



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : Réutilisation des eaux non conventionnelles

THEME :

**DIAGNOSTIC ET ETUDE DES PERFORMENCES DE LA
STATION DE DESSALEMENT D'EAU DE MER CORSO
WILAYA DE BOUMERDES**

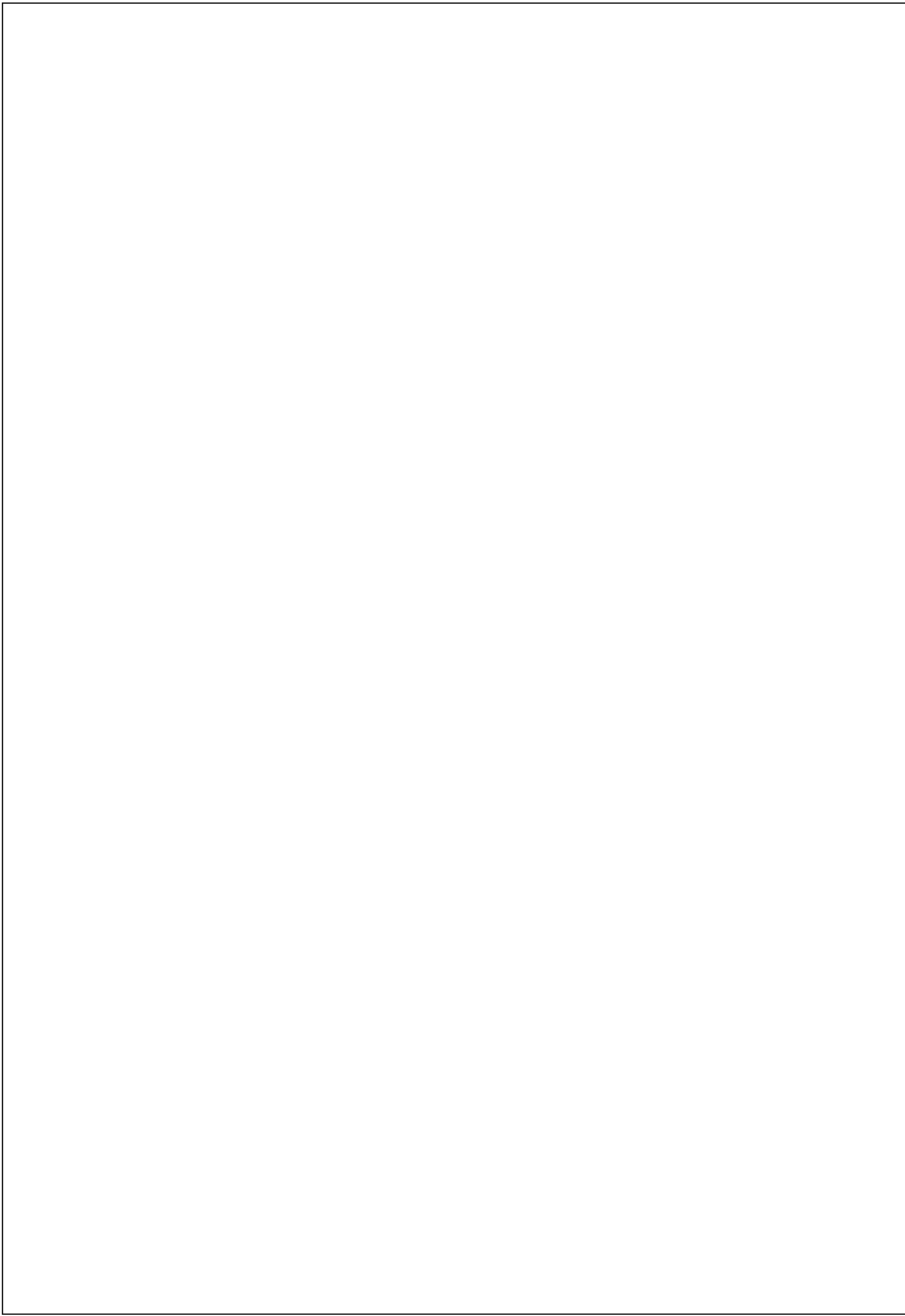
Présenté par :

SIDI YAKHLEF Cherif

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
Mr DJELLAB Mohamed	Professeur	Président
Mme BETATACHE Hayet	M.C.B	Examineur
Mme MEDJOUB LEULMI Sonia	M.C.B	Examineur
Mr KOLIAI Djaffar	Associé	Examineur
HACHEMI Abdelkader	M.C.A	Promoteur

Session 2024/2025



Remerciements

*Il est opportun de commencer ce mémoire par des remerciements à
Dieu, mes parents et ma famille de m'avoir offert les bonnes conditions pour
Pouvoir continuer mes études, ceux qui m'ont beaucoup soutenu au cours de ce
Chemin ainsi que ceux qui ont eu la gentillesse de le rendre très profitable.*

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à :

- **Mr HACHMI Abdelkader** pour l'encadrement technique et pour
M'avoir guidé, encouragé et conseillé pendant toute la période du stage.

Je tiens à mentionner le plaisir que j'ai eu de travailler avec lui.

- **Mr. BOUDJLIDA Yassine** un exemple qui m'a assuré de bonnes conditions
Pour le déroulement de mon stage.

*Je remercie tous ceux qui ont veillé à ce que ce travail soit ce qu'il est, leurs
Conseils, instructions, suggestions ou contributions. Et particulièrement*

M. SAMIR ainsi que Le service techniques de l'AEC

- **Mr HADJ CHAIB** Le directeur technique de la station CORSO,
Et à l'ensemble du personnel de Laboratoire des Etudes

Mes remerciements ainsi que gratitude vont également à l'ensemble des membres

Du jury qui ont bien voulu accepter d'examiner mon modeste travail.

Mes remerciements et notre reconnaissance vont à tous les enseignants du

De l'école pour la qualité de la formation qu'ils nous ont donné durant les

Trois années de spécialité.

Dédicaces

*Avant de commencer mes dédicaces, je suis certain que ce projet de fin d'étude
est la meilleure chose qui puisse m'arriver durant cette année,*

J'en suis sûr

Grâce à Dieu j'ai pu réaliser ce travail que je dédie.

À mes très chers parents, pour leurs aides appréciables qui ont tout fait pour
que j'atteigne ce niveau. Je le dédie également à **mes deux petites sœurs SIRINE et HAYAM.**
qui ont été avec moi par leur soutien moral,

*A mes ami(e)s pour leurs soutiens et les moments inoubliables que nous avons passé tous
ensemble,*

*Désolé de ne pas pouvoir citer vos noms car vous êtes assez nombreux et que je crains
d'oublier quelqu'un, et tous ceux avec qui je partage de la gratitude, l'amitié,*

L'amour et le respect.

CHERIF

يتناول هذا البحث ودراسة أداء محطة تحلية المياه كروسو، للتحقق من مطابقة العملية المطبقة للمعايير الحالية. جُمعت بيانات التشغيل وعولجت، وفُورنت بمعايير الجودة الدولية والدولية. تنقسم الدراسة إلى قسمين: قسم نظري يتناول تحلية المياه والمعايير، وقسم عملي يتضمن وصف الوحدة وتشخيص العملية التنظيف في مكان وتحديد حجم النظام لتحسين تشغيله وتوفير الوقت. تعتمد المنهجية على تحليل وثائقي وتقني، مدعومًا ببيانات حقيقية.

Résumé

Ce mémoire porte sur le *diagnostic et l'étude de performance de la station de dessalement de CORSO*, afin de vérifier si le procédé appliqué respecte les normes en vigueur. Des données d'exploitation ont été collectées, traitées et comparées aux standards internationaux et internationaux de qualité. L'étude se divise en deux volets : une partie théorique consacrée au dessalement et aux normes, et une partie pratique incluant la description de l'unité, le diagnostic du processus et le dimensionnement du système CIP afin d'améliorer le fonctionnement de ce dernier et gagner en temps. La méthodologie repose sur l'analyse documentaire et technique, complétée par l'exploitation de données réelles.

Abstract

This thesis focuses on the diagnosis and performance study of the CORSO desalination plant, in order to verify whether the applied process complies with current standards. Operating data were collected, processed and compared with national and international quality standards. The study is divided into two parts: a theoretical part devoted to desalination and standards, and a practical part including the description of the unit, the diagnosis of the process and the sizing of the CIP system in order to improve its operation and save time. The methodology is based on documentary and technical analysis, supplemented by the use of real data.

Key words : Corso, Cleaning In Place, Seawater desalination

Liste des planches

PLANCHE 01: PLAN DE MASSE DE LA STATION DE DESSALEMENT DE CORSO.

PLANCHE 02: PLAN du filter à pression de STATION DE DESSALEMENT DE CORSO.

PLANCHE 03: Disposition générale du bâtiment d'osmose inverse (PARTIE 1).

PLANCHE 04: Disposition générale du bâtiment d'osmose inverse (PARTIE 2).

PLANCHE 05: Disposition générale du bâtiment d'osmose inverse (PARTIE 3).

