau et éliminer les sels, les minéraux et les produits chimiques. Où il a été fabriqué par le polyamide.



Figure III.3 : Membrane d'osmose inverse model CPA5-LD

III.4.2.1. Les caractéristiques de la membrane d'osmose inverse :

Les caractéristiques de la membrane d'osmose inverse sont présentes dans le tableau suivant :[13]

Tableau III.2 : Caractéristique de la membrane d'osmose inverse

Caractéristique		
Performance	Débit de perméat	41.6 m ³ /d
	Rejet du sel	99.7% (99.6% minimum)
Type	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)
Application	Pression maximale appliquée	600 psig (4.14 MPa)
	Concentration maximale de chlore	< 0.1 PPM
	Temperature 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)
Caractéristiques physiques	Longueur (cm)	101.6
	Diamètre (mm)	7.80
	Poids (kg)	16.4

III.5 : Le nettoyage de membrane :

Les membranes perdent leur efficacité au fil du temps en fonction de leur type, des matériaux d'alimentation et des conditions de traitement en raison de la contamination. Le nettoyage est la méthode la plus largement utilisée pour résoudre ce problème.

Le nettoyage de la membrane dépend de l'élimination des salissures de la surface de la membrane, car celle-ci se fait notamment lorsqu'il y a une augmentation de la pression de la membrane ou lorsqu'une diminution du flux de perméabilité est observée.

Pour nettoyer les membranes dans la zone EST, un ensemble de stratégies sont mises en œuvre, notamment :

III.5.1 : Le nettoyage contre lavage (flush) : ce nettoyage est effectué après chaque 20 min de filtration ça dure une minute et demi, ce processus implique d'inverser le sens d'écoulement à travers la membrane et le gradient de pression, permettant au perméat de passer à travers la membrane et d'éliminer tous les sédiments ou particules qui pourraient avoir causé le colmatage.

III.5.2 : Le nettoyage contre lavage chimique (Chemically Enhanced Backwash, CEB) : Le contre-lavage chimique est une étape importante dans le processus de traitement de l'eau dans les systèmes d'ultrafiltration et est effectué chaque huit heures par jour.

Cette étape permet de nettoyer le média filtrant en éliminant les particules accumulées et les impuretés qui obstruent le filtre et réduisent son efficacité.

Au cours du processus CEB, une solution de nettoyage chimique est introduite dans le module par l'entrée de lavage à contre-courant. La solution chimique s'écoule à travers le média et aide à briser les débris accumulés ou les agents d'encrassement. Les produits chimiques utilisés dans le contre lavage chimique sont :

- ❖ L'hydroxyde de sodium (NaOH)
- ❖ L'acide sulfurique (H₂SO₄)

Après l'ajout de la solution chimique, le filtre est ensuite rincé à l'eau claire pour éliminer les dépôts dissous et la solution chimique. Cette étape de rinçage est essentielle pour éliminer tout résidu de la solution chimique et pour assurer que le filtre est prêt à être utilisé à nouveau.

III.5.3 : Le nettoyage en place (cleaning in place, CIP) : est un processus de nettoyage automatisé utilisé pour nettoyer les équipements de production sans les démonter. Et est effectué chaque six mois.

Le but du nettoyage en place est d'éliminer la saleté et les contaminants accumulés à la surface de la membrane, où une solution de nettoyage appropriée est introduite dans le système, cette dernière est chauffée à une certaine température pour éliminer toute contamination. Les solutions de nettoyage sont généralement à base d'eau et contiennent des détergents, des acides ou des agents alcalins selon le type de saleté à éliminer (Les solutions utilisées pour le nettoyage en place dans la zone EST sont : l'acide sulfurique et l'hydroxyde de sodium et l'hypochlorite de sodium).

Enfin, l'équipement est stérilisé à l'aide d'un désinfectant pour tuer les bactéries, les champignons et autres micro-organismes.

Le nettoyage en place offre de nombreux avantages, notamment une réduction des temps d'arrêt de production, une diminution de la manipulation de l'équipement, une réduction des coûts de nettoyage et une amélioration de la qualité des produits. Cependant, il nécessite une planification minutieuse et une maintenance régulière pour assurer son efficacité. [13]

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré les caractéristiques générales des membranes ainsi que les caractéristiques spécifiques des membranes d'ultrafiltration et d'osmose inverse. Les membranes sont des barrières sélectives qui permettent le passage sélectif des solutés et des particules selon leur taille et leur charge. Elles jouent un rôle essentiel dans les processus de filtration et de purification de l'eau.

La membrane d'ultrafiltration est conçue pour éliminer les particules et les solutés de grande taille, tels que les bactéries, les virus, les colloïdes et les protéines, quant à la membrane d'osmose inverse qui est conçue pour éliminer les solutés dissous et les sels minéraux de l'eau.

Il est important de noter que les membranes peuvent se colmater et perdre de leur efficacité au fil du temps en raison de l'accumulation de dépôts et de la formation de biofilms. Ainsi, il est nécessaire de procéder à des nettoyages périodiques pour maintenir leur performance optimale. Les techniques de nettoyage utilisées dans Sider El-Hadjar sont le nettoyage flash, CEB et le CIP.

Chapitre IV

Partie Expérimentale

Introduction :

Le traitement de l'eau nécessite souvent plus d'une technologie pour atteindre la qualité souhaitée. La plupart des logiciels de conception d'usines de traitement de l'eau ne vous permettent pas d'optimiser les systèmes à technologies multiples, nécessitant un logiciel séparé et plus de temps pour la configuration et la gestion.

Dans ce chapitre nous présentons un nouveau logiciel pour la conception et la simulation du fonctionnement des systèmes de traitement d'eau utilisant les technologies de composants UF, RO et IER afin de pouvoir comparer les résultats obtenus par ce logiciel avec ceux de laboratoire central d'analyse des eaux. Et savoir comment nous pouvons garantir une bonne production d'eau de perméat et une performance efficace de l'osmose inverse tout en assurant une qualité constante qui répond aux besoins de notre complexe Sider El-Hadjar.

PARTIE A : Description du logiciel WAVE Software**IV.A.1. Présentation de logiciel WAVE :**

Water Application Value Engine (WAVE) est le premier logiciel de modélisation gratuit entièrement intégré de l'industrie à intégrer nos technologies de pointe - ultrafiltration (UF), osmose inverse (RO), échange d'ions (IX), et intègre désormais DesaliTec™ SOAR CCRO - dans un outil complet. À l'aide d'une interface commune, il simplifie le processus de conception et, en fin de compte, contribue à réduire le temps nécessaire à la gestion de votre système de traitement de l'eau.

Avec la nouvelle version de WAVE 1.82, vous aurez la commodité de :

- Une interface intuitive pour les technologies UF, RO, IX et CCRO, compatible avec Microsoft Windows.
- Outil de modélisation expert.
- Données harmonisées pour tous les produits et procédés.
- Quatre options linguistiques : anglais, chinois, espagnol et portugais.

IV.A.2. Les avantages du logiciel :

WAVE est un logiciel de modélisation expert intégré pour la conception d'usines de traitement de l'eau, y compris la conception d'usines de traitement des eaux usées, offrant :

- Conception flexible 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 puissant avec la capacité d'exécuter des conceptions complexes avec des niveaux de précision élevés.
- Amélioration des calculs et de l'interface de l'équilibre hydrique.
- Véritables volumes et débits de bilan massique qui reflètent les changements de densité dus à la température, à la composition de l'eau et à la compressibilité de l'eau.

- Des contraintes hydrauliques et des paramètres de régénération cohérents, qui reflètent les meilleures pratiques et les performances et applications de pointe du produit.
- Valeurs par défaut pour la plupart des paramètres, ce qui vous permet (ou à votre concepteur) de créer rapidement une conception.
- La capacité d'introduire des paramètres spécifiques au projet pour accroître la précision des calculs des dépenses d'exploitation.

IV.A.3. Les étapes de simulation par logiciel WAVE software :

L'utilisation du logiciel pour simuler l'installation de l'ultrafiltration et osmose inverse dans la zone EST de Sider El-Hadjar est réaliser par les étapes suivantes :

Etape 01 :

Pour démarrer un projet dans WAVE, nous avons commencé par saisir les détails de l'utilisateur tels que le nom, le prénom, l'entreprise et d'autres informations pertinentes. Cela a été fait en sélectionnant simplement l'option "user info".

The screenshot displays the WAVE software interface. The top menu bar includes 'File', 'Configuration', 'User Settings', 'Feed Setup', 'Report', and 'Help'. The 'User Info' button is highlighted in the 'User Settings' section. Below the menu, there are various icons for 'Water Library', 'Chemical Library', 'Project Info', 'Currency', 'Operating Costs', 'Pumps', 'Backup Database', 'Restore Database', 'Apply License', and 'Enable/Disable Log'. The main window shows a project titled 'BENouhiba et hannachi - Case 1'. A 'User Information' dialog box is open, containing the following fields:

Contact Information	
First Name:	BEN and HANACH
Last Name:	lina and chahi
Company:	water in annaba
E-mail:	benouhibalina@gmail.com
Office:	6031
Mobile:	0541680043
Fax:	

Address	
Street Address:	
City:	
Country:	

Language	
User Interface Language:	English-United States
Report Language:	English-United States

Buttons: Cancel, Save

Figure IV.1 : Spécification des informations utilisateur

Etape 02 :

La deuxième étape consiste à choisir les produits chimiques que nous utilisons pour ajuster le PH et pour le nettoyage des membranes. En cliquant sur « chemical Library » et en sélectionnant les produits chimiques dans la liste déroulante.

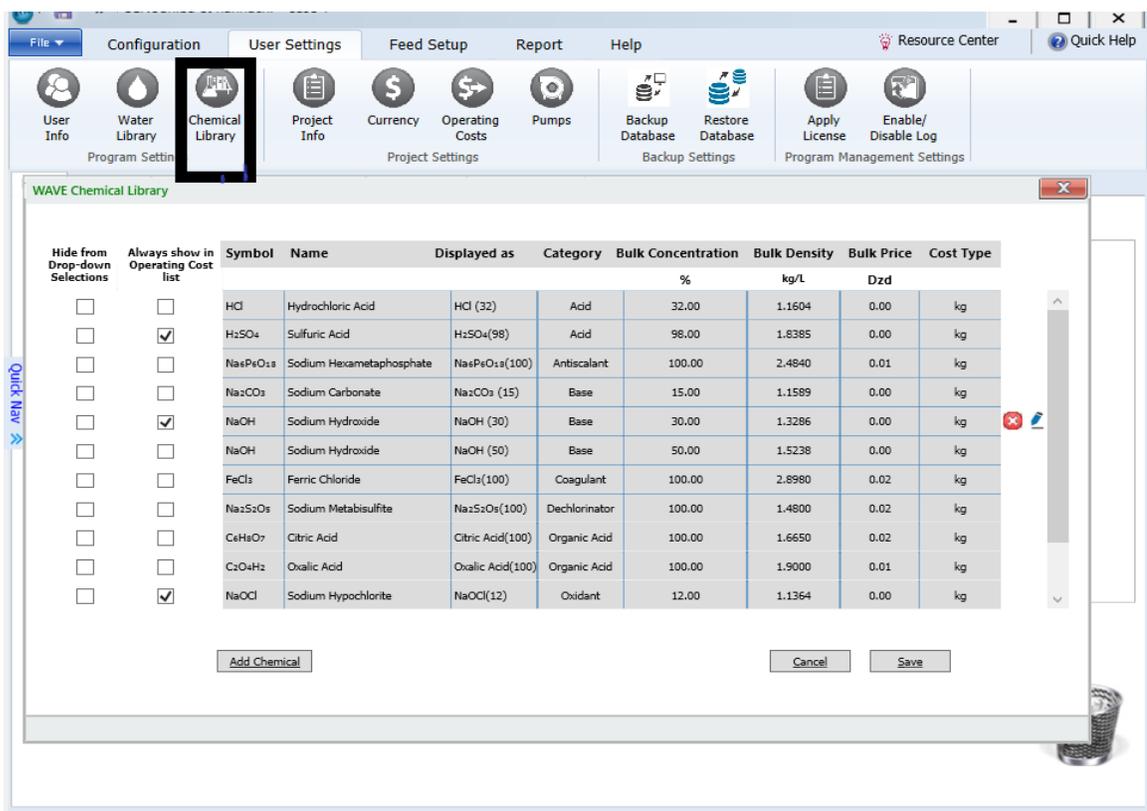


Figure IV.2 : Sélection de la bibliothèque de produits chimiques pour spécifier les produits Chimiques

Etape 03 :

Pour calculer les coûts d'exploitation dans WAVE, l'achat d'eau, l'électricité et les produits chimique peuvent être spécifiés dans la fenêtre « operating costs ».

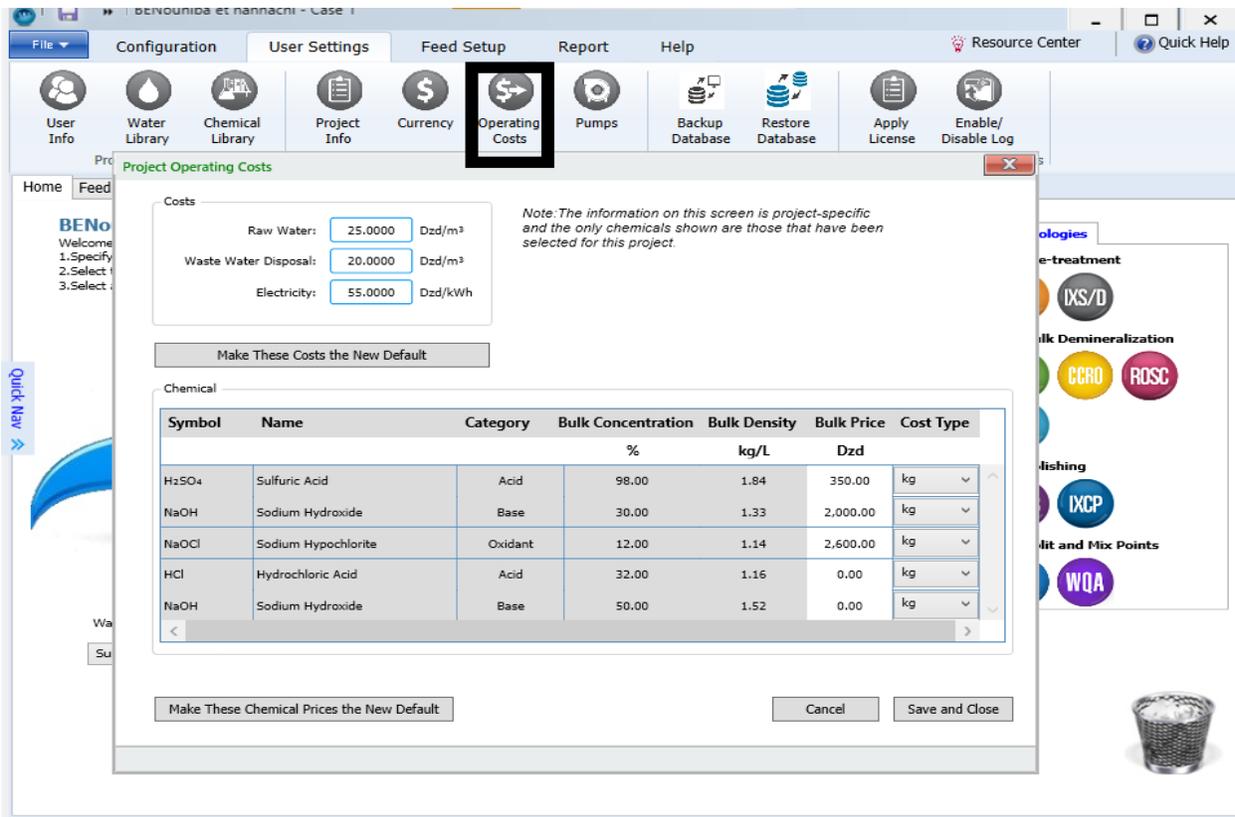


Figure IV.3 : Spécification des coûts d'exploitation

Etape 04 :

Nous choisissons une technologie de traitement parmi les technologies proposées par WAVE. Faites glisser et déposez l'icône d'ultrafiltration UF sur la tache grise pour définir le processus d'ultrafiltration. Nous répétons ce processus pour déterminer le processus RO, ainsi que le processus WQA.

Au centre de la flèche bleu, nous entrons dans le débit d'eau d'alimentation de 58.3 m³/h. Nous avons choisi le type d'eau dans une liste d'options (surface water).

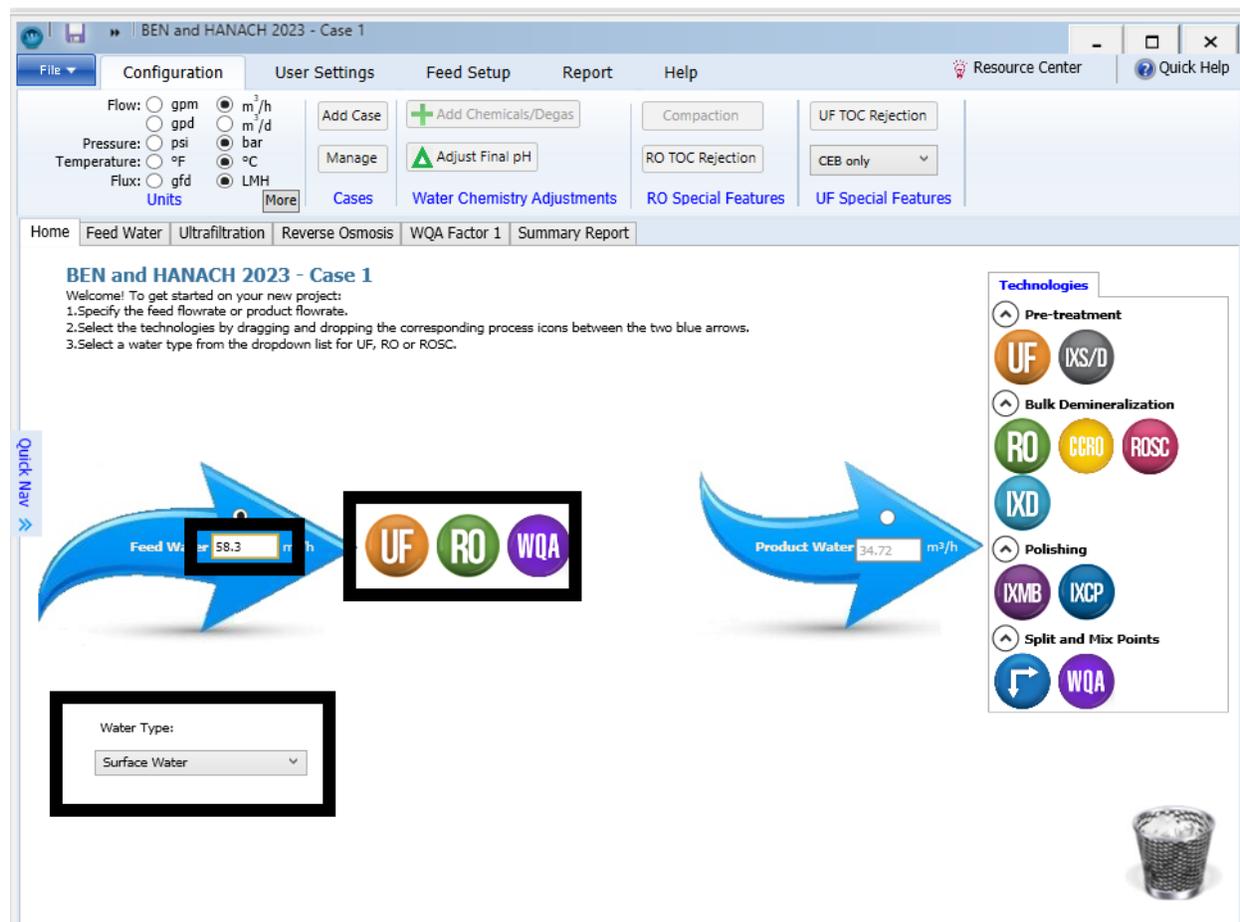


Figure IV.4 : déposez l'icône d'UF, RO et WQA et spécification de flux d'alimentation et type d'eau

Etape 05 :

Dans cette fenêtre, nous entrons les quantités exactes de chaque composant requis comme indiqué ci-dessous. D'abord on entre la quantité de turbidité et de solides en suspension (total suspended solids, TSS), avant de passer aux valeurs de température et de pH. Après cela, on a fait entrer les valeurs du PV d'analyse de l'eau industrielle.

La condition requise dans ce dernier est la balance ionique entre les anions et cations, soit en ajustant les solutés, soit en ajoutant des soutes et ajustant le PH.

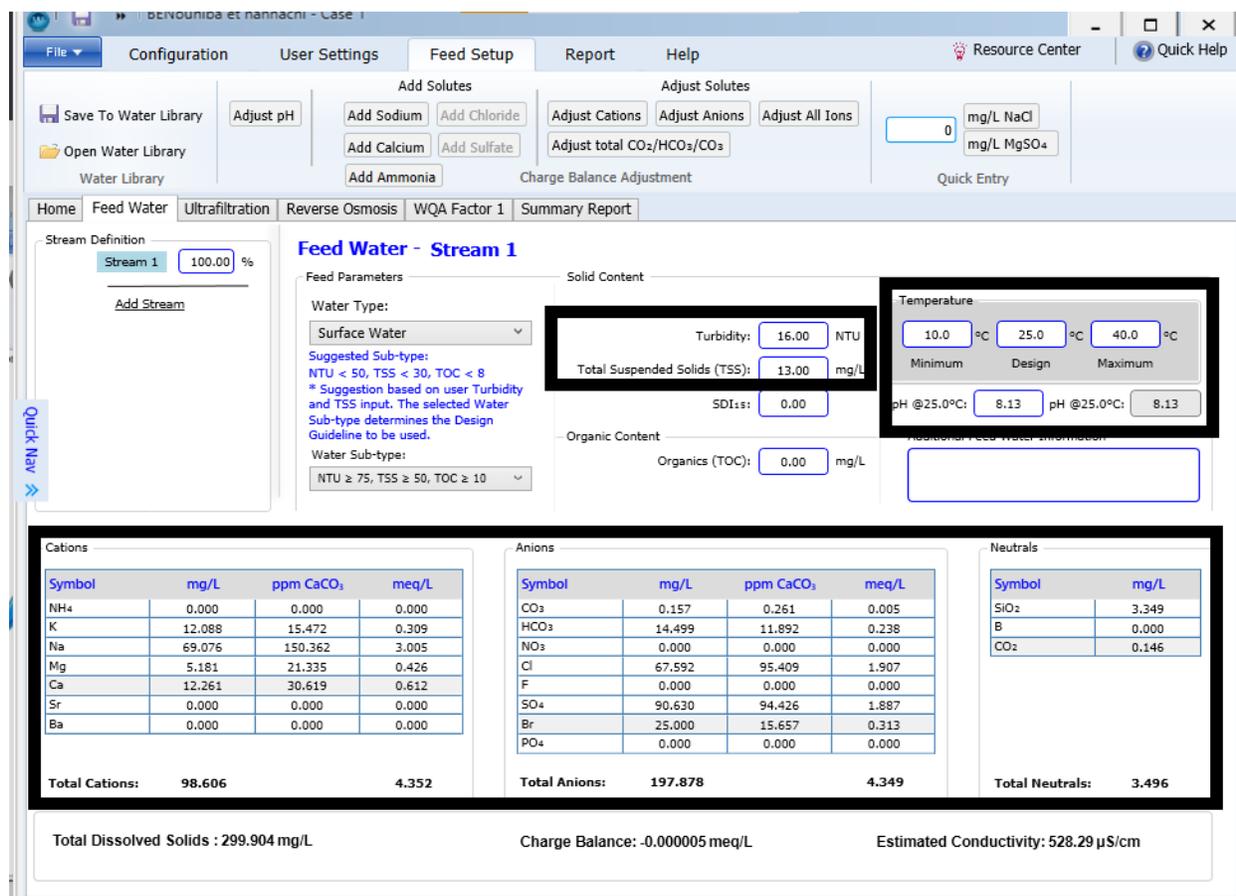


Figure IV.5 : Saisie de la composition spécifique de l'aliment UF

Etape 06 :