LISTE DES TABLEAUX

Intitulé du Tableau	N° de Page
Tableau I.1 : Concentration des Principaux constituants chimique d'eau de mer	5
Tableau I.2 : volume de la Répartition de l'eau sur la planète	7
Tableau I.3 : Liste de quelques stations de dessalement d'eau de mer en Algérie	8
Tableau I.4: La disponibilité annuelle en eau par habitant en Algérie	9
Tableau I.5: Répartition des eaux de surface en Algérie	9
Tableau II.6 : comparatif des techniques de dessalement	19
Tableau III.7 : valeurs propres du dégrilleur	24
Tableau III.8 : valeur du tamiseur	24
Tableau III.9 : équipements de la bêche à eau	25
Tableau III.10 : niveau de contrôle Réservoirs de stockage	28
Tableau III.11 : caractéristique du filtre à sable	30
Tableau III.12 : caractéristiques Système de lavage à contre-courant du filtre à sable	30
Tableau III.13: caractéristique de la pompe à lavage	30
Tableau III.14 : valeurs indicatives de production	39
Tableau IV.15 comparatifs des normes physico-chimiques	41
Tableau IV.16 : variation mensuelle de la température sur la période de 2024	42
Tableau IV.17 : Analyse de la variation du PH le long du process	44
Tableau IV.18: variation de la conductivité au niveau quatre postes du process	46
Tableau IV.19 : variation du TDS	49
Tableau V.20 : récapitulatif de fonctionnement de la procédure de Nettoyage CIP	62
Tableau V.21 : valeurs d'entrée de la pompe	64
Tableau V.22 : calcule de pertes de charge linéaire de la canalisation	65

LISTE DES FIGURES

Intitulé de la figure	Page
Figure I.01 : Répartition mondiale des ressources en eau	3
Figure I. 02 : Répartition mondiale des ressources en eau détaillée	4
Figure I. 03 : Représentant variation du taux de sel au niveau de la surface terrestre	5
Figure I.04 : Demande mondiale en eau et besoins fondamentaux	6
Figure I.05 : cartographie du stress hydrique au niveau mondial	6
Figure I.06 : répartition et projection de la population mondiale par continent à l’horizon 2050	7
Figure II.7 : Schéma distillation à simple effet	12
Figure II .8 : Station de distillation à multiples effets (MED)	13
Figure II.9 : Distillation à détente étagée ou multi flash	13
Figure II .10 : Représentation graphique de l’électrodialyse	14
Figure II .11 : Schéma illustratif du procédé d’Osmose Inverse	15
Figure II.12 : Schéma illustratif du rôle de la membrane dans l’Osmose Inverse	15
Figure II.13 : Conception générale d’une usine de dessalement par RO	16
Figure II.14 : Technique de nano--filtration	17
Figure II.15 : Unités d'ultrafiltration utilisées pour la potabilisation des eaux de surface	18
Figure III.16 : Photo satellitaire de la station de dessalement d’eau de mer CORSO	21
Figure III.17 : Tour de captage	22
Figure III.18 : Conduite de captage en PEHD	23
Figure III.19 : Vanne d'isolement de la bache d'admission	23
Figure III.20 : Installation de Dégrilleurs.	24
Figure III.21 : Photo de tamis a bande	25
Figure III.22 : Station de pompage	26
Figure III.23 : Bâche de coagulation floculation	27
Figure III.24 : Photo de décanteur laminaire	27
Figure III.25 : Photos de filtre à sable	30
Figure III.26 : Photo de filtre à cartouche	32
Figure III.27 : Photo de récupérateur d’énergie PX	34
Figure IV.28 : Représentation de la variation de la température durant l’année 2024	43
Figure IV.29 : Représentation de la variation de la PH durant l’année 2024	45
Figure IV.30 : Représentation de la variation de la conductivité (RO & Expédition) durant l’année 2024	47
Figure IV.31 : Représentation de la variation de TDS durant l’année 2024	49
Figure IV.32 : Représentation de la variation du ΔP niveau de la membrane de la période mars-mai 2024	51

Figure IV.33 : Représentation de la variation du Δp niveau de la membrane de la période juin- août 2024	52
Figure IV.34 : Représentation de la variation du Δp niveau de la membrane de la période septembre-novembre 2024	52
Figure IV.35 : Représentation de la variation du ΔP niveau de la membrane de la période décembre 2024- janvier 2025	53
Figure IV.36 : Représentation de la variation des pressions d'entrée et de sortie au niveau dès la membrane durant la période 2024	53
Figure IV.37: Représentation de la variation du Δp au niveau de la membrane durant l'année 2024	54
Figure IV.38 : Représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche de la période février - avril 2024	54
Figure IV.39 : Représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche de la période mai – juillet 2024	56
Figure IV.40 : Représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche de la période aout - octobre 2024	56
Figure IV.41 : représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche de la période novembre 2024 - janvier 2025	57
Figure IV.42: Représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche- période 2024	57
Figure 43 ; Représentation graphique de la variation de la pression d'entrée et la température-2024	58
Figure 44 : Représentation graphique de la variation de la pression d'entrée et le taux de conversion-2024	59
Figure V 45 : Schéma descriptif du système du CIP	61
Figure V 46 : Représentation en 3D du réservoir de produits chimiques	66
Figure V 47 : Photo du réservoir de produit chimique	66
Figure V 48 : Représentation en 3D de la coupe longitudinale du réservoir de produits chimiques montrant l'agitateur	66

Table des Matières

Titre	Page
Introduction	1 -2
PREMIÈRE PARTIE NOTIONS THÉORIQUES	1-2
I Chapitre I Situation de l'eau dans le monde	3
I.1 Notions de Base et Généralités	3
Définition de l'eau	3
I.1.1 La répartition des ressources en eau	3
I.1.2 Différents types de l'eau	4
I.1.3 Caractérisation de l'eau de mer	4
I.2 Les enjeux liés aux ressources en eau	4
I.2.1 La Demande en eau	5
I.2.2 Disponibilité de l'eau à l'échelle mondiale	5
I.2.3 Croissance de la population mondiale	6
I.2.4 Répartition de l'eau sur la planète	6
I.2.5 Conséquences du stress hydrique	7
I.2.6 Rôle croissant du dessalement	7
I.2.7 Les principaux pays producteurs d'eau douce par dessalement	8
I.2.8 Approvisionnement en eau potable en Algérie	8
I.2.9 Le problème de l'eau en Algérie	9
II Chapitre II Le dessalement des eaux de Mer	9
II.1 Généralités historique, définition	11
II.1.1 Historique et évolution	11
II.1.2 Définition du dessalement	11
II.2 Présentation des technologies de dessalement	11
II.2.1 Dessalement thermique	12
II.2.1.1 Distillation par détente successives	12
II.2.1.2 Distillation à multiples effets	12
II.2.1.3 Distillation à détente étagées ou multi flash	12
II.2.1.4 L'électrodialyse	13
II.2.2 Dessalement par membranes	14
II.2.2.1 Osmose inverse (RO)	14
• Lois physico chimiques	15
• Procédé d'osmose inverse	15
• Processus de dessalement d'eau de mer par OI	16
Avantages et Inconvénient	16-17
II.2.2.2 Nanofiltration	17
II.2.2.3 Ultrafiltration	17
II.3 Enjeux et impacts environnementaux des techniques de dessalement	18
II.3.1 Enjeux environnementaux	18
II.3.2 Impacts environnementaux	18-19

II.4 Conclusion	19
DEUXIÈME PARTIE : CAS PRATIQUE	20
III Chapitre III : Etude de cas Station de dessalement d'eau de mer CORSO/ AEC	20
III.1 Présentation de l'organisme d'accueil "AEC" et de la station "corso"	20
III.1.1 Localisation de la station	21
III.1.2 Capacité de la station et mode de fonctionnement	22
III.2 La chaîne de production d'eau	22
III.2.1 Prise d'eau de mer et station de pompage	22
III.2.1.1 Tour de captage	22
III.2.1.2 Conduite de captage	23
III.2.1.3 Ouvrage de captage	23
III.2.1.4 Vanne d'isolement	23
III.2.1.5 Système de dégrillage	23-24
III.2.1.6 Bâche d'eau de mer et station de pompage	25
III.2.1.7 Instrumentation	25
III.2.1.8 La station de pompage d'eau de mer	26
III.2.2 Système de Prétraitement	26
III.2.2.1 Bâche de Coagulation	26
III.2.2.2 Bâche de floculation	27
III.2.2.3 Décanteur lamellaire	27
III.2.2.4 Racleur de boue	27
III.2.2.5 Pompe d'extraction de boue	28
III.2.3 Dosage des produits chimiques de prétraitement	28
III.2.3.1 Réservoirs de stockage/dosage d'hypochlorite	28
III.2.3.2 Pompes doseuses de d'hypochlorite	29
III.2.3.3 Système de dosage du coagulant (chlorure ferrique)	29
III.2.3.4 Système de dosage de polymère	29
III.2.3.5 Bâche d'eau clarifiée	29
III.2.4 Station de pompage intermédiaire	29
III.2.4.1 Filtres à sable	30
III.2.4.2 Filtres à sable Système de lavage à contre-courant du filtre à sable	30
III.2.4.3 Surpresseurs d'air	31
III.2.4.4 Pompes de lavage	31
III.2.4.5 Système de dosage SMBS (décoloration)	31
III.2.4.6 Pompes doseuses SMBS	31
III.2.4.7 Système de dosage antitartre (séquestrant)	31
III.2.4.8 Réservoir de dosage antitartre	32
III.2.4.9 Pompes doseuses antitartre	32
III.2.4.10 Filtres à Cartouches	32
III.2.5 Système d'osmose inverse	32
III.2.5.1 Pompes haute pression	33
III.2.5.2 Les pompes booster	33
III.2.5.3 Modules de rack RO	33
III.2.5.4 Dispositif de récupération d'énergie	34
III.2.5.5 Système de Rinçage	34
III.2.5.6 Réservoir de rinçage	34
III.2.6 Système de nettoyage CIP	34
III.2.6.1 Réservoir de nettoyage	35
III.2.6.2 Pompe de nettoyage	35

III.2.6.3 Filtre à cartouche de Nettoyage	35
III.2.7 Système de Post-Traitement	35
III.2.7.1 Système de reminéralisation	35
III.2.7.2 Système de dosage du dioxyde de carbone	36
III.2.7.3 Système de Mélange	36
III.2.7.4 Système de dosage des produits chimiques	36
III.2.7.5 Réservoir d'eau produite	37
III.2.7.6 Système de rejet	37
III.2.8 Laboratoire de contrôle	37
IV Chapitre IV : Diagnostic et étude de performance de la SDEM	38
Introduction	38
IV.1 Types de diagnostic appliqués aux stations de dessalement	38
IV.1.1 Diagnostic technique	38
IV.1.2 Diagnostic énergétique et économique	38-39
IV.1.3 Diagnostic de la qualité de l'eau	40
IV.1.4 Diagnostic environnemental	40
IV.2 Étude de performance d'une station de dessalement	40
IV.2.1 Définition	40
IV.2.2 Méthodologie d'évaluation de la performance	40
IV.3 Etude de cas station de CORSO	41
IV.3.1 Collecte et Traitement des données	41
IV.3.2 Analyse des paramètres	41
IV.3.2.1 Analyse de la variation de température	42-43
IV.3.2.2 Analyse de la variation du PH	44-45-46
IV.3.2.3 Analyse de la variation de la conductivité	46-47-48
IV.3.2.4 Analyse du TDS	49-50
IV.3.2.5 Analyse de l'évolution de variation du ΔP de la membrane durant la période de mars 2024 à janvier 2025	51-52
- L'analyse trimestrielle de l'évolution de variation du ΔP de la membrane durant la période de mars 2024 à janvier 2025	52-53
- L'analyse annuelle de l'évolution de variation du ΔP de la membrane durant la période de mars 2024 à janvier 2025	53-54
IV.3.2.6 Analyse de la Différence de pression filtre à cartouche	55-56-57-58
IV.3.2.7 Analyse de l'effet de la température sur la pression d'entrée RO	58-58
Conclusion du chapitre	59-60
V Chapitre V : Dimensionnement du clean in place (CIP)	61
Introduction du système CIP	61
V.1 Procédure de nettoyage du CIP,	61
V.2 Rôle du CIP	62
V.3 Étapes & méthodes de dimensionnement	62
V.3.1 Calcule du Volume du réservoir CIP	63
V.3.2 Calcule du volume de la canalisation	63-64
V.3.3 Dimensionnement de la pompe	64-65
Conclusion du chapitre	66
Conclusion générale	67-68-69
Bibliographie	70-71
Annexes	72

Introduction

L'eau est une ressource essentielle à la vie, mais sa répartition sur terre reste largement inégale. Malgré le fait qu'environ 70 % de la surface terrestre soit recouverte d'eau, seule une infime proportion est directement disponible et exploitable pour les besoins humains. Les pressions croissantes exercées par l'augmentation démographique, l'industrialisation massive et les changements climatiques accentuent le déséquilibre entre la demande et la disponibilité en eau douce.

La situation actuelle en Algérie, ne fait pas exception du décor mondial, particulièrement dans ces régions à fort stress hydrique, présentant un défi majeur pour les pouvoirs publics. Cette situation, en sus des facteurs mondiaux cités plus haut, résulte d'une succession d'années de sécheresse, caractérisée par la rareté des précipitations dans certaines régions plus que d'autres, contribuant ainsi à l'épuisement des ressources en eau, particulièrement les réserves des nappes phréatiques.

Le pays, avec une superficie de 2 381 741 km², pour une population de 47 millions d'individus, offre un potentiel global d'eaux de surface estimée 18 millions de m³ par an, tandis que les eaux souterraines atteignant un potentiel exploitable moyen de 8.5 milliards m³ par an, une centaine de barrages, avec une capacité de stockage de près de 9 milliards m³, dont les niveaux de remplissage ont fortement baissé ces dernières années, en sus du phénomène d'envasement et d'évaporation, créent une pression persistante sur la gestion de l'eau.[1]

Face à ces défis, la haute magistrature du pays a mis en place un plan de développement stratégique à l'horizon 2030, par l'adoption de solutions innovantes et pérennes, afin de garantir un approvisionnement en eau douce fiable et durable, à moyen et long terme, qui porte sur la réalisation de 20 stations de dessalement d'eau de mer, dont 15 stations sont opérationnelles actuellement et produisent 2,2 millions m³/j. [2]

La création en 2011 de ALGIRIAN ENERGY COMPANY (AEC), Société par Actions détenue par le groupe SONATRACH., dont ses missions consistent en la promotion de projets d'envergures, seule ou en partenariat avec des firmes étrangères exerçant, entre autres dans

Le dessalement d'Eau de Mer.

La récente station de dessalement de CORSO, unité appartenant à l'AEC en association avec l'opérateur Egyptien METITO, contribue efficacement dans l'atteinte des objectifs assignés à AEC, puisque cette station assure une production de dessalement d'eau de mer à hauteur de 80 000.m³ /j, afin desservir un périmètre urbain et agricole de la zone d'implantations.

Notre étude portera sur le diagnostic, l'analyse et la mesure de performance du système de dessalement de la station de CORSO, pour l'exercice 2024, afin de proposer les mesures correctives les mieux indiquées.

La problématique posée consiste à répondre à la question suivante :

“le procédé de dessalement utilisé, respect-il les normes préconisées en la matière ? ”

Afin de répondre à la problématique posée, deux hypothèses sont mises en avant :

- Le procédé utilisé assure une fiabilité opérationnelle satisfaisante ;
- Le système de dessalement génère une eau de bonne qualité.

Pour se faire, j'ai subdivisé mon travail en deux parties, une partie que traite de la littérature en relation avec le domaine de l'eau et du dessalement, organisée en deux chapitres, la deuxième partie portera sur le cas pratique de l'unité de dessalement, constituée de trois chapitres, qui traite successivement de la prise de connaissance de l'unité de dessalement, le diagnostic du processus ainsi que le dimensionnement du CIP de cette dernière.

La méthodologie de recherche utilisée est essentiellement documentaire et analytique, soutenue par des entretiens semi directifs avec les cadres et techniciens de la Station de CORSO et ceux de la Direction Générale de AEC.

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I : L'eau dans le monde

Introduction

Ce chapitre présente un panorama global de la répartition, de la disponibilité et des enjeux de l'eau dans le monde, ainsi que le rôle croissant du dessalement comme réponse aux tensions hydriques.

I.1 Notions de Base et Généralités

Définition de l'eau : L'eau est un liquide transparent, incolore et insipide corps composé, dont les molécules sont formées de deux atomes d'hydrogène et atome d'oxygène (H_2O). L'eau bout à $100^{\circ}C$ à la pression atmosphérique et solidifié à $0^{\circ}C$. sur la terre ; l'eau est la seule substance qu'on trouve dans ses trois phases à l'état naturelle : solide (glace, neige) ; liquide (eau liquide) et gazeux (vapeur d'eau). [3]

I-1 .1. La répartition des ressources en eau : mondiales est illustrée à la figure 1. Estimée à environ 97,5 %, soit 1 338 millions de km^3 , de l'eau de mer mondiale est constituée d'eau de mer. 80 % de l'eau restante est retenue sous forme de neige dans les glaciers permanents ou de pergélisol. Ainsi, seulement 0,5 % de l'eau mondiale est facilement disponible sous forme d'eaux souterraines à faible salinité ou dans les lacs ou les rivières, pour une utilisation « directe » par l'homme. [4]

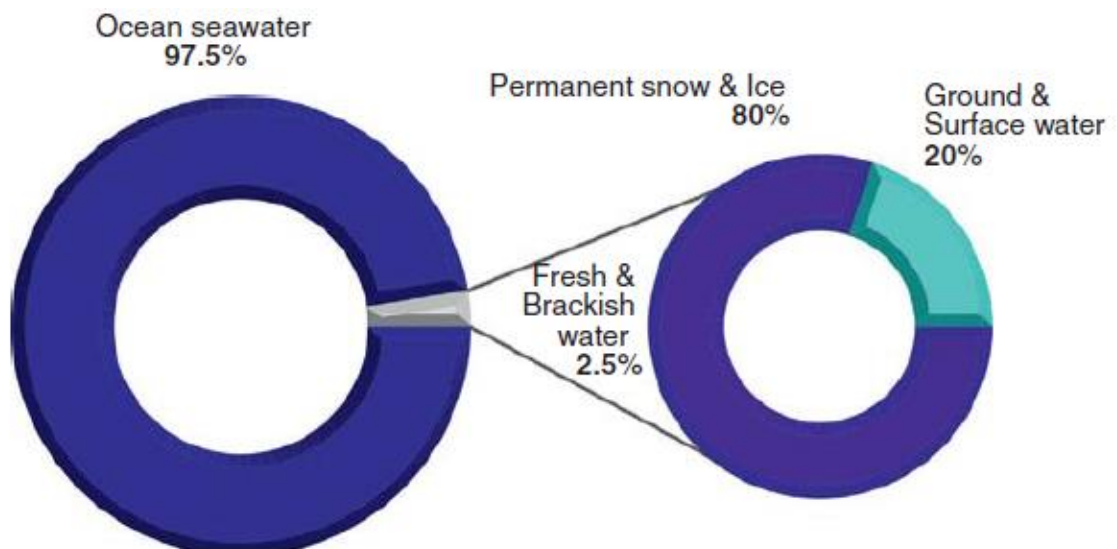


Figure I.1 : Répartition mondiale des ressources en eau. [4]

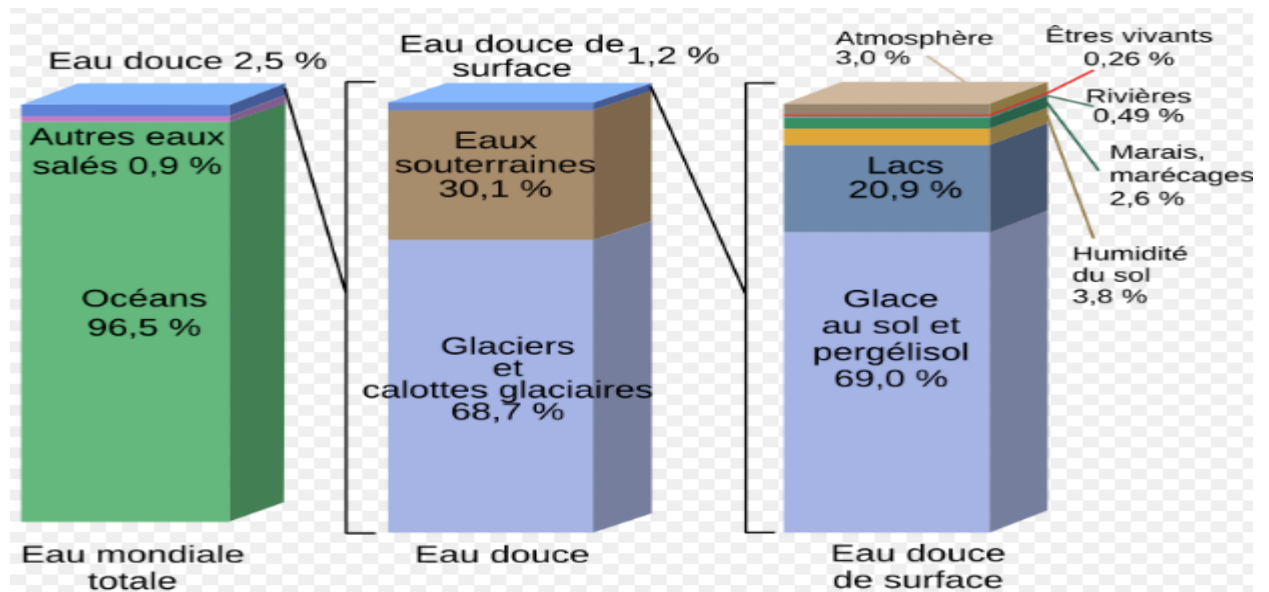


Figure I.2 : Répartition mondiale des ressources en eau détaillée. [5]

I-1.2 Différents types de l'eau : On trouve quatre sources principales d'eaux brutes

- Les eaux de pluie
- Les eaux de surface
- Les eaux souterraines
- Les eaux de mer et saumâtres

I-1.3. Caractérisation de l'eau de mer : Il existe trois caractéristiques majeures des eaux de mer.

- Un pH, dont la moyenne varie entre 7,5 et 8,4.
- Une salinité, mesurant la masse de sel présent dans l'eau de mer, avec une moyenne de 35 g/L
- Une composition et proportion des sels dissous.