Dans cette étape, nous spécifions les informations de conception de base du système d'ultrafiltration dans la fenêtre de conception telle que nous définissons le module de membrane d'ultrafiltration (IntegraPac IP-77 XP) l'équivalent de module de membrane d'ultrafiltration utilisée dans la zone EST (Dizzer XL 0.9MB/70 WT), où un train se compose de 14 membranes et nous avons deux trains c'est-à-dire que on a 28 membranes.

Nous avons également saisi le type de nettoyage utilisé (CEB only), d'où un CIP est toujours prévu dans l'installation, puis déterminé les informations de (design cycle intervals).

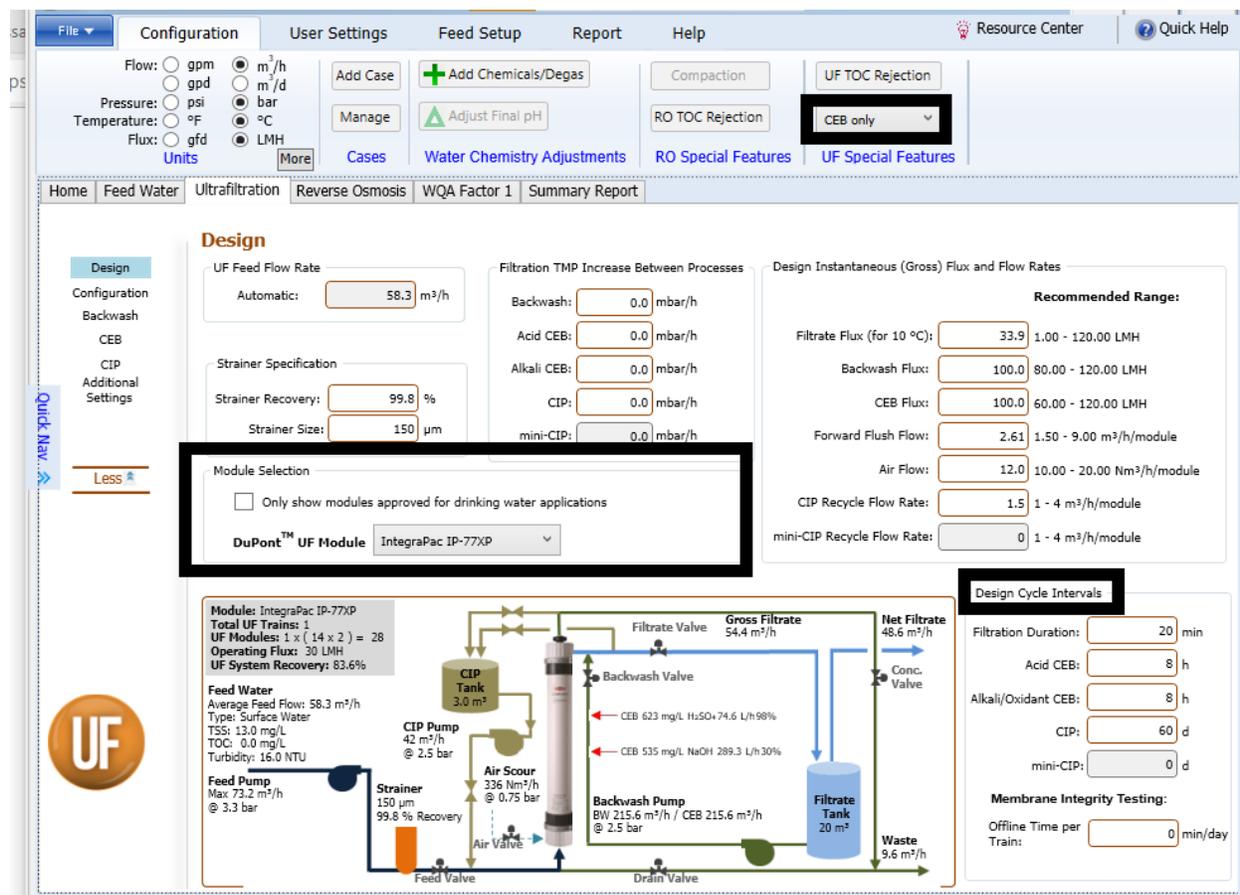


Figure IV.6: Fenêtre de conception d'UF

Etape 07 :

Pour exécuter ce processus avec précision, nous établissons des paramètres spécifiques, notamment le type de membrane, le nombre d'étage et le passe.

Type de membrane : ce type de membrane est l'équivalent de type de membrane utilisé dans la zone EST (Nitito CPA5 – LD)

Pass 1: Eco Pro – 400

Pass 2: Eco Pro – 400

1^{ère} étage : 3 tubes chaque tube de pression est doté de 6 membranes en parallèle.

2^{ème} étage : 2 tubes de pression chaque tube est doté de 5 membranes en parallèle.

Reverse Osmosis Pass Configuration

Configuration for Pass 2

Number of Stages: 1 2 3 4 5

Flow Factor: 1.00

Temperature: Design 25.0 °C

Pass Permeate Back Pressure: 0.00 bar

Flows

Feed Flow: 41.34 m³/h

Recovery: 84.0 %

Permeate Flow: 34.72 m³/h

Flux: 93.4 LMH

Conc. Recycle Flow: 0 m³/h

Bypass Flow: 0 m³/h

Stage 1	
# PV per stage	2
# Els per PV	5
Element Type	Eco Pro-400
Specs	
Total Els per Stage	10
Pre-stage ΔP (bar)	0.31
Stage Back Press (bar)	0.00
Boost Press (bar)	N/A
Feed Press (bar)	0
% Conc to Feed	0.00
Flow Factor	1.00

System Configuration

Feed → Concentrate → Concentrate

Feed → Permeate → Permeate

Figure IV.7 : Fenêtre de conception d'RO

Etape 08 :

Une fois que toutes les informations nécessaires ont été entrées dans les processus d'ultrafiltration et d'osmose inverse, le programme WAVE peut générer un rapport récapitulatif détaillant les résultats de la simulation en cliquant simplement sur "summary Report "ou obtenir un rapport détaillé en appuyant sur "Detailed Report" lors l'étape finale nous convertir le rapport en PDF, nous appuyons sur « Export to PDF »

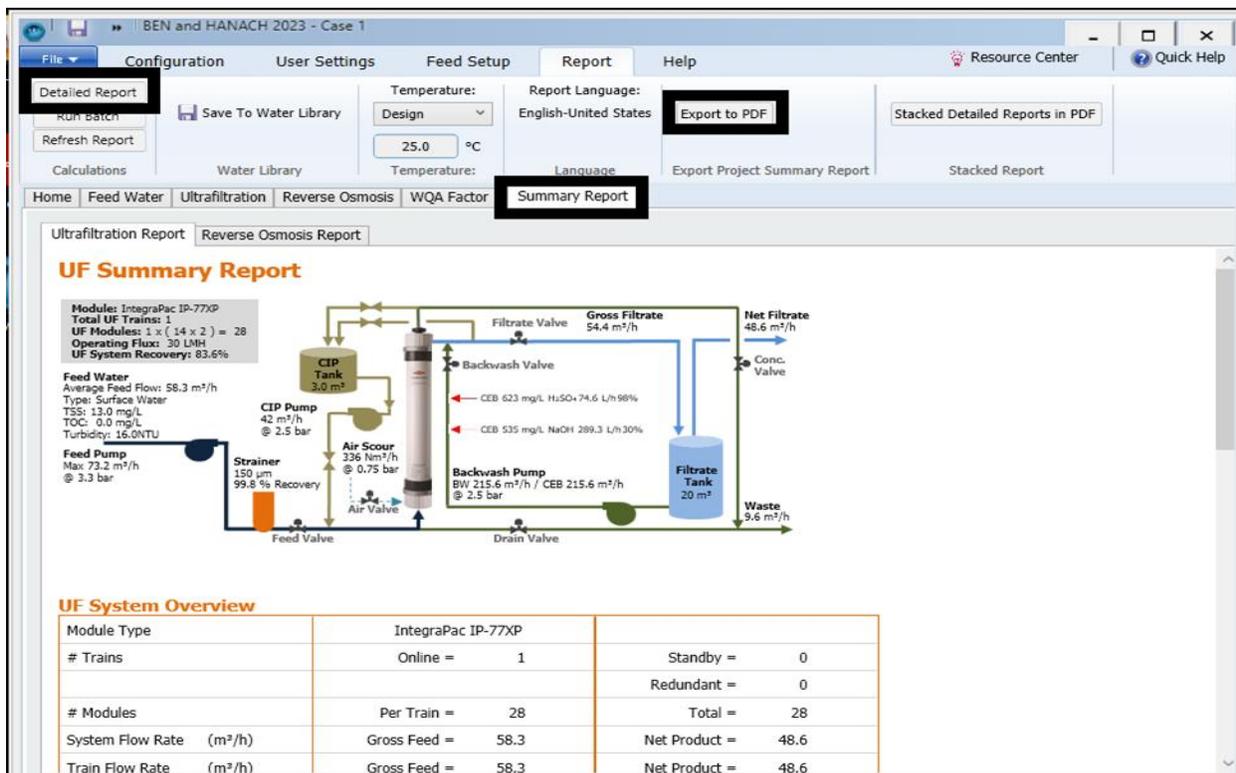


Figure IV.8: fenêtre de rapport récapitulatif

PARTIE B : Résultats et discussions

IV.B.1. Ultrafiltration :