La salinité varie selon la position géographique en raison de nombreux facteurs. Ceux qui affectent le plus sont la variation des courants maritimes, l'ouverture des mers vers les océans et les apports terrestres

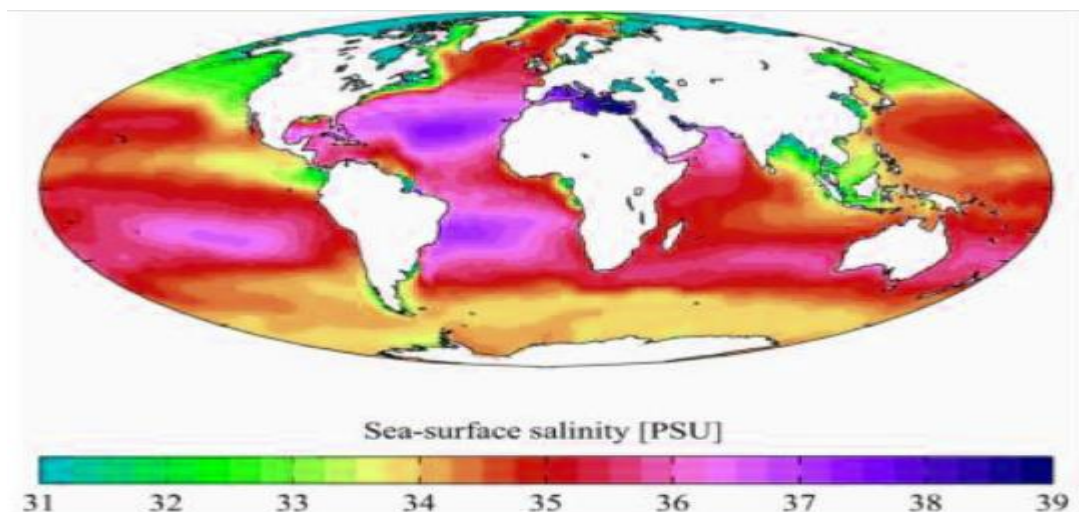


Figure I.3 : représentant variation du taux de sel au niveau de la surface terrestre [2]

Tableau I .1 : Concentration des Principaux constituants chimique d’eau de mer [7]

Constituant chimique	Concentration g/KG d’eau de mer
Calcium (Ca)	0419
Magnésium (Mg)	1.304
Sodium (Na)	10.710
Potassium(K)	0.39
Bicarbonate (HCO ₃)	0.146
Sulfate (SO ₄)	2.69
Chlore (Cl)	19.35
Brome (Br)	0.07
Total	35.079

I -2 les enjeux liés aux ressources en eau

I -2-1 La Demande en eau

La demande en eau dans les pays développés est relativement élevée. Aux États-Unis, elle est d'environ 400 litres par personne et par jour. Certains pays occidentaux ayant mis en œuvre avec succès des mesures de conservation et de réutilisation ont vu leur demande en eau chuter à environ 150 litres par personne et par jour. Cependant, la disponibilité et l'accès limités à l'eau dans certaines régions du monde entraînent une consommation beaucoup plus faible dans ces régions. Par exemple, la consommation d'eau douce par habitant en Afrique n'est que d'environ 20 litres par jour en raison du manque d'eau potable [3]

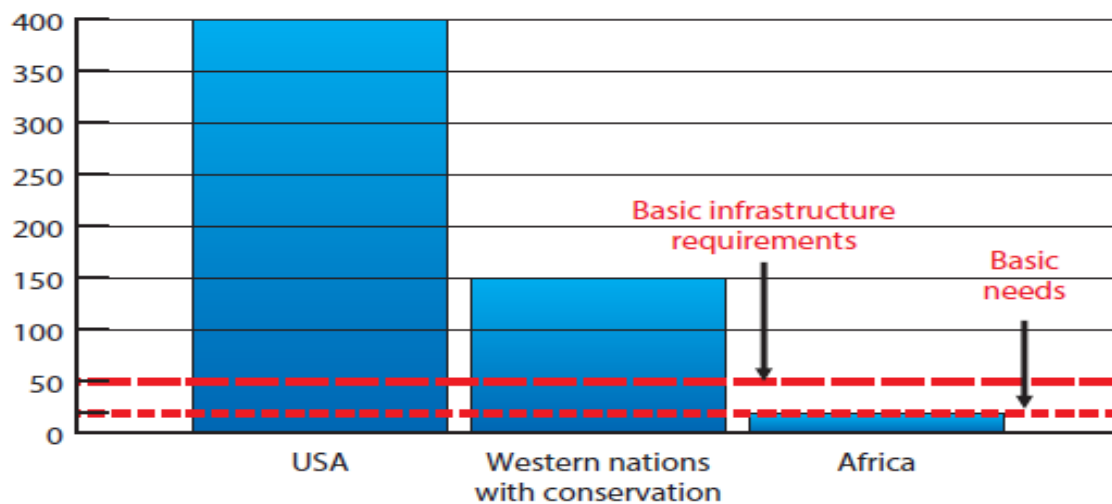


Figure I .4 : Demande mondiale en eau et besoins fondamentaux. [10]

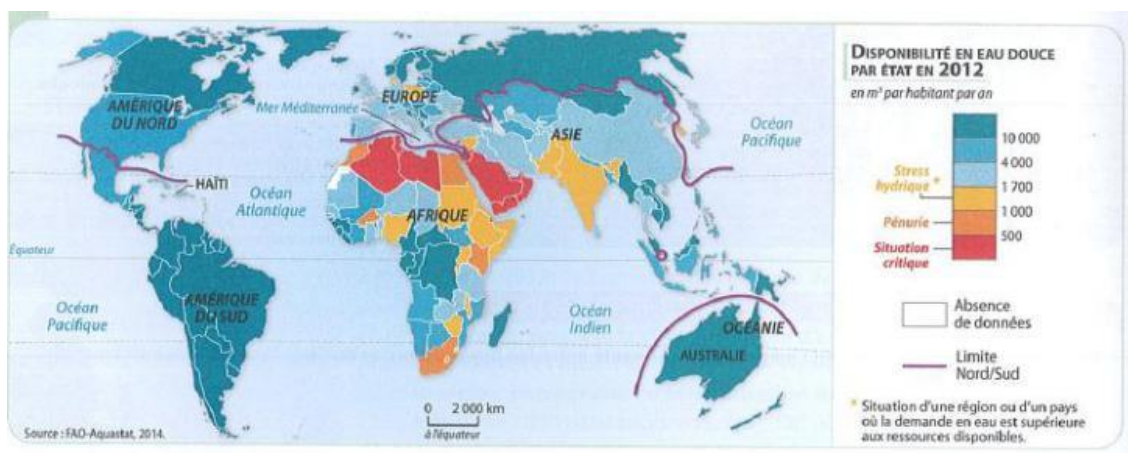


Figure I .5 : cartographie du stress hydrique au niveau mondial [8]

I -2-2 Disponibilité de l'eau à l'échelle mondiale

L'eau semble la ressource la plus abondante disponible sur la Terre. La réalité est que 97% de l'eau totale correspond à de l'eau salée, 2% est présente à l'état de neige et d'icebergs tandis qu'1 % seulement correspond à de l'eau douce (la seule portion actuellement utilisable pour les besoins de l'humanité). L'eau douce présente sur la Terre est recyclée en continu au fur et à mesure de son évaporation et retourne sur Terre sous forme de pluie, de neige et de glace. [9]

I -2-3 Croissance de la population mondiale

Elle a atteint près de 6,1 milliards en l'an 2000 et devrait franchir le seuil des 8 milliards à l'horizon 2030. Actuellement, près d'un demi-milliard de personnes, soit environ 8 % de la population mondiale, sont confrontées à des situations de pénurie d'eau modérée ou sévère. Ce déséquilibre est accentué par une répartition inégale des précipitations et une forte croissance démographique dans des régions arides telles que la Chine, l'Inde, le Nigeria ou le Pakistan. [11]

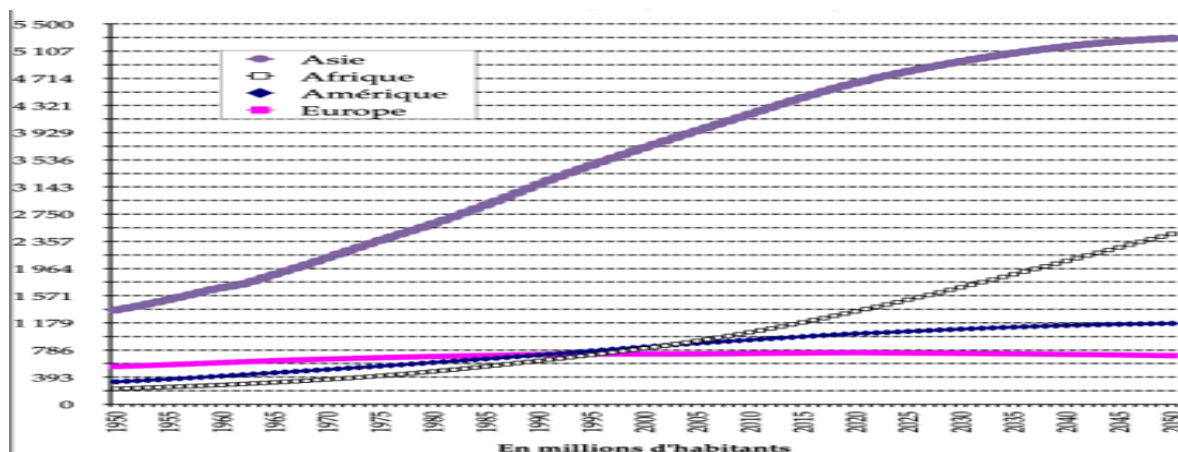


Figure I.6 : répartition et projection de la population mondiale par continent à l’horizon 2050 [12]

I -2 4. Répartition de l’eau sur la planète

La masse totale d’eau sur Terre est estimée à environ 1,386 milliard de km³, répartie de manière très inégale :

Tableau I.2 : volume de la Répartition de l’eau sur la planète

Catégorie	Volume (km ³)	Pourcentage
Océans et mers	1,338 milliards	96,5 %
Glaciers et calottes polaires	24,1 millions	1,74 %
Eaux souterraines salines	12,87 millions	0,93 %
Eaux douces souterraines	10,53 millions	0,76 %
Lacs d’eau douce	91 000	0,007 %
Rivières	2 120	0,00015 %
Atmosphère	12 900	0,001 %

Seule 0,5 % de l’eau mondiale est douce et directement disponible pour la consommation humaine. La répartition de l’eau douce exploitable varie fortement d’un pays à l’autre, considérée par zones.

Zones excédentaires : Bassin amazonien, Canada, Russie, Asie du Sud-Est.

Zones déficitaires : Moyen-Orient, Afrique du Nord, régions arides et semi-arides.

I -2 5. Conséquences du stress hydrique

- **Conflits d’usage** (agriculture versus industrie versus consommation domestique).
- **Dépendance accrue aux solutions alternatives** : recyclage des eaux usées, optimisation de l’irrigation, dessalement.
- **Problème Socio-économiques** sous forme de conflits d’usage (agriculture par rapport à l’industries et la consommation), migrations forcées, instabilité sociale.
- **Problème Environnementales** matérialisé par la dégradation des écosystèmes, désertification et perte de biodiversité.

I -2 6. Rôle croissant du dessalement

Face à l'épuisement des ressources conventionnelles, le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres s'est imposé comme une solution stratégique dans de nombreuses régions côtières de la planète, sachant qu'en 2024 on note que plus de 21 000 usines de dessalement en activité dans 177 pays, pour une Production mondiale, avoisinant les 120 millions de m³/jour.

La Technologies dominantes utilisée est L'osmose inverse à hauteur de 65 %

Tableau I.3 : Liste de quelques stations de dessalement d'eau de mer en Algérie

Station de Dessalement	Wilaya/Région	Capacité Journalière
Macta	Oran	500 000 m ³ /jour
Hamma	Alger	200 000 m ³ /jour
Beni Saf	Aïn Témouchent	200 000 m ³ /jour
Mostaganem	Mostaganem	200 000 m ³ /jour
Ténès	Chlef	200 000 m ³ /jour
Souk Tiala	Tlemcen	200 000 m ³ /jour
Honein	Tlemcen	200 000 m ³ /jour
Fouka	Tipaza	120 000 m ³ /jour
Skikda	Skikda	100 000 m ³ /jour
Cap Djinet	Boumerdès	100 000 m ³ /jour
Arzew	Oran	90 000 m ³ /jour
Aïn Turck	Oran	5 000 m ³ /jour
Bousfer	Oran	5 500 m ³ /jour

I -2 .7. Les principaux pays producteurs d'eau douce par dessalement

Les principaux pays producteurs d'eau douce par dessalement dans le monde sont : - l'Arabie Saoudite, - les Émirats Arabes Unis, - les États-Unis, - l'Espagne, - le Koweït. Ces pays étant Suivis ensuite par l'Algérie, la Chine, le Qatar, le Japon et l'Australie, qui produisent entre 2% Et 4% de l'eau dessalée dans le monde.

Le Moyen-Orient est le premier producteur d'eau douce : sa production cumule quelque 11 Millions de mètres cubes par jour. Les pays de la région disposent d'importantes ressources en Combustibles fossiles et utilisent majoritairement le procédé de vaporisation [13].

I -2. 8. Approvisionnement en eau potable en Algérie

L'Algérie fait partie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, et se situe Donc en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale, soit 1000 m³ par Habitant et par année (seuil de tension ou water stress). Si en 1962, la disponibilité annuelle en eau par habitant était de 1500 m³ elle n'était plus que 720 m³ en 1990 de 680 m³ en 1995 et de 630 m³ en 1998. Du fait de la pression démographique, cette disponibilité ne sera plus que de 430 m³ par habitant en 2020, [40]. À cet horizon, cette disponibilité serait par bassin hydrographique comme suit, (tableau I.3).

Tableau I.4: La disponibilité annuelle en eau par habitant en Algérie (ADE, 2008)

Bassin hydrographique	Ressources (hm ³)	Population (10 ⁶ habitants)	Disponibilité (m ³ /habitant)
Oranie-chott chergui	1400	6.3	220
chelif	2072	7	300
Algérois- Soumma-Hodna	5125	15.8	320
Const.-Medj.-Mellègue	5048	10	500
Sud	5436	4.9	1120
Total Algérie	19081	44	2460

I-2.9. Le problème de l'eau en Algérie

Il est dû à plusieurs facteurs, essentiellement :

a. Faiblesse des ressources en eau

- **Les ressources en eau superficielle**

Les ressources en eau en Algérie sont généralement faibles, irrégulièrement réparties sur le territoire et de plus en plus difficiles à exploiter. Elles sont exposées à une pollution croissante qui menace leur utilisation. Historiquement estimés à 15 milliards de m³ pour les bassins méditerranéens, les écoulements de surface ont été réévalués à 12,4 milliards de m³ dans le cadre du Plan National de l'Eau, s selon le tableau I.5

Tableau I.5: Répartition des eaux de surface en Algérie, (ANRH, 2005)

Bassin Hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chelif	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellègue	Sud	Total
Ressources pot. (hm ³ /an)	1025	1840	4380	4500	600	12345
Pourcentage (%)	8.7	15.7	37.3	38.3	0.48	100

- **Les ressources en eau souterraine**

Les eaux souterraines sont généralement faibles et localisées dans le Sahara. Les lits d'oueds Alimentent quelques nappes phréatiques souvent saumâtres.

Au Nord, les précipitations sont irrégulières et mal distribuées géographiquement, elles Augmentent d'Ouest en Est. [40]. La mobilisation des eaux souterraines au Nord du pays a atteint son seuil maximal.

b. Dégradation continue des ressources

La dégradation des ressources en eau commence à atteindre des proportions inquiétantes dans la région tellienne, où se trouve la plus grande partie des potentialités en eau de surface. La Pollution de certains barrages, tant par les eaux usées domestiques que par des rejets Industriels. [40]

c. Les périodes de sécheresse

Depuis plus de vingt ans, l'Algérie subit une sécheresse sévère et persistante. L'année 1988/89 est marquée comme particulièrement sèche, avec un fort déficit pluviométrique, surtout à l'Ouest (Oran, Ghazaouet, Arzew), où certains barrages se sont asséchés. En juin 1988. Cette sécheresse s'inscrit dans un phénomène plus large touchant l'ensemble du bassin méditerranéen depuis les années 1980. [40]

d. Croissance démographique

L'Algérie comptait environ 46.8 millions d'habitants en 2024, dont 41% établis dans le milieu Rural. La densité moyenne est de 18.4 habitants/km², mais la population est fortement Concentrée dans la zone côtière composée de terres agricoles plus fertiles et riches en ressources naturelles, [40]

- **L'expérience Algérienne dans le dessalement**

La variante du dessalement de l'eau s'avère la solution convenable : le pays dispose de 1440 km de côtes sur la mer méditerranée. La première installation de dessalement remonte à l'année 1964 à Arzew, d'une capacité de 576 m³/j travaillant en Multiples effets.

Conclusion

Bien que l'eau soit abondante sur Terre, l'eau douce exploitable représente une part très limitée. Cette rareté, aggravée par la croissance démographique, l'urbanisation et l'industrialisation, exerce une forte pression sur les ressources hydriques conventionnelles, provoquant un stress hydrique mondial. Les conséquences incluent des tensions socio-économiques, l'insécurité alimentaire et des risques sanitaires. Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer s'impose comme une solution alternative stratégique pour répondre à la demande croissante en eau potable. Ce constat justifie l'étude approfondie des procédés de dessalement, objet du chapitre suivant.

Chapitre II : Le dessalement des eaux de Mer

Introduction

Le dessalement consiste à éliminer les sels et autres minéraux dissous de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable ou utilisable pour d'autres usages (industriels, agricoles). Longtemps considéré comme coûteux et énergivore, il a connu depuis les années 1990 une transformation technologique majeure grâce à l'amélioration des membranes la baisse des coûts de l'énergie et l'intégration d'énergies renouvelables.

II- 1. Généralités

Il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que les eaux souterraines, que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

II. 1. 1. Historique et évolution

Le dessalement de l'eau remonte à l'Antiquité, avec des références chez les Grecs et les Romains. Au XVIIe siècle, des dispositifs rudimentaires sont utilisés sur les navires. Au XIXe siècle, apparaissent les premières installations de distillation multi-étages dans les régions arides. L'industrialisation commence dans les années 1950, surtout dans le Golfe. Entre 1970 et 1990, l'osmose inverse se développe grâce aux membranes polymériques. Depuis les années 2000, les procédés sont optimisés sur le plan énergétique. Aujourd'hui, plus de 65 % des usines utilisent l'osmose inverse.

II. 1. 2 Définition du dessalement

Le dessalement (parfois appelé dessalage) est le procédé de réduction ou d'élimination de la teneur en sel de l'eau afin de la rendre propre à la consommation humaine.

Les usines de dessalement utilisent généralement ce procédé pour éliminer les sels dissous de l'eau de mer, mais elles peuvent également l'utiliser pour traiter les eaux souterraines minéralisées, les eaux usées municipales et les mers intérieures saumâtres (qui contiennent des eaux légèrement salées). [14]

II .2 Présentation des technologies / Méthodes de dessalement

Lors de la mise en œuvre d'un procédé de dessalement de l'eau, les usines disposent essentiellement de deux types de technologies :

II .2. 1 Dessalement thermique

Les méthodes de dessalement thermique utilisent la chaleur pour évaporer l'eau salée, puis condensent la vapeur obtenue afin de produire une eau douce dépourvue de sels et d'impuretés. Bien qu'efficaces, elles sont peu répandues en raison de leur forte consommation d'énergie et de la grande superficie nécessaire. [15]

II .2. 1.1 Distillation par détente successives

Le principe est de reproduire le cycle naturel de l'eau en différentes étapes :

Avantages : robustesse, longévité, qualité de l'eau excellente.

Inconvénients : consommation énergétique élevée (chaleur + électricité).