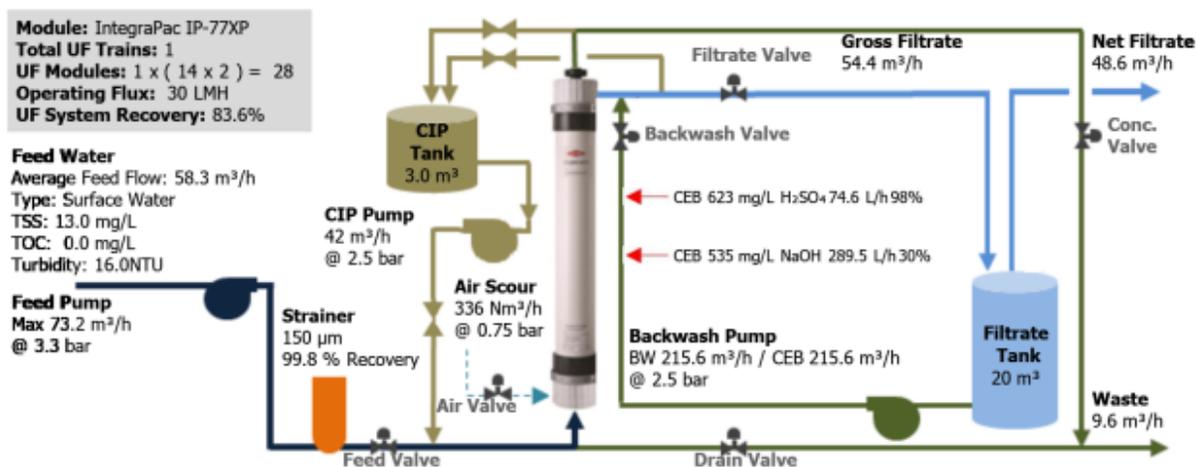


Figure IV.9 : Conception UF

IV.B.1.1. Les résultats obtenus par la simulation en ultrafiltration :**Tableau IV.1 : Qualité de l'eau UF**

Stream Name		Stream 1	
Water Type		Surface Water (10.0 - 40.0 °C)	
		Feed	Expected UF Product Water Quality
Temperature	(°C)	25.0	25.0
Turbidity	(NTU)	16.0	≤ 0.1
TSS	(mg/L)	13.0	-
TDS	(mg/L)	300	300
pH		8.1	8.1

IV.B.1.2. Discussion des résultats :

Le logiciel WAVE recommandait un filtre de 150 µm pour éliminer les solides en suspension, S'ils ne sont pas supprimés, ces solides en suspension obstrueraient les membranes UF.

Le rapport de conception détaillée UF (Figure IV.8) a montré les cycles de fonctionnement de l'unité UF comprenaient les cycles de lavage en place et les cycles de lavage à contre-courant chimique ainsi que ses différents paramètres tel que les pressions nominales de la membrane, l'hydraulique de la pompe, les coûts électriques et les dimensions du réservoir de stockage. Il est à noter que chaque spécification est essentielle pour mettre en œuvre la conception.

Les résultats du perméat et de l'alimentation UF (Tableau IV.1) démontré que le total des solides en suspension dans le flux de sortie UF a été complètement supprimé. Considérant que le but de l'UF était d'éliminer les solides en suspension de l'eau de source, ce résultat était anticipé. Même si le carbone organique total était légèrement diminué, l'opération UF n'a pas affecté les solides dissous totaux de l'eau de source. La réduction de ces derniers était prévue par l'opération d'osmose inverse subséquente.

Remarque :

Les produits chimiques de dosage recommandés maintenir le PH de l'eau dans les intervalles souhaitables pour intercepter l'entartrage des membranes.

IV.B.1.3. Cout des services et produits chimique utilise dans l'unité d'ultrafiltration :

Tableau IV.2 : cout de service de l'eau

	Average Flowrate (m ³ /h)	Unit Cost (Dzd/m ³)	Hourly Cost (Dzd/h)	Daily Cost (Dzd/d)
Non-Product Feed Water	9.57	25.0000	239.26	5,742.32
Waste Water Disposal	9.57	20.0000	191.41	4,593.86
Total Service Water Cost				10,336.18

Tableau IV.3 : cout de l'électricité et des pompes hydrauliques

Pump	Peak Flowrate (m ³ /h)	Average Pressure (bar)	Mechanical Power (kW)	Electrical Power (kW)	Energy (kWh/d)	Cost (Dzd/d)
Feed	73.23	1.17	2.27	3.09	61.68	3,392.58
Backwash	215.60	1.06	6.32	8.59	4.29	236.01
CEB	215.60	1.06	6.32	8.59	1.22	67.00
H ₂ SO ₄ (98%) Metering Pump	0.07		0.00	0.01		
NaOH (30%) Metering Pump	0.29		0.01	0.02		
CIP	42.00	2.50	2.92	3.96	0.13	6.91
H ₂ SO ₄ (98%) Metering Pump	0.01		0.00	0.00		
NaOH (50%) Metering Pump	0.03		0.00	0.00		
NaOCl(12%) Metering Pump	0.62		0.05	0.07		
CIP Solution Heating				34.35	1.09	59.91
Air Compressor	336.00	0.75	5.74	12.48	7.12	391.42
Electrical Valves				0.00	0.00	0.00
PLC and Instrumentation				0.10	2.40	132.00
Total Electrical Cost					77.93	4,285.91

Tableau IV.4 : cout des produits chimiques

Utility and Chemical Cost	(Dzd/d)	14,622.17
Specific Water Cost	(Dzd/m ³)	12.532

Le cout unitaire de traitement par UF est estime à 12.532 Dzd/m³

IV.B.2. Osmose inverse :

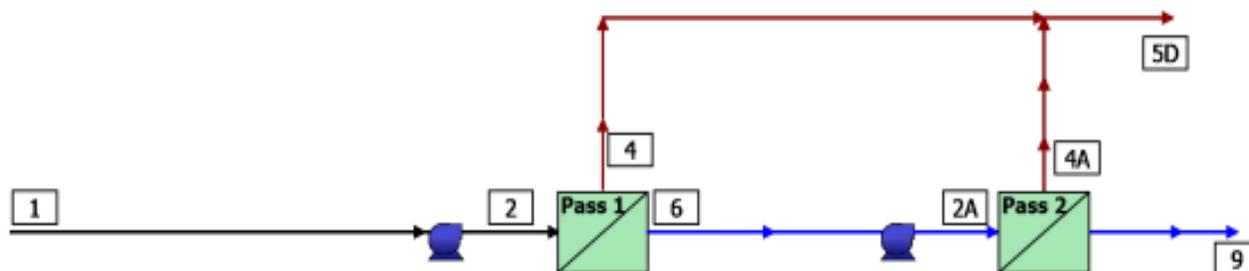


Figure IV.10 : Diagramme de flux du système RO

IV.B.2.1. Les résultats obtenus par la simulation en Osmose inverse :

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

Tableau IV.5 : Informations sur le flux RO

#	Description	Flow (m³/h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)	#	Description	Flow (m³/h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	48.6	299.9	0.0	2A	Net Feed to Pass 2	41.3	3.27	19.5
2	Net Feed to Pass 1	48.6	300.1	15.2	4A	Total Concentrate from Pass 2	6.61	18.66	18.2
4	Total Concentrate from Pass 1	7.28	1,981	14.0	5D	Net Concentrate	13.9	1,047	-
6	Total Permeate from Pass 1	41.3	3.27	0.0					
9	Net Product	34.7	0.38	0.0					

Tableau IV.6 : Concentrations de soluté RO-
Passe 1

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentration	Permeate	
		Stage1	Stage1	Total to Pass 2
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	12.09	79.75	0.16	0.16
Na ⁺	69.08	456.0	0.87	0.87
Mg ⁺²	5.18	34.54	0.01	0.01
Ca ⁺²	12.26	81.73	0.02	0.02
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.16	2.62	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	14.50	89.44	0.73	0.73
NO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	67.59	446.7	0.77	0.77
Br ⁻¹	25.00	164.2	0.46	0.46
SO ₄ ⁻²	90.63	603.7	0.19	0.19
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	3.35	22.06	0.05	0.05
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	0.15	0.45	0.29	0.29
TDS ^a	299.9	1,981	3.27	3.27
Cond. μS/cm	528	3,198	5	5
pH	8.1	8.3	6.6	6.6

Tableau IV.7 : Concentrations de soluté RO-
Passe 2

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentration	Permeate	
		Stage1	Stage1	Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	0.16	0.94	0.01	0.01
Na ⁺	0.87	5.04	0.08	0.08
Mg ⁺²	0.01	0.03	0.00	0.00
Ca ⁺²	0.02	0.10	0.00	0.00
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.01	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	0.73	3.80	0.18	0.18
NO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	0.77	4.65	0.04	0.04
Br ⁻¹	0.46	2.56	0.06	0.06
SO ₄ ⁻²	0.19	1.21	0.00	0.00
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	0.05	0.32	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	0.29	0.21	0.28	0.28
TDS ^a	3.27	18.66	0.38	0.38
Cond. μS/cm	5	30	1	1
pH	6.6	7.5	6.1	6.1

IV.B.2.2. Coûts des services publics et des produits chimiques dans l'unité de l'osmose inverse :

Tableau IV.8 : cout de Service de l'eau

	Flow Rate (m ³ /h)	Unit Cost (Dzd/m ³)	Hourly Cost (Dzd/h)	Daily Cost (Dzd/d)
Non-Product Feed Water				
Pass 1	7.3	25.0000	182.10	4370.33
Pass 2	6.6	25.0000	165.23	3965.60
Total Non-product Feed Water Cost	13.9		347.33	8335.93
Waste Water Disposal				
Pass 1	7.3	20.0000	145.68	3496.27
Pass 2	6.6	20.0000	132.19	3172.48
Total Waste Water Disposal	13.9		277.87	6668.75
Total Service Water Cost				15004.68

Tableau IV.9 : cout de l'électricité

Peak Power	(kW)	53.6
Energy	(kWh/d)	1,287
Electricity Unit Cost	(Dzd/kWh)	55.0000
Electricity Cost	(Dzd/d)	70,785
Specific Energy	(kWh/m ³)	1.54

Tableau IV.10 : cout des pompes

Pump	Flow Rate (m ³ /h)	Power (kW)	Energy (kWh/d)	Cost (Dzd/d)
Pass 1				
Feed	48.58	25.62	614.93	33,820.90
Pass 1 Total		25.62	614.93	33,820.90
Pass 2				
Feed	41.29	28.00	672.08	36,964.16
Pass 2 Total		28.00	672.08	36,964.16
System Total		53.62	1,287.01	70,785.06

Tableau IV.11 : cout des produits chimique

Utility and Chemical Cost	(Dzd/d)	85,790
Specific Water Cost	(Dzd/m ³)	102.988

Le cout unitaire de traitement par osmose inverse est estime à 102.988 Dzd/m³.

IV.B.2.3. Comparaison entre des résultats obtenus par la simulation en osmose inverse, les résultats réels obtenus par laboratoire central de Sider El-Hadjar et la qualité de l'eau demandée :

Dans cette partie on va évaluer la qualité d'eau produite par l'osmose inverse dans la zone EST de Sider El-Hadjar qui a été analyser par laboratoire central d'analyse en fonction de la qualité d'eau osmosée demandé et celle de la simulation par le logiciel WAVE. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.12 : comparaison entre les qualités d'eau

Les paramètres de l'eau	La qualité d'eau demandée	La qualité d'eau réelle	La qualité d'eau produite par la simulation
TDS (mg/L)	<8	7	0,38
Conductivité (μS/cm)	<10	14,5	1
PH	6,5-8,3	7	6,1
Chlorure (mg/L)	< 3	7,1	0,04
TH (°F)	<0,3	0,4	0
TA (°F)	0	0	0
TAC (°F)	0,6	0,6	0,0147
Débit sortant de l'unité d'osmose inverse (m ³ /h)	35	20	34,7

Validation de la simulation par le logiciel WAVE :

D'après le tableau (IV.12) nous observons que le total des matières dissoutes dans le perméat est réduit de 300 mg/l à 0,38 mg/l, qui est inférieure à 8 mg/l. cette réduction des matières dissoutes est causée par la membrane d'osmose inverse qui retient la plupart des solides dissous, tels que les sels, les minéraux et les contaminants.