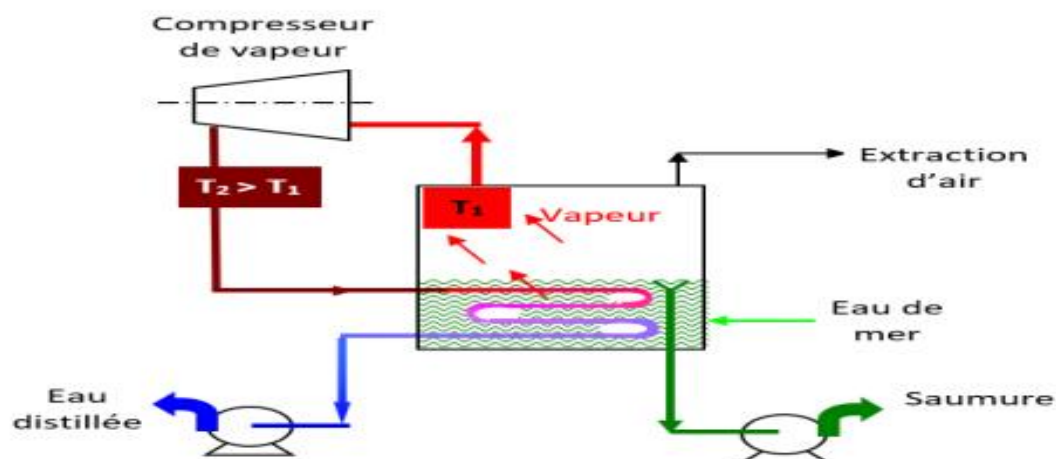


Figure II.7 : Schéma distillation à simple effet. [16]

II .2. 1.2 Distillation à multiples effets

Ce procédé repose sur l'évaporation de l'eau de mer préchauffée (70–80 °C) sous pression réduite à travers plusieurs étages successifs. La vapeur produite dans chaque étage est condensée dans le suivant, libérant ainsi de la chaleur qui sert à évaporer une nouvelle portion d'eau. Seule la première étape nécessite une source externe d'énergie, tandis que les suivantes réutilisent la chaleur de

condensation. L'augmentation du nombre d'étages permet ainsi de diminuer la consommation énergétique globale du procédé. [17]

Avantages : rendement thermique supérieur au "Multi Stage Flash" (MSF).

Inconvénients : coût initial élevé, complexité de maintenance.

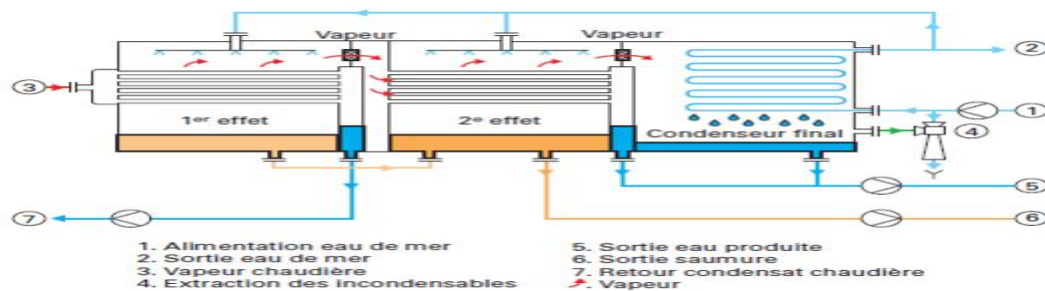


Figure II .8 : station de distillation à multiples effets (MED)

$$Q = K \times D \times c_p \times \Delta t + \frac{D_r}{\eta}$$

$$Y = \frac{Q}{D} = k \times c_p \times \Delta t + \frac{r}{n}$$

II .2. 1.3 Distillation à détente étagées ou multi flash (MSF)

Le procédé de distillation flash consiste à chauffer l'eau de mer sous pression jusqu'à environ 120 °C, puis à la détendre brusquement dans un étage à pression réduite, provoquant une vaporisation instantanée (« flash »). La vapeur formée se condense sur des tubes refroidis, produisant de l'eau douce, tandis que le reste de l'eau est recueilli en dessous. [17]

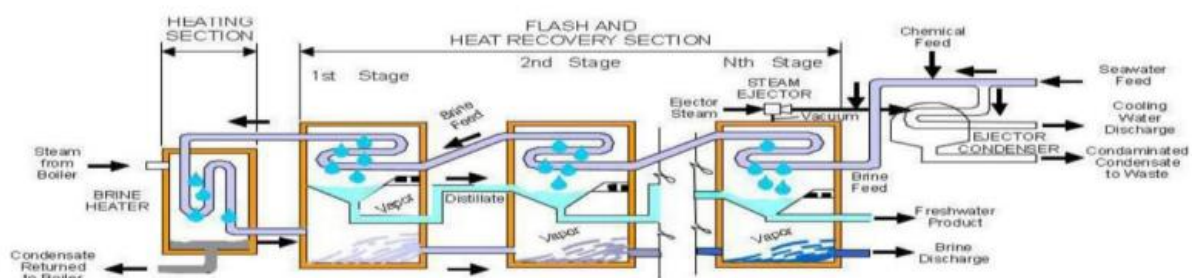


Figure II.9 : Distillation à détente étagées ou multi flash

II .2. 1.4 L'électrodialyse

L'électrodialyse repose sur le déplacement des ions dissous sous l'effet d'un champ électrique entre deux électrodes. Des membranes sélectives, perméables soit aux cations soit aux anions, sont disposées en alternance, formant des compartiments où la concentration en sels augmente ou diminue.

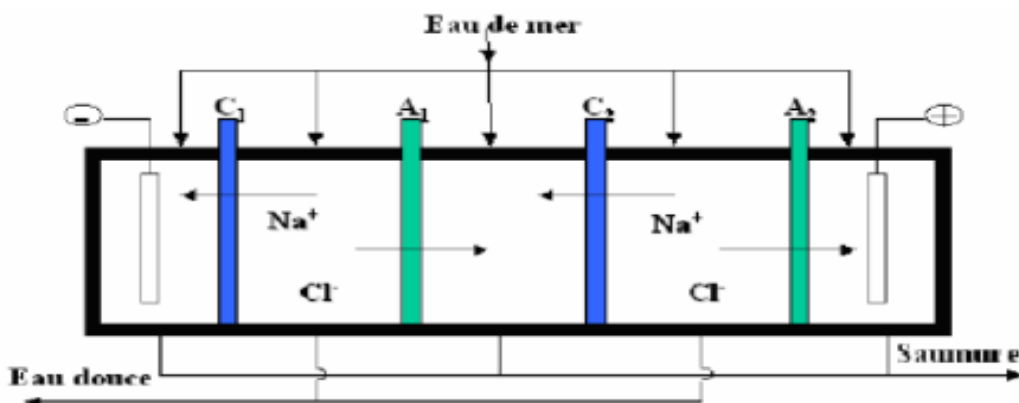


Figure II .10 : représentation graphique de l'électrodialyse

II.2.2 Dessalement par membranes

Les procédés membranaires mettent en jeu une séparation physique sans changement de phase à température ambiante, et principalement l'osmose inverse (OI).

II.2.2.1 Osmose inverse (RO)

L'osmose inverse est apparue dans les années 1950 aux États-Unis grâce aux recherches sur les membranes semi-perméables. Les travaux de **Reid et Breton** ont démontré le dessalement par films de cellulose, tandis que **Loeb et Sourirajan** ont ensuite mis au point une membrane asymétrique en acétate de cellulose, combinant haut débit et forte rétention de sels. Cette avancée a rendu l'osmose inverse viable pour une utilisation industrielle. [18].

La meilleure compréhension des mécanismes de transfert et l'optimisation énergétique grâce aux systèmes de récupération d'énergie ont permis de réduire significativement le coût de production de l'eau dessalée. [19]

Pour une meilleure compréhension de OI, les éléments explicatifs suivants s'imposent :

a. Lois physico-chimiques

- Pression osmotique (solution diluée) : $\pi \approx i \times C \times R \times T$ (**van 't Hoff**).
- Condition d'OI : **appliquer $\Delta P > \Delta \pi$**
- Flux d'eau (simplifié) : $J_w = A (\Delta P - \Delta \pi)$ A est la perméabilité hydraulique.
- Rejet de sel : $R = 1 - C_p / C_f = 1$ (avec C_p perméat C_f alimentation).

b. Procédées d'Osmose inverse

L'eau contient des sels dissous et, par osmose, tend à traverser une membrane vers la solution la plus concentrée jusqu'à équilibre. En appliquant une pression supérieure à la pression osmotique, on inverse ce phénomène : l'eau pure est forcée à traverser la membrane en laissant les sels derrière elle. Ce principe est à la base de l'osmose inverse (RO), la méthode de dessalement la plus utilisée, qui nécessite une pression d'autant plus élevée que la salinité de l'eau est importante. [20]

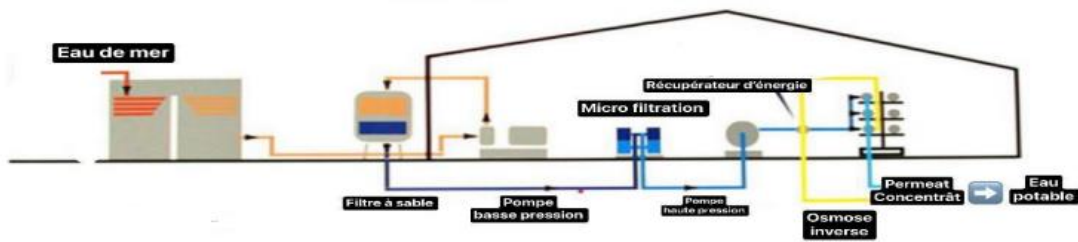


Figure II .11 : schéma illustratif du procédé d'Osmose Inverse

L'osmose inverse consiste à faire passer l'eau au travers des membranes semi-perméables, sous l'effet de la pression différentielle de la solution concentrée vers la solution diluée. Le taux d'élimination est exprimé en pourcentage de la salinité totale, la réduction de salinité de l'eau saumâtre est supérieure à 92% contre plus de 98,5% pour l'eau de mer.

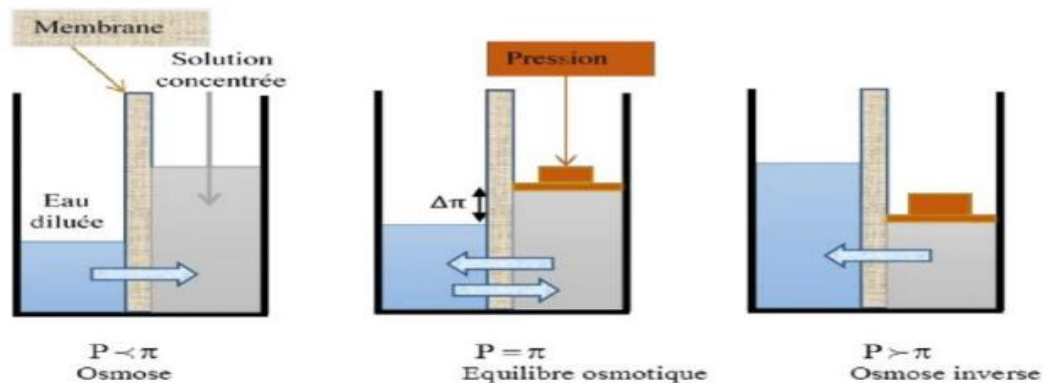


Figure II.12 : schéma illustratif du rôle de la membrane dans l'Osmose Inverse

Étape 1 : Osmose : Le niveau est identique dans les deux compartiments séparés par la membrane semi-perméable : L'eau circule de la gauche vers la droite

Étape 2 : Équilibre : Durant cette étape, une différence de niveau s'établit, c'est la pression osmotique C'est une différence de pression de part et d'autre de la membrane. Il faut savoir que la pression osmotique varie selon la concentration du liquide.