Lors de la réduction des matières dissoutes, on peut observer à partir du tableau que la conductivité électrique de l'eau osmosée produite par notre simulation diminuera également. Cette dernière est égale à 1μs/m après avoir été égal à 528 μs/cm.

D'autre part, le PH de l'eau de perméat diminue de 8,13 à 6,1, et la concentration de chlorure est de 0,04 mg/l, qui est inférieure à 3 mg/l.

Nous vous informons que le rapport obtenu à partir de la simulation par le programme WAVE n'affichait pas les valeurs de TA, TH et TAC (Titre Alcalimétrique, titre hydrotimétrique et Titre Alcalimétrique Complet), mais on peut les calculer à partir des concentrations obtenues dans le tableau (IV.7).

Premièrement, nous savons que le TH est la teneur en calcium et magnésium dans l'eau. Ces derniers avaient des concentrations nulles en sortie de l'osmose inverse par la simulation (tableau IV.7), dont ce cas le TH de l'eau osmosée est nul.

Deuxièmement, le TAC est calculé par la relation suivante :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (\text{IV.1})$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 0 \text{ mg/l}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 0,18 \text{ mg/l} = 0,0147 \text{ °F}$$

Et nous savons que :

$$K = [\text{OH}^-] [\text{H}_3\text{O}^+], K = 10^{-14}.$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-6,1} \text{ mg/l. Car } [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}.$$

$$\text{Donc } [\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-6,1}} = 10^{-7,9} \text{ mg/l, On peut dire qu'elle est négligeable.}$$

Enfin on peut dire que $\text{TAC} = 0,0147 \text{ °F}$

Troisièmement, le TA est calculé par la relation suivante :

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2}[\text{CO}_3^{2-}] \quad (\text{IV.2})$$

Donc on peut dire qu'il est négligeable.

Enfin le débit obtenu par la simulation WAVE est estimé à $34,7 \text{ m}^3/\text{h}$. une valeur très proche de $35 \text{ m}^3/\text{h}$.

D'après les résultats obtenus qui sont conforme à la demande on peut dire que notre simulation est validée.

Comparaison entre la qualité d'eau osmosée obtenue par le logiciel WAVE water treatment design et celle de Sider El-Hadjar :

D'après le tableau (IV.12), on remarque que qualité de l'eau réelle n'est pas parfaite et ne correspond pas tout à fait à la qualité demandée, contrairement à celle obtenue par notre simulation. D'ailleurs, la concentration de chlorure était supérieure à 3 mg/l et la conductivité à dépasser $10 \text{ } \mu\text{s/cm}$. On note également que le débit réel sortant est égal à $20 \text{ m}^3/\text{h}$, et là on se retrouve devant le plus gros problème qui concerne la production d'eau osmosée, pour laquelle le débit de production est très faible par rapport au débit demandé qui est estimé à $35 \text{ m}^3/\text{h}$. Pour cela, la production a été modifiée pour atteindre la valeur requise et pour y parvenir, ils ont augmenté la pression d'entrée de l'eau dans l'osmose inverse, créant ainsi beaucoup de force et

donc une vitesse élevée poussant l'eau à travers la membrane, qui à son tour augmente le débit sortant. Mais malheureusement cela peut endommager la membrane d'osmose inverse et diminuer la qualité de l'eau osmosée produite, car l'eau passant à une grande vitesse entraîne avec elle les sédiments vers la fin de la membrane d'osmose inverse, qui peut l'abîmer et l'obstruer, rendant notre eau de perméation de mauvaise qualité. Donc pour avoir une bonne production qui correspond à la demande dans Sider El-Hadjar, cela peut augmenter la salinité de l'eau d'alimentation ce qui nuit à la qualité de l'eau osmosée produite.

IV.B.2.4. Les facteurs qui influencent la production et la qualité de l'eau osmosée et les solutions proposées :

D'après les résultats précédents, le rendement en eau de perméat est très faible en raison de la membrane d'osmose inverse endommagée. Ce dommage peut être due à plusieurs facteurs, on peut citer par exemple : la présence de quelque éléments chimiques avec une concentration élevées, tel que le fer qui peut obstruer les pores de la membrane ou se déposer sur la surface de la membrane formant une couche de dépôt, réduisant ainsi le débit d'eau de perméation, surtout qu'on est dans une usine sidérurgique. Ou à cause du préfiltre de RO qui est d'après notre observation faites lors de notre visite a subi une destruction, ce qui a entraîné une baisse de ses performances qui résident dans la protection de la membrane.

Aussi nous recommandons :

- Le changement des membranes d'osmose inverse avec des nouvelles (on peut les remplacer par des membranes correspondantes ou par d'autres équivalentes ou meilleures telles utilisé dans notre simulation **Eco Pro-400**).
- Le changement des préfiltres de manière régulière.
- Le procédés à une analyse plus complète de l'eau d'alimentation surtout le Fer qui est présent dans l'usine, ce dernier est un poisson des membranes d'osmose inverse.
- Le procède à une maintenance préventive de tout le système de prétraitement.

Conclusion :

Ce chapitre a montré l'utilisation d'un nouveau logiciel de conception et de simulation qui est le WAVE water treatment design.

Lors de l'analyse des résultats obtenus à partir de chacune des simulations par le programme WAVE et des résultats du laboratoire El-Hadjar, il est clair que la quantité d'eau extraite dans la simulation (34,7 m³/h) est bien meilleure que les résultats du laboratoire (20 m³/h).

Par conséquent, pour résoudre ce problème et assurer une production et une qualité excellentes, il est nécessaire de remplacer régulièrement la membrane d'osmose inverse et de prêter attention aux facteurs susceptibles qui peuvent l'endommager.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'objectif de cette étude est d'assurer une bonne production de l'eau déminéralisée avec une haute qualité en plus d'une performance efficace d'osmose inverse, pour satisfaire les exigences de la zone EST du complexe sidérurgique El-Hadjar Annaba.

Nous nous sommes appuyés sur un nouveau design pour concevoir et simuler le fonctionnement des systèmes de traitement d'eau utilisant les technologies d'ultrafiltration et d'osmose inverse, qui est le WAVE water treatment design. Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus par logiciel WAVE et les analyses de laboratoire centrale du complexe.

Les analyses des résultats obtenues par la simulation montrent que la qualité d'eau produite est conforme à la qualité d'eau demandée dans la zone EST du complexe. Alors que, les analyses des résultats obtenus par laboratoire centrale du complexe montrent que la qualité de l'eau produite par osmose inverse ne correspond pas à tous les critères exigés et ne serait pas pleinement conforme à la qualité d'eau demandée.

Le débit de perméation de la membrane du procédé d'osmose inverse a montré que la production est très faible ($20\text{m}^3/\text{h}$) par rapport au débit demandé qui est estimé à $35\text{m}^3/\text{h}$. Il a également été observé que pour atteindre le débit requis, on augmente le débit d'eau entrant dans l'osmose inverse, ce qui entraînerait une augmentation du débit sortant, mais cela s'accompagnerait d'une diminution de la qualité de perméat.

D'après les résultats précédents, on peut conclure que la diminution du débit de perméation était due au vieillissement des membranes d'osmose inverse (RO). La présence du fer avec une concentration élevée, qui est un grave poison pour les membranes de RO, qui peut se déposer en surface membrane et former une couche de dépôts, ou en raison de dommages le préfiltre de l'osmose inverse, qui joue un rôle important dans la protection de la membrane d'osmose inverse car son objectif principal est d'empêcher l'accumulation de particules solides, de sédiments, de matières organiques et d'autres contaminants dans la membrane d'osmose inverse. Ceci explique les mauvaises performances de l'osmose inverse.

Pour résoudre ce problème afin d'assurer une bonne production avec une bonne qualité de l'eau, il est nécessaire :

- En premier lieu de remplacer les membranes d'osmose inverse.
- Pour améliorer sa performance et prolongée sa durée de vie, procéder à des analyses plus complètes de l'eau brute et surtout rechercher le fer dissous. En cas de présence de fer dissous prévoir un traitement de déferrisation.
- Remplacer régulièrement des filtres 5 microns de RO pour préserver les membranes.

Référence Bibliographique

Reference Bibliographique :

- [1] <https://www.aps.dz/economie/144336-sider-el-hadjar-a-annaba-le-symbole-de-l-industrie-siderurgique-algerienne-face-au-defi-de-l-efficience-economique>; consulté
- [2] <http://sider-elhadjar.alsolb-dz.com/Hist.aspx>
- [3] <https://www.politics-dz.com/ar/%D9%85%D8%B1%D9%83%D8%A8-%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AC%D8%A7%D8%B1-%D8%B9%D9%85%D9%84%D8%A7%D9%82-%D8%A8%D8%A3%D8%B1%D8%AC%D9%84-%D9%85%D9%86-%D8%B7%D9%8A%D9%86>
- [4] [Complexe sidérurgique d'El Hadjar — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)
- [5] Sabrina BOUZIANE, Analyses et suivie du comportement des eaux des circuits de refroidissement du Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar, Mémoire de master en Génie Chimique, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA (2018).
- [6] <https://www.elwatan.com/edition/actualite/ait-ali-promet-de-relancer-sider-el-hadjar>
- [7] <https://fr.wikipedia.org/wiki/ArcelorMittal>
- [8] [search?q=cokerie+el+hadjar&rlz=1C1NDCM_fr](https://www.google.com/search?q=cokerie+el+hadjar&rlz=1C1NDCM_fr)
- [9] <http://www.aps.dz/economie/109669-complexe-el-hadjar-coup-d-envoi-de-la-recuperation-des-residus-du-haut-fourneau-n-1>
- [10] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Complexe sid%C3%A9rurgique d%27El Hadjar](https://fr.wikipedia.org/wiki/Complexe_sid%C3%A9rurgique_d%27El_Hadjar)
- [11] Kohil Maroua et Yousfi Nesrine, etude de l'efficacite du traitement des eaux de refroidissement de l'unité TSS du complexe siderurgique d'El-Hadjar, Mémoire de Master en Génies des procédés de l'environnement, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA (2021).
- [12] <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/10/Bengacemi-Ilyes-El-Houari.pdf>
- [13] documents technique, Type d'installation ultrafiltration 03/03/2017
- [14] https://www.facebook.com/SiderElHadjarOfficielle/posts/405752106502574/?locale=ar_AR
- [15] <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/connaissez-vous-les-usages-non-domestiques-de-leau/>
- [16] <https://traitement-eau.ooreka.fr/astuce/voir/624673/eau-brute>
- [17] https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_brute
- [18] https://www.dictionnaire-environnement.com/eau_industrielle_ID1237.html
- [19] <https://ar.pureaqua.com/industrial-water-purification/>

- [20] <http://m.ar.hbmembrane.net/uf-system/ultrafiltration-definition.html> .
- [21] <https://www.rotec-hid.com/ar/news/what-is-the-difference-between-the-ultrafiltration-membrane-and-the-reverse-osmosis-membrane/> .
- [22] <https://www.josmose.fr/blog/29-l-eau-osmosee-est-elle-gratuite-> .
- [23] <http://sider-elhadjar.alsolb-dz.com/> .
- [24] Aissaoui Khaoula et Boulerka Kawter, Prospection des performances des procédés d’ultrafiltration et d’osmose inverse dans le traitement de finition des eaux industrielles de SIDER ANNABA : étude analytique, mémoire de master en Génie de procédés de l’environnement, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA (2021).
- [25] Cours de master 2, Génie de procédés de l’environnement « traitement et épuration de l’eau » Dr. Bessedik Madani ; Université Tlemcen.
- [26] <https://www.trevi-env.com/fr/eau-realizations/eau-overzicht/129-eau-technikfiches-fr/447-degrillage-tamisage>.
- [27] Cours de master 2, Génie de procédés de l’environnement « traitement et épuration de l’eau » Dr. Bessedik Madani ; Université Tlemcen.
- [28] <http://www.economie-denergie.wikibis.com/degrillage.php>.
- [29] <https://www.jcfranceindustrie.fr/degrillage/#>.
- [30] [https://www.equipwater.com/fr/equipements/tamisage/#:~:text=Le%20tamisage%20est%20le%20second,\(aussi%20appel%C3%A9%20maille%20johnson\)](https://www.equipwater.com/fr/equipements/tamisage/#:~:text=Le%20tamisage%20est%20le%20second,(aussi%20appel%C3%A9%20maille%20johnson)).
- [31] <https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/tamiseuse-b#:~:text=Pour%20%C3%A9liminer%20certains%20%C3%A9l%C3%A9ments%20en,sur%20toile%20%C3%A0%20maille%20crois%C3%A9>.
- [32] <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/pretraitements/dessablage/generalites>.
- [33] <https://www.definitivecology.com/fr/produits/installations-compactes-de-pre-traitement/dessablage-et-deshuilage-degraisage/>.
- [34] <https://slideplayer.fr/slide/2880935/>.
- [35] <https://www.1h2o3.com/apprendre/traitement-physico-chimique/la-coagulation/>.
- [36] <https://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/8/traitement-eaux-conventionnel>.
- [37] Raymond Desjardins, Le traitement des eaux, Édition de l’École Polytechnique de Montréal, 317 pages, 1997.
- [38] <https://eau.seine-et-marne.fr/sites/eau.seine-et-marne.fr/files/media/downloads/fiche-5-decarbonatation.pdf>.

- [39] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/precipitations-chimiques/elimination-de-la-durete-calcium-et-magnesium> .
- [40] [La filière filtres plantés de roseaux \(seine-et-marne.fr\)](http://www.seine-et-marne.fr)
- [41] <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/iii-procedes-de-traitement/iii-a-les-principaux-procedes-de-traitement-physique/3-la-filtration-sur-sable.html>
- [42] <https://www.cleantechwater.co.in/ultrafiltration-water-treatment-plant-systems/>
- [43] <https://www.aquaportail.com/definition-14730-osmose-inverse.htm>
- [44] <https://www.lenntech.fr/bibliotheque/osmose-inverse/osmose-inverse-definition.htm>
- [45] <https://genie-alimentaire.com/spip.php?article299>
- [46] Amoura Chaima et Toumi Rihab, dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, Mémoire de master en Génie de procédé de l'environnement, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA (2019)
- [47] Sahbi Nawal, étude de dessalement des eaux de mer par l'osmose inverse de la commune de Bou Haroun, mémoire de master en hydraulique urbaine, Université Oum-El-Bouaghi (2012)
- [48] <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/5624/1/32-660-216-1.pdf>
- [49] Ranganathan et al, 2007 ; Chidambaram and Michael, 2015 ; Chang et al, 2011.
- [50] N. WEMSY DIAGNE, Le nettoyage : une étape-clef pour une production durable par procédé à membrane : réflexion sur le lien entre conceptions de production et nettoyabilité d'une membrane PES de l'industrie laitière, Thèse de Doctorat en chimie, Université de Rennes 1(2013).
- [51] G. Crini and P.-M. Badot, Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique. Presses Univ. Franche-Comté, 2007
- [52] A. ATALLAH, Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer, Mémoire de Master en Biologie, Université de Tlemcen (2014).
- [53] N. WEMSY DIAGNE, Le nettoyage : une étape-clef pour une production durable par procédé à membrane : réflexion sur le lien entre conceptions de production et nettoyabilité d'une membrane PES de l'industrie laitière, Thèse de Doctorat en chimie, Université de Rennes 1(2013).
- [54] http://patricebacchin.fr/cours/membrane/co/24_perm.html
- [55] Mechenguel Ahlem et Mehdi Hanane, Comparaison des paramètres des châssis d'osmose inverse avant et après lavage chimique, mémoire de master en Génie chimique (2019).
- [56] <https://genie-alimentaire.com/spip.php?article299>

Annexe



WATER APPLICATION VALUE ENGINE

WATER SOLUTIONS

WAVE Program Version: 1.82.824

Calculation Engine Version: 01.12.20.03

Database Version: 39

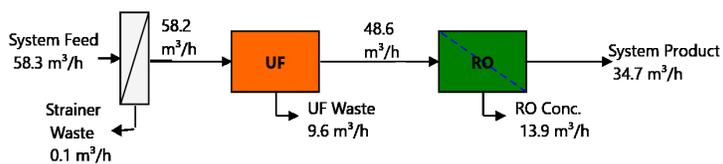


Project Name: BENouhiba et hannachi
Case Name: Case 1
Customer:
Prepared by: BENouhiba lina et hannachi chahinez
Company: water in annaba
Country:
Date Created: May 14, 2023
Project Notes:

Case #: 1 of: 1
Case Notes: Case 1

Keywords:

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



		Strainer	Ultrafiltration	Reverse Osmosis	Final pH Adjustment
Feed	Flow Rate (m ³ /h)	58.3	58.2	48.6	34.7
	TDS (mg/L)	300.1 ^b	300.1 ^b	299.9 ^a	0.4 ^b
	pH	8.1	8.1	8.1	6.0
	Pressure (bar)	1.2	1.2	15.2	15.2
	Temperature (°C)	#Error	#Error	#Error	#Error
Product	Flow Rate (m ³ /h)	58.2	48.6	34.7	34.7
	TDS (mg/L)	300.1 ^b	300.1 ^b	0.4 ^a	0.9 ^b
	pH	8.1	8.1	6.0	7.0
	Recovery	99.8 %	83.55 %	71.4 %	100.0 %
	Operating Costs (Dzd/h)	-	609.3	3,574.6	0.0
	Specific Energy (kWh/m ³)	-	0.07	1.54	-
	Operating Cost (€)	-	12.532	102.988	0.00
System	Specific Energy (kWh/m ³)	1.64			
	Operating Cost (€)	120.57			
	Feed Flow Rate (m ³ /h)	58.3			
	Product Flow Rate (m ³ /h)	34.7			
	Recovery	59.5 %			

Footnotes:

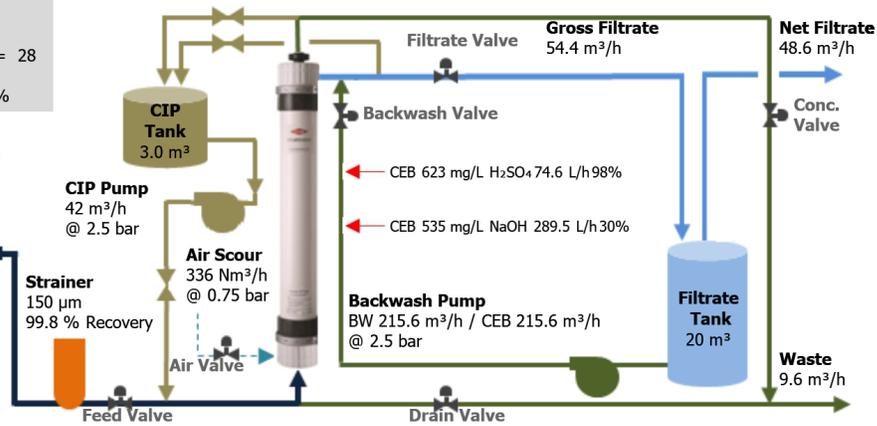
^aTotal Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂
^bTotal Dissolved Solutes includes ions, SiO₂, B(OH)₃, NH₃ and CO₂ as H₂CO₃

UF Detailed Report

Module: IntegraPac IP-77XP
Total UF Trains: 1
UF Modules: 1 x (14 x 2) = 28
Operating Flux: 30 LMH
UF System Recovery: 83.6%

Feed Water
Average Feed Flow: 58.3 m³/h
Type: Surface Water
TSS: 13.0 mg/L
TOC: 0.0 mg/L
Turbidity: 16.0NTU

Feed Pump
Max 73.2 m³/h
@ 3.3 bar



UF System Overview

Module Type	IntegraPac IP-77XP	
# Trains	Online = 1	Standby = 0
		Redundant = 0
# Modules	Per Train = 28	Total = 28
System Flow Rate (m ³ /h)	Gross Feed = 58.3	Net Product = 48.6
Train Flow Rate (m ³ /h)	Gross Feed = 58.3	Net Product = 48.6
UF System Recovery (%)	83.55	
TMP (bar)	0.25 @ 10.0 °C	0.17 @ 25.0 °C
Utility Water	Forward Flush: Pretreated water	Backwash: UF filtrate water
	CEB Water Source: UF filtrate water	CIP Water Source: UF filtrate water

UF Operating Conditions

	Duration	Interval	Flux/Flow
Filtration:	20.0 min	22.8 min	-
Instantaneous			
1 Online Trains			30 LMH
1 Total Trains			30 LMH
Average			25 LMH
Net			23 LMH
Backwash	2.8 min	22.8 min	100 LMH
Acid CEB	15.4 min	8 h	100 LMH
Alkali CEB	15.4 min	8 h	100 LMH
CIP	307.6 min	60 d	1.50 m ³ /h



UF Water Quality

Stream Name	Stream 1		
Water Type	Surface Water (10.0 - 40.0 °C)		
		Feed	Expected UF Product Water Quality
Temperature	(°C)	25.0	25.0
Turbidity	(NTU)	16.0	≤ 0.1
TSS	(mg/L)	13.0	-
TDS	(mg/L)	300	300
pH		8.1	8.1

UF Configuration Options

Standby Option:	Constant module flux, variable plant filtrate flow
Storage Tank Option:	Storage Tank sized to maintain constant net filtrate flow
Forward Flush Water Source:	Pretreated water
BW Water Source:	UF filtrate water
CEB Water Source:	UF filtrate water
CIP Water Source:	UF filtrate water

UF System Size and Module Details

Trains		Module Details		
		Name: IntegraPac IP-77XP		
Online Trains	1	Membrane Area	77 m ²	829 ft ²
Standby Trains	0	Length	2.491 m	98.1 in
Redundant Trains	0	Diameter	0.225 m	8.9 in
Total Trains	1	Weight (empty)	66 kg	146 lb
Max Offline Trains	1	Weight (water filled)	119 kg	262 lb
Modules/Train	28	Water Volume	53.0 L	14.0 gal
Total Modules	28			
IntegraPac™				
IntegraPac Skids/Train	2			
Modules/IntegraPac Skid	14			
Total IntegraPac Skids	2			


UF Flow Details

Stream		Maximum Flow ^a	Average Flow
Feed (Gross)	(m ³ /h)	73.2	58.3
Feed Water Used for	(m ³ /h)		
Pretreatment	(m ³ /h)		0.1
Forward Flush & Process Streams	(m ³ /h)		3.8
Feed (Net)	(m ³ /h)	65.3	54.4
Filtrate (Gross)	(m ³ /h)	65.3	54.4
Filtrate Used for Cleaning	(m ³ /h)		5.8
Filtrate (Net)	(m ³ /h)		48.6
Air	(N m ³ /h)	336.0	8.0
Backwash (BW)	(m ³ /h)	215.6	4.5
Forward Flush Flowrate	(m ³ /h)	73.1	3.8
CEB 1 (Acid)	(m ³ /h)	215.6	0.6
CEB 2 (Alkali and/or Oxidant)	(m ³ /h)	215.6	0.6
CIP Recycle	(m ³ /h)	42.0	0.0
CEB H ₂ SO ₄ (98%) Metering Pump	(L/h)	74.6	
CEB NaOH (30%) Metering Pump	(L/h)	289.5	
CIP H ₂ SO ₄ (98%) Metering Pump	(L/h)	14.5	
CIP NaOH (50%) Metering Pump	(L/h)	29.5	
CIP NaOCl(12%) Metering Pump	(L/h)	616.0	