Étape 3 : Osmose inverse : Ici, on va appliquer une pression $P > \pi$, l'eau circulera en sens

Inverse c'est à dire de la droite vers la gauche et les sels présent dans la solution concentrée vont rester bloquer dans leur compartiment car ils sont trop gros pour passer à travers la membrane. [21]

c. Processus de dessalement d'eau de mer par osmose inverse

L'eau de mer est prélevée au large, puis soumise à une série de filtrations successives pour éliminer les débris, algues et particules fines. Après ce prétraitement, elle passe par osmose inverse : sous haute pression, l'eau traverse des membranes qui retiennent les sels, produisant une moitié d'eau douce et une moitié de saumure concentrée. L'eau destinée à un usage industriel ou agricole est directement exploitable, tandis que celle destinée à la consommation humaine est reminéralisée et ajustée en pH pour répondre aux normes sanitaires, car une eau totalement déminéralisée serait nocive pour la santé et les canalisations. [22]

Une usine de dessalement par osmose inverse comporte les étapes ou sections suivantes :

- Système de prétraitement.
- Système de pompage.
- Systèmes à membrane RO et Système de récupération d'énergie
- Post-traitement.



Figure II.13 : Conception générale d'une usine de dessalement par RO

d. Avantages de l'osmose inverse

L'osmose inverse se développe rapidement grâce à son efficacité énergétique, consommant environ trois fois moins d'énergie que la distillation (4 à 5 kWh/m³ contre 15 kWh/m³). Les progrès technologiques, tels que la création de membranes plus fines réduisant la pression nécessaire, la baisse du coût des membranes et l'amélioration des pompes et moteurs, devraient encore diminuer les consommations et renforcer l'intérêt économique de ce procédé. [23]

e. Inconvénients de l'osmose inverse

- **La dégradation des membranes** : lors du dimensionnement d'une installation d'osmose inverse, on tient compte en moyenne d'une durée de vie des membranes de l'ordre de 3 ans.
- **Les pertes en eau** : En effet, le concentrat qui contient tous les sels qui n'ont pas traversé les membranes, représente environ 55% du débit entrant, Cette eau contient une concentration excessive de sels pour être utilisée dans l'agriculture, ce qui entraîne sa perte [23]

II.2.2.2 Nanofiltration

La nanofiltration est une technique membranaire proche de l'osmose inverse mais fonctionnant à plus faible pression et avec un risque d'encrassement réduit. Elle utilise des membranes moins fines, capables de retenir des particules d'environ 0,001 micron, dont les sels, métaux lourds, agents pathogènes et matières organiques, tout en laissant passer certains minéraux bénéfiques. Principalement utilisée pour la production d'eau potable, elle sert aussi à l'adoucissement, à l'élimination des métaux lourds et à la réutilisation des eaux traitées. [24]

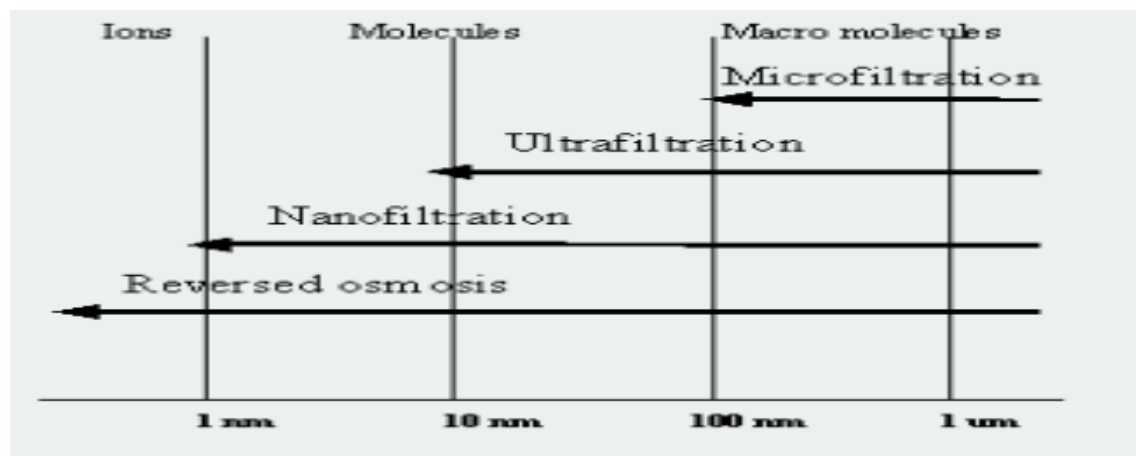


Figure II.14 : technique de nano--filtration

II.2.2.3 Ultrafiltration

Dans certaines régions comme le golfe Persique, la forte salinité et la teneur élevée en matières organiques de l'eau de mer compliquent le dessalement par osmose inverse. Un prétraitement par ultrafiltration (UF) est alors indispensable. Cette technique, utilisant des membranes ultrafines sous pression, élimine les particules microscopiques et réduit les risques d'encrassement des membranes RO.



Figure II.15 : photo d'une Unités d'ultrafiltration

II.3 Enjeux et impacts environnementaux des techniques de dessalement dans le monde

Face à la croissance démographique, à l'urbanisation rapide et à la raréfaction des ressources en eau douce, le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres s'impose comme une solution stratégique pour répondre aux besoins en eau potable, en particulier dans les régions arides et semi-arides. Toutefois, malgré ses bénéfices indéniables, cette technologie soulève d'importants enjeux environnementaux qu'il est nécessaire d'anticiper et de maîtriser.

II.3.1 impacts et Enjeux environnementaux

a. La consommation énergétique : Les procédés de dessalement, surtout l'osmose inverse et la distillation thermique, exigent une grande quantité d'énergie, majoritairement d'origine fossile. Cela entraîne des émissions de gaz à effet de serre et accentue le changement climatique. L'amélioration de l'efficacité énergétique et l'intégration des énergies renouvelables constituent des enjeux prioritaires.

b. La gestion de la saumure : Le dessalement génère des rejets salins concentrés contenant des produits chimiques. Leur évacuation en mer provoque une hausse de la salinité et une altération des écosystèmes marins, affectant la faune et la flore aquatiques.

c. L'empreinte écologique des installations : Les grandes unités de dessalement modifient les zones côtières et peuvent engendrer des nuisances visuelles et sonores. Les prélèvements d'eau de mer perturbent les habitats marins et menacent la biodiversité locale.

d. Impacts sur le milieu marin : L'augmentation de la salinité, de la température et la présence de contaminants chimiques dans les rejets affectent les écosystèmes sensibles tels que les herbiers et les récifs coralliens.

e. Impacts sur l'atmosphère : La consommation énergétique élevée, issue de sources non renouvelables, contribue aux émissions de CO₂ et au réchauffement climatique.

f. Impacts à long terme : Le recours au dessalement peut entraîner une dépendance durable à des technologies complexes et coûteuses, influençant la gestion durable et intégrée des ressources en eau.

Procédé	Distillation par compression mécanique de la vapeur	Distillation par thermocompression	Distillation par détente successive	Osmose inverse
Débit d'eau de mer/Débit production	2 à 3 avec recyclage	3 à 4	3 à 4 si recyclage saumure, sinon 7 à 9	2 à 2,5 selon salinité
Prétraitement :				
- chloration	Requise sauf recours à des puits côtiers	Requise	Requise	Requise sauf recours à des puits côtiers (petites installations)
- filtration	Tamissage à 0,5 mm	Tamissage à 0,5 mm	Tamissage à 1,5 mm	Filtration(s) fine(s) voire microfiltration
- antitartre	Injection d'un inhibiteur	Injection d'un inhibiteur	Injection d'un inhibiteur et/ou acidification + dégazage du CO ₂	Objectif : SDI _{moy} ≤ 3
- déchloration	Non requise	Non requise	Non requise	Acidification et/ou injection d'un inhibiteur
Température maximale de fonctionnement	60 à 70 °C	60 à 70 °C	entre 90 et 120 °C	Requise
Salinité eau produite	1 à 30 mg/L	1 à 30 mg/L	50 à 100 mg/L	Objectif : chlore ≤ 0,1 mg/L
Énergie électrique (unité de dessalement seulement)	12 à 17 kWh/m ³ si un effet 7 à 9 kWh/m ³ si deux effets...	1 à 2 kWh/m ³	2 à 3 kWh/m ³	Température de l'eau de mer Optimum = 25 °C
Énergie vapeur	Aucune	8 < GOR * < 16 selon le nombre d'effets	6 < GOR * < 12	200 à 500 mg/L
Échelle de capacité (unitaire par bloc)	< 2 000 m ³ /j	500 à 12 500 m ³ /j	5 000 à 50 000 m ³ /j	2,8 à 3,5 kWh/m ³ avec récupération d'énergie
Avantages	Pas de vapeur Simplicité du fonctionnement	Coût = 15 % inférieur à distillation par détente successive	Technique la plus éprouvée	Technologie modulaire qui s'adapte à toutes les capacités 10 à 20 000 m ³ /j par bloc
* GOR : (Gain Operating Ratio) masse d'eau produite par kilogramme de vapeur consommée.				

Tableau II.6 : comparatif des techniques de dessalement [41]

Conclusion

Les technologies utilisées dans le dessalement d'eau de mer jusqu'à présent sont diverses et variées, répondent aux impératifs économique et environnementales à des degrés variés. Chaque pays aura le choix de la technologie qui sied avec les priorités assignées à l'industrie mis en place.

PARTIE PRATIQUE

Chapitre III : Etude de cas Station de Dessalement d'Eau de Mer CORSO/AEC

Introduction

Le stage pratique que j'ai effectué au niveau de la station de dessalement d'eau de mer CORSO, m'a permis de côtoyer le mode professionnel de manière plus soutenue et plus technique.

Une période suffisante pour observer de visu, toute la complexité du procédé et des installations dédiées au traitement de de mer.

C'est aussi une occasion pour collecter les informations nécessaires pour un traitement des données et l'analyse des paramètre me donnant l'occasion de m'initier davantage dans le quotidien professionnel.