Footnotes:

^a Maximum possible flow rate


UF Pump Hydraulics and Electrical Cost

Pump	Peak Flowrate (m ³ /h)	Average Pressure (bar)	Mechanical Power (kW)	Electrical Power (kW)	Energy (kWh/d)	Cost (Dzd/d)
Feed	73.23	1.17	2.27	3.09	61.68	3,392.58
Backwash	215.60	1.06	6.32	8.59	4.29	236.01
CEB	215.60	1.06	6.32	8.59	1.22	67.00
H ₂ SO ₄ (98%) Metering Pump	0.07		0.00	0.01		
NaOH (30%) Metering Pump	0.29		0.01	0.02		
CIP	42.00	2.50	2.92	3.96	0.13	6.91
H ₂ SO ₄ (98%) Metering Pump	0.01		0.00	0.00		
NaOH (50%) Metering Pump	0.03		0.00	0.00		
NaOCl(12%) Metering Pump	0.62		0.05	0.07		
CIP Solution Heating				34.35	1.09	59.91
Air Compressor	336.00	0.75	5.74	12.48	7.12	391.42
Electrical Valves				0.00	0.00	0.00
PLC and Instrumentation				0.10	2.40	132.00
Total Electrical Cost					77.93	4,285.91

UF Pressure Ratings

Process	T (°C)	TMP ^a (bar)	Fouling Max ΔP (bar)	Piping ΔP (bar)	Filtrate Pres. (bar)	Feed Pres. ^b (bar)	Pres. Rating (bar)	OK? ^c
Filtration								
Minimum Temp.	10.0	0.25	0.00	0.73	0.50	1.48	6.25	√
Design Temp.	25.0	0.17	0.00	0.50	0.50	1.17	6.00	√
Maximum Temp.	40.0	0.12	0.00	0.37	0.50	0.99	4.75	√
BW	25.0	0.56	0.00	0.50		1.06	6.00	√
CEB	25.0	0.56	0.00	0.50		1.06	6.00	√
CIP	35.0			2.50		2.50	5.25	√

Footnotes:

^a At actual, average flux

^b Sum of TMP, fouling ΔP, piping ΔP and filtrate pressure. Does not include pressure drop at the strainer. Pressure drops are based on user inputs. Default values should not be used for pump sizing

^c Comparison of Feed Pressure to Pressure Rating—a conservative comparison due to piping losses between the feed pump and module inlet.



UF Storage Tanks

Name	Bulk Conc. (%)	Minimum Recommended Volume (m ³)
Water ^a		19.7
CIP Tank		2.97
Chemical Storage ^b		
Sulfuric Acid (H ₂ SO ₄)	98%	0.159
Sodium Hypochlorite (NaOCl)	12%	0.021
Sodium Hydroxide (NaOH)	30%	0.62

Footnotes:

^a Storage tank sized to maintain constant net filtrate flow

^b The minimum recommended volume for chemical storage tanks is sized for 30 days of storage.

UF Design Warnings

None


Filtration Mode and Backwash Parameters

Normal Operation	Process Mode of Operation	Operation		Backwash (B/W)					Return to Operation ^d	Stop ^e
Operating Steps	Steps	1 Forward Flush at Start-up ^b	2 Filtration Mode	3 Air Inlet ^c	4 Drain	5 Backwash 1	6 Backwash 2	7 Forward Flush (FF)	2 Filtration Mode	- Stop
Pump and Valve Conditions	Feed Pump	o	o					o	o	
	Backwash Pump					o	o			
	Chem. Dosing Pump ^a									
	CEB Dosing Pump									
	CIP Recycle Pump									
	Feed Valve	o	o					o	o	
	Filtrate Valve		o						o	
	Conc. Valve	o		o	o	o		o		
	Backwash Inlet Valve					o	o			
	Drain Valve				o		o			
	Air Inlet Valve			o						
	Duration	~2.0-3.0 min.	20.0 min.	30 s	0 s	30 s	0 s	75 s	20.0 min.	
Flow Rate	2.6 m ³ /h	30 LMH	12.0 N m ³ /h	By gravity	100 LMH	100 LMH	2.6 m ³ /h	30 LMH		
Remarks	1. The filtration mode follows Steps 2-3-4-5-6-7-8. Backwash can be repeated several times according to the fouling degree of UF membrane modules. 2. The valve opening and closing time for each process step should be considered when programming is designed. 3. "o" = valve or pump is opened or operating.									
Footnotes	^a Use of chemical dosing pump during backwash is based on feed water source and quality. Refer to DuPont UF Design Guidelines. ^b Forward flush flow rate displayed on per-module basis. ^c Use of air scour and frequency is based on feed water source and quality. Air flow rate displayed on per-module basis. ^d May need to waste a portion of permeate to remove residual chemicals, depending on design and application. ^e If taken out of operation, add preservative and close all valves. Stop should occur only after backwash.									


CEB Parameters

CEB	CEB Mode of Operation	Operation	Chemically Enhanced Backwash (CEB)										Return to Operation ^d
Operating Steps	Steps	1 Filtration Mode	2 Air Inlet ^b	3 Drain	4 Backwash 1	5 Backwash 2	6 Soak	7 Air Inlet ^b	8 Drain	9 Backwash 1	10 Backwash 2	11 Forward Flush (FF) ^c	1 Filtration Mode
Pump and Valve Conditions	Feed Pump	o										o	o
	Backwash Pump				o	o				o	o		
	Chem. Dosing Pump												
	CEB Dosing Pump ^a				o	o							
	CIP Recycle Pump												
	Feed Valve	o										o	o
	Filtrate Valve	o											o
	Conc. Valve		o	o	o			o	o	o		o	
	Backwash Inlet Valve				o	o				o	o		
	Drain Valve			o		o			o		o		
	Air Inlet Valve		o					o					
	Duration	20.0 min.	45 s	0 s	45 s	45 s	10.0 min.	45 s	0 s	30 s	0 s	75 s	20.0 min.
	Flow Rate	30 LMH	12.0 N m ³ /h	By gravity	100 LMH	100 LMH	0.0 m ³ /h	12.0 N m ³ /h	By gravity	100 LMH	100 LMH	2.6 m ³ /h	30 LMH
Remarks	1. Frequency of CEB is based on feed water source and quality. Refer to DuPont UF Design Guidelines. 2. For a CEB, follow Steps 2-3-4-5-6-7-8-9-10-11. 3. "o" = valve or pump is opened or operating.												
Footnotes	^a Chemicals and concentrations used during CEB are based on feed water source and quality. Refer to DuPont UF Design Guidelines. ^b Air flow rate displayed on per-module basis. ^c Forward flush flow rate displayed on per-module basis. ^d May need to waste a portion of permeate to remove residual chemicals, depending on design and application.												


CIP Parameters

CIP	CIP Mode of Operation	Operation	Backwash (B/W) ^b					CIP ^c				Backwash (B/W) ^b				Return to Operation ^e
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Steps	Filtration Mode	Air Inlet ^a	Drain	Backwash 1	Backwash 2	Drain	CIP Recycle ^d	Soak ^e	CIP Recycle ^d	Drain	Backwash 1	Backwash 2	Forward Flush (FF) ^f	Filtration Mode	
Pump and Valve Conditions	Feed Pump	o												o	o	
	Backwash Pump				o	o						o	o			
	Chem. Dosing Pump															
	CEB Dosing Pump															
	CIP Recycle Pump							o		o						
	Feed Valve	o												o	o	
	Filtrate Valve	o													o	
	Conc. Valve		o	o	o		o		o		o	o		o		
	Backwash Inlet Valve				o	o						o	o			
	Drain Valve			o		o	o				o		o			
	Air Inlet Valve		o													
	Duration	20.0 min.	30 s	0 s	30 s	0 s	0 s	30.0 min.	90.0 min.	30.0 min.	0 s	30 s	0 s	75 s	20.0 min.	
Flow Rate	30 LMH	12.0 N m ³ /h	By gravity	100 LMH	100 LMH	By gravity	1.5 m ³ /h	0.0 m ³ /h	1.5 m ³ /h	By gravity	100 LMH	100 LMH	2.6 m ³ /h	30 LMH		
Remarks	1. Frequency of CIP is 1-3 months, adjusted according to operating conditions. 2. Start CIP with backwash sequence; complete CIP with backwash sequence. 3. CIP is done manually. 4. "o" = valve or pump is opened or operating.															
Footnotes	^a Air flow rate displayed on per-module basis. ^b This step should be repeated 2 times. ^c This step and duration is shown for a single chemical cleaning. If acid and base cleaning are both required, repeat Steps 6-13. ^d CIP recycle flow rate displayed on a per-module basis. ^e The duration of this step might be longer, up to overnight (12 hours), if the fouling is severe. ^f Forward flush flow rate displayed on per-module basis. ^g May need to waste a portion of permeate to remove residual chemicals, depending on design and application.															



UF Utility and Chemical Costs

Service Water

	Average Flowrate (m ³ /h)	Unit Cost (Dzd/m ³)	Hourly Cost (Dzd/h)	Daily Cost (Dzd/d)
Non-Product Feed Water	9.57	25.0000	239.26	5,742.32
Waste Water Disposal	9.57	20.0000	191.41	4,593.86
Total Service Water Cost				10,336.18

Electricity

Peak Power	(kW)	59.56
Energy	(kWh/d)	77.93
Electricity Unit Cost	(Dzd/kWh)	55.0000
Electricity Cost	(Dzd/d)	4,285.91
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.07

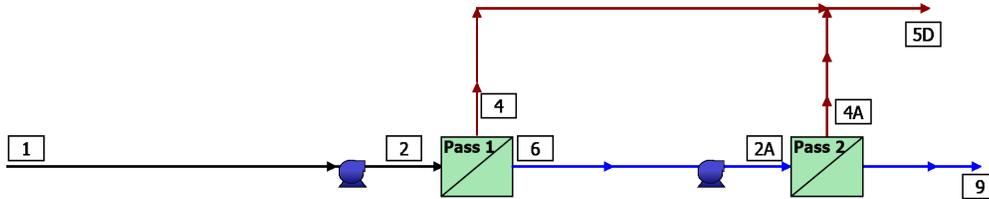
Chemicals

Chemical	Unit Cost (Dzd/kg)	Dose 100% (mg/L)	Volume (L/d)	Cost (Dzd/d)
HCl (0%)	0.001		0.0	0.00
H ₂ SO ₄ (98%)	0.001		5.3	0.01
CEB1		623		
CIP		623		
NaOCl (12%)	0.003		0.69	0.00
CIP		2000		
NaOH (30%)	0.003		20.6	0.07
CEB2		535		
CIP		535		
Total Chemical Cost				0.08

Utility and Chemical Cost	(Dzd/d)	14,622.17
Specific Water Cost	(Dzd/m ³)	12.532

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

RO Detailed Report
RO System Flow Diagram



#	Description	Flow (m³/h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)	#	Description	Flow (m³/h)	TDS (mg/L)	Pressure (bar)
1	Raw Feed to RO System	48.6	299.9	0.0	2A	Net Feed to Pass 2	41.3	3.27	19.5
2	Net Feed to Pass 1	48.6	300.1	15.2	4A	Total Concentrate from Pass 2	6.61	18.66	18.2
4	Total Concentrate from Pass 1	7.28	1,981	14.0	5D	Net Concentrate	13.9	1,047	-
6	Total Permeate from Pass 1	41.3	3.27	0.0					
9	Net Product	34.7	0.38	0.0					

RO System Overview

Total # of Trains	1	Online =	1	Standby =	0	RO Recovery	71.4 %
System Flow Rate	(m³/h)	Net Feed =	48.6	Net Product =	34.7		



Pass		Pass 1	Pass 2
Stream Name		Stream 1	-
Water Type		Surface With DuPont UF, SDI < 2.5	RO Permeate SDI < 1
Number of Elements		18	10
Total Active Area	(m ²)	669	372
Feed Flow per Pass	(m ³ /h)	48.6	41.3
Feed TDS ^a	(mg/L)	300.1	3.27
Feed Pressure	(bar)	15.2	19.5
Flow Factor Per Stage		0.85	1.00
Permeate Flow per Pass	(m ³ /h)	41.3	34.7
Pass Average flux	(LMH)	61.8	93.4
Permeate TDS ^a	(mg/L)	3.27	0.38
Pass Recovery		85.0 %	84.0 %
Average NDP	(bar)	12.8	17.3
Specific Energy	(kWh/m ³)	0.62	0.81
Temperature	(°C)	25.0	25.0
pH		8.1	6.6
Chemical Dose		-	-
RO System Recovery		71.4 %	
Net RO System Recovery		71.4%	
Specific Energy	(kWh/m ³)	1.54	

Footnotes:

^aTotal Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂

RO Flow Table (Stage Level) - Pass 1

Stage	Elements	#PV	#Els per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow	Recirc Flow	Feed Press	Boost Press	Conc Flow	Conc Press	Press Drop	Perm Flow	Avg Flux	Perm Press	Perm TDS
				(m 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	48.6	0.00	14.8	0.0	7.28	14.0	0.8	41.3	61.8	0.0	3.27


RO Solute Concentrations - Pass 1

Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentrat e	Permeate	
		Stage1	Stage1	Total to Pass 2
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	12.09	79.75	0.16	0.16
Na ⁺	69.08	456.0	0.87	0.87
Mg ⁺²	5.18	34.54	0.01	0.01
Ca ⁺²	12.26	81.73	0.02	0.02
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.16	2.62	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	14.50	89.44	0.73	0.73
NO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	67.59	446.7	0.77	0.77
Br ⁻¹	25.00	164.2	0.46	0.46
SO ₄ ⁻²	90.63	603.7	0.19	0.19
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	3.35	22.06	0.05	0.05
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	0.15	0.45	0.29	0.29
TDS ^a	299.9	1,981	3.27	3.27
Cond. μS/cm	528	3,198	5	5
pH	8.1	8.3	6.6	6.6

Footnotes:

^aTotal Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂



RO Design Warnings

Design Warning	Limit	Value	Pass	Stage	Element	Product
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.43	2.36	1	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.43	2.32	1	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.43	2.30	1	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.43	2.29	1	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.43	2.28	1	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.43	2.21	1	1	Eco Pro-400
Concentrate Flow Rate < Minimum Limit	(m ³ /h)	2.95	2.43	1	1	Eco Pro-400
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	19.0	20.0	1	1	Eco Pro-400
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	19.0	24.9	1	1	Eco Pro-400
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	19.0	33.0	1	1	Eco Pro-400
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	19.0	47.7	1	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.77	3.44	2	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.77	3.41	2	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.77	3.42	2	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.77	3.48	2	1	Eco Pro-400
Permeate Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	1.77	3.60	2	1	Eco Pro-400
Feed Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	17.0	20.6	2	1	Eco Pro-400
Feed Flow Rate > Maximum Limit	(m ³ /h)	17.0	17.2	2	1	Eco Pro-400
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	30.0	33.6	2	1	Eco Pro-400
Element Recovery > Maximum Limit	(%)	30.0	52.1	2	1	Eco Pro-400

Special Comments

None

RO Flow Table (Element Level) - Pass 1

Stage	Element	Element Name	Recovery (%)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed Press (bar)	Feed TDS (mg/L)	Conc Flow (m ³ /h)	Perm Flow (m ³ /h)	Perm Flux (LMH)	Perm TDS (mg/L)
1	1	Eco Pro-400	14.6	16.2	14.8	300.1	13.8	2.36	63.6	1.40
1	2	Eco Pro-400	16.8	13.8	14.6	351.1	11.5	2.32	62.6	1.66
1	3	Eco Pro-400	20.0	11.5	14.4	421.6	9.21	2.30	61.9	2.06
1	4	Eco Pro-400	24.9	9.21	14.2	526.3	6.92	2.29	61.6	2.78
1	5	Eco Pro-400	33.0	6.92	14.1	699.4	4.64	2.28	61.4	4.15
1	6	Eco Pro-400	47.7	4.64	14.1	1,041	2.43	2.21	59.6	7.83

RO Flow Table (Stage Level) - Pass 2

Stage	Element	#PV	#Els per PV	Feed				Concentrate			Permeate			
				Feed Flow (m ³ /h)	Recirc Flow (m ³ /h)	Feed Press (bar)	Boost Press (bar)	Conc Flow (m ³ /h)	Conc Press (bar)	Press Drop (bar)	Perm Flow (m ³ /h)	Avg Flux (LMH)	Perm Press (bar)	Perm TDS (mg/L)
1	Eco Pro-400	2	5	41.3	0.00	19.2	0.0	6.61	18.2	1.0	34.7	93.4	0.0	0.38

Solute Concentrations - Pass 2



Concentrations (mg/L as ion)				
	Feed	Concentration	Permeate	
		Stage1	Stage1	Total
NH ₄ ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	0.16	0.94	0.01	0.01
Na ⁺	0.87	5.04	0.08	0.08
Mg ⁺²	0.01	0.03	0.00	0.00
Ca ⁺²	0.02	0.10	0.00	0.00
Sr ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba ⁺²	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₃ ⁻²	0.00	0.01	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	0.73	3.80	0.18	0.18
NO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
F ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl ⁻	0.77	4.65	0.04	0.04
Br ⁻¹	0.46	2.56	0.06	0.06
SO ₄ ⁻²	0.19	1.21	0.00	0.00
PO ₄ ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	0.05	0.32	0.00	0.00
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	0.29	0.21	0.28	0.28
TDS*	3.27	18.66	0.38	0.38
Cond. μS/cm	5	30	1	1
pH	6.6	7.5	6.1	6.1

Footnotes:

*Total Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂

RO Flow Table (Element Level) - Pass 2

Stage	Element	Element Name	Recovery (%)	Feed Flow (m ³ /h)	Feed Press (bar)	Feed TDS (mg/L)	Conc Flow (m ³ /h)	Perm Flow (m ³ /h)	Perm Flux (LMH)	Perm TDS (mg/L)
1	1	Eco Pro-400	16.7	20.6	19.2	3.27	17.2	3.44	92.6	0.21
1	2	Eco Pro-400	19.8	17.2	18.8	3.89	13.8	3.41	91.8	0.25
1	3	Eco Pro-400	24.8	13.8	18.6	4.81	10.4	3.42	92.1	0.30
1	4	Eco Pro-400	33.6	10.4	18.4	6.31	6.90	3.48	93.7	0.40
1	5	Eco Pro-400	52.1	6.90	18.3	9.30	3.31	3.60	96.7	0.72

RO Solubility Warnings

Warning	Pass No
Langelier Saturation Index > 0	1
Anti-scalants may be required. Consult your anti-scalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.	1

RO Chemical Adjustments

	Pass 1 Feed	RO 1 st Pass Conc	Pass 2 Feed	RO 2 nd Pass Conc
pH	8.1	8.3	6.6	7.5
Langelier Saturation Index	-1.17	0.56	-6.75	-4.40
Stiff & Davis Stability Index	-0.37	0.69	-4.12	-2.47
TDS ^a (mg/l)	299.9	1,981	3.27	18.66
Ionic Strength (molal)	0.01	0.04	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	14.50	89.44	0.73	3.80
CO ₂ (mg/l)	0.15	0.45	0.29	0.20
CO ₃ ⁻² (mg/L)	0.16	2.63	0.00	0.01
CaSO ₄ (% saturation)	0.28	7.7	0.00	0.00
BaSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
SrSO ₄ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
CaF ₂ (% saturation)	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂ (% saturation)	2.3	13.7	0.04	0.26
Mg(OH) ₂ (% saturation)	0.00	0.11	0.00	0.00

Footnotes:

^aTotal Dissolved Solids includes ions, SiO₂ and B. It does not include NH₃ and CO₂

RO Utility and Chemical Costs

Service Water

	Flow Rate (m ³ /h)	Unit Cost (Dzd/m ³)	Hourly Cost (Dzd/h)	Daily Cost (Dzd/d)
Non-Product Feed Water				
Pass 1	7.3	25.0000	182.10	4370.33
Pass 2	6.6	25.0000	165.23	3965.60
Total Non-product Feed Water Cost	13.9		347.33	8335.93
Waste Water Disposal				
Pass 1	7.3	20.0000	145.68	3496.27
Pass 2	6.6	20.0000	132.19	3172.48
Total Waste Water Disposal	13.9		277.87	6668.75
Total Service Water Cost				15004.68

Electricity

Peak Power	(kW)	53.6
Energy	(kWh/d)	1,287
Electricity Unit Cost	(Dzd/kWh)	55.0000
Electricity Cost	(Dzd/d)	70,785
Specific Energy	(kWh/m ³)	1.54



Pump	Flow Rate (m ³ /h)	Power (kW)	Energy (kWh/d)	Cost (Dzd/d)
Pass 1				
Feed	48.58	25.62	614.93	33,820.90
Pass 1 Total		25.62	614.93	33,820.90
Pass 2				
Feed	41.29	28.00	672.08	36,964.16
Pass 2 Total		28.00	672.08	36,964.16
System Total		53.62	1,287.01	70,785.06


Chemical

Chemical	Unit Cost (Dzd/kg)	Dose 100% (mg/L)	Volume (L/d)	Cost (Dzd/d)
Total Chemical Cost				0.0

Utility and Chemical Cost	(Dzd/d)	85,790
Specific Water Cost	(Dzd/m ³)	102.988

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

Final PH Adjustment

Name	Final Water Quality (mg/L as Ion)	
	Conc. Before pH Adjustment	Conc. After pH Adjustment
NH ₄	0,00	0,00
K	0,01	0,01
Na	0,08	0,21
Mg	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00
Sr	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00
CO ₃	0,00	0,00
HCO ₃	0,18	0,46
NO ₃	0,00	0,00
Cl	0,04	0,04
F	0,00	0,00
SO ₄	0,00	0,00
SiO ₂	0,00	0,00
B	0,00	0,00
CO ₂	0,34	0,14
Br	0,06	0,06
PO ₄	0,00	0,00
TDS^a	0,38	0,78
pH	6,05	7,00

Footnotes:

^bTotal Dissolved Solutes includes ions, SiO₂, B(OH)₃, NH₃ and CO₂ as H₂CO₃

pH Adjustment Chemical			
Bulk	Unit Cost	Dose	Cost
NaOH(30%)	0 Dzd/kg	0,22 mg/L	0 Dzd/h