III.1. Présentation de l'organisme d'accueil AEC et la station CORSO

“Algerian Energy Company”, dénommée par abréviation « **AEC** » est une entreprise publique, Société par Actions créée en 2001, détenue par le groupe Sonatrach. Statutairement, ses missions consistent en la promotion de projets d'envergures, seule ou en partenariat avec des firmes étrangères exerçant, notamment, dans la génération de l'Énergie Électrique et le dessalement d'Eau de Mer.

L'activité par laquelle AEC est le plus connue est, sans doute, le Dessalement d'Eau de Mer.

En effet, le Dessalement d'Eau de Mer (DEM) était une réponse donnée par les Pouvoirs Publics pour contrer le stress hydrique sévissant, particulièrement, dans l'Ouest algérien.

Le Gouvernement de l'époque avait décidé de lancer un important programme de Dessalement d'Eau de Mer, composé de 11 usines réparties sur tout le littoral, dans lesquelles AEC a des participations allant de 30 à 49 %, en association avec des partenaires étrangers.

Sa capacité de production globale s'élève à 2,2 millions de m³/jour, ce qui représente une contribution de 18 % de l'eau potable distribuée. [28]

La station de dessalement d'eau de mer de **CORSO** a été Réalisée par l'entreprise Algerian Energy Company (AEC), l'une des filiales de la Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures (Sonatrach. La Société algérienne de génie civil et bâtiment (GCB) a été chargé de la réalisation des travaux au côté de la société METITO.

Cette station est destinée à couvrir les besoins en eau potable des régions ouest et nord de Boumerdès, au même titre que ceux de la partie Est de la capitale. Elle utilise la technique d'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer. Sa capacité journalière de dessalement est de 80 000 m³, elle s'étend sur une assiette de 6,25 ha et sa durée d'exploitation est de 30 ans. Cette Station de Dessalement d'eau de Mer (SDEM) fait partie des quatre (04) stations réalisées dans le cadre du plan d'urgence du président de la République.

III.1.1 Localisation de la station

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de CORSO est localisé dans la wilaya de Boumerdes, à 1,7 km du chef-lieu de wilaya et à environ 35 km D'Alger. L'usine est située au nord de corso a environs 1,2km de la ville. Elle est sillonnée par la route nationale N24 en provenance d'Alger et en direction de Boumerdes ; et relié à corso par le chemin de wilaya N°5A.

Ces coordonnées (36.7768592553304, 3.446869111295016) situent précisément la station de dessalement de Corso. Sa proximité immédiate avec la mer Méditerranée constitue un atout majeur, offrant un accès direct et continu à la ressource en eau de mer nécessaire au processus de dessalement.



Figure III.16 : photo satellitaire de la station de dessalement d'eau de mer CORSO

III.1.2 Capacité de la station et le mode de fonctionnement

L'usine est conçue pour la capacité nominale de 80 000 m³/j, en deux chaînes de production plus ou moins indépendantes d'une capacité unitaire de 40 000 m³/j, contenant chacune quatre (04) unités de dessalement permettant ainsi une meilleure disponibilité et fiabilité de l'usine. Toute la tuyauterie y est conçue en conséquence.

III.2 La chaîne de production d'eau

L'usine de COSRO se compose de 3 parties essentielles :

A. La chaîne de production d'eau composée de :

1. Le captage
2. Le Prétraitement
3. L'osmose inverse
4. La reminéralisation
5. Le pompage d'eau produite
6. Le laboratoire d'analyse d'eau.

III. 2. 1 Prise d'eau de mer et station de pompage

Processus de collecte d'eau de mer depuis son environnement naturel, cela implique l'aspiration de l'eau de mer à l'aide de pompes (captage).

III. 2. 1. 1 Tour de captage : Le captage se fait par deux tours en béton de 3,4 m de diamètre, situées à -14,6 m, chacune dotée de six fenêtres d'admission grillagées et d'un trou d'homme de 2 m pour l'inspection. [29]

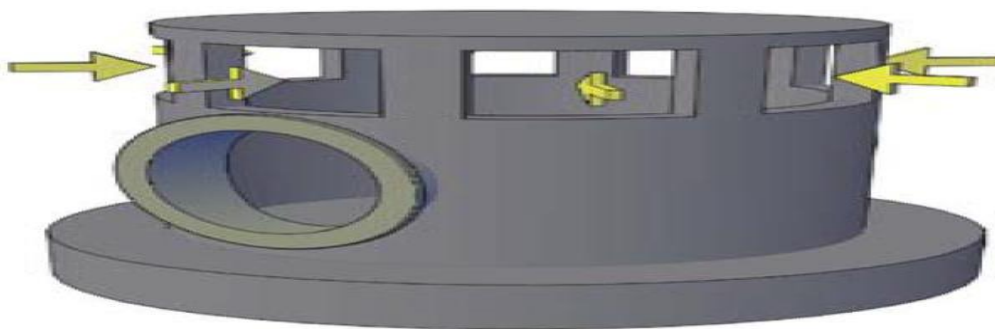


Figure III.17 : Tour de captage (E. Pita, 2011)

III. 2. 1. 2 Conduite de captage : Afin de véhiculer le débit nécessaire pour la production de 80000m³/j et en tenant compte d'un excès de 10% de production, deux conduites en PEHD de diamètre 1400mm, SR26 et de longueur unitaire 875m (800m offshore et 75m on shore) ont été posées. Chaque conduite peut véhiculer la totalité du débit qui est de 81482 (m³/h). [29]



Figure III.18 : Conduite de captage en PEHD.

III. 2. 1. 3 Ouvrage de captage : l'eau entre a un débit d'environ 7800m³/h ver la station de pompage qui pompe l'eau vers la bache de réception.

III. 2. 1. 4 Vanne d'isolement : sur l'arrivée il existe deux vannes murales de type glottine pour isoler les conduites. Ces vannes sont motorisées. Elles ont une commande locale pour l'ouverture (pneumatique) et la fermeture et elles peuvent être commandées à distance à partir du SCADA de la salle de contrôle principale.



Figure III.19 : La vanne d'isolement de la bache d'admission

III. 2. 1. 5 Système de dégrillage

Un système de dégrillage grossier est fourni pour filtrer les grosses particules indigérables (poisson etc...) provenant de la mer, suivi d'un système de dégrillage fin, la bache est devisée en trois couloirs qui comporte chacun ces deux types de dégrilleur (dégrilleurs à barre). [29]

III. 2. 1. 5.1 Dégrileur grossier

Le tableau ci-dessous décrit les valeurs propres du dégrilleur

Tableau III.7 : valeurs propres du dégrilleur [29]

Quantité	03
Largeur (m)	2
Débit nominal (m3/h)	2610
Débit maximal (m3/h)	3910
Barreau (dim) (mm)	Tige verticale rectangulaire 5x50
Espacement (mm)	25
Matériau	Pièce immergée super duplex
Hauteur des barreaux(m)	12.5
Nettoyage	Avec râteau



Figure III.20 : installation de Dégrileurs.

III. 2. 1. 5.2 Tamiseur à bande mobile

Le tamiseur à bande mobile est généralement utilisé pour éliminer les débris fins.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau III.8 : valeur du tamiseur [29]

Quantité	03
Largeur (m)	2
Débit nominal (m3/h)	2610
Débit maximal (m3/h)	3910

Maille (dim) (mm)	3x3
Epaisseur fil (mm)	0.8
Matériau	Piece immergées super duplex
Hauteur (m)	12.5
Vitesse de la chaine(m/h)	2 vitesses (2-10)
Nettoyage	Automatique



Figure III.21 : Photo de tamis a bande

III. 2. 1. 6 Bâche d'eau de mer et station de pompage

III. 2. 1. 1.7 Instrumentation

La bâche d'eau de mer est équipée de deux transmetteurs de niveau. Les transmetteurs de niveau seront utilisés pour verrouiller le fonctionnement des pompes d'alimentation en eau brute

Tableau III.9 : équipements de la bâche à eau [29]

Instrument	Alarme	Action
AIT-0201	Turbidité haute	Information
AIT-0202	Hydrocarbure Haut	Arrêt station
AIT-0203	Conductivité haute ou basse	Information
AIT-0204	pH haut ou bas	Information
LIT-201A/B	Niveau haut	Arrêt pompes
LS-201A	Niveau bas	Arrêt pompes

III. 2. 1. 8 La station de pompage d'eau de mer

La capacité nominale totale de la station de pompage est de 7810 m³/h.



Figure III.22 : station de pompage (source aps.dz)

- **Pompes d'échantillonnage :** Deux pompes d'échantillonnage (1 en service+1 en réserve) sont prévues pour alimenter les instruments de mesure.
- **Pompes eau motrices de javel** Deux pompes (une en service et une en réserve) assurent l'injection de javel pour la désinfection des tours de captage et des conduites d'amenée via une conduite PEHD parallèle aux conduites principales de 1400 mm.**Pompes d'alimentation d'eau potable :** La station de pompage comprend neuf pompes à eau de mer (8 en service et 1 de secours) reliées à deux collecteurs de refoulement équipés d'un système de ventousage. Chaque pompe est dimensionnée pour compenser les pertes de charge du système de floculation-décantation [29]

III.2.2 Système de Prétraitement

Le prétraitement pour le dessalement de l'eau de mer vise à éliminer les impuretés avant l'osmose inverse, afin de protéger les membranes. Il comprend des étapes clés suivantes :

III.2.2.1 Bâche de Coagulation

La station dispose de quatre bâches de coagulation de 31,94 m³ chacune, assurant un temps de séjour d'environ une minute avec agitation rapide par des agitateurs de 11 kW. Le chlorure ferrique y est injecté pour déstabiliser les particules avant l'envoi de l'eau vers la floculation.

III.2.2.2 Bâche de floculation

Après la coagulation, l'eau est dirigée vers huit bâches de floculation de 320 m³ chacune, assurant un temps de séjour de 20 minutes. Un polymère floculant y est ajouté pour favoriser l'agglomération des particules, avec agitation lente par des moteurs de 1,5 kW à vitesse variable.



Figure III.23 : bâche de coagulation floculation

III.2.2.3 Décanteur lamellaire

La station compte huit décanteurs lamellaires (22 × 10 × 5 m) assurant l'élimination des MES par sédimentation gravitaire. Avec une charge hydraulique de 5 m³/m²/h et un rendement de 90 %, ils traitent jusqu'à 7810 m³/h. En cas de MES inférieures à 30 µm, l'eau est dirigée directement vers la bâche d'eau clarifiée. [29]



Figure III.24 : photo de décanteur laminaire

III.2.2.4 Racleur de boue : Chaque décanteur lamellaire contient un racleur de boue à chaîne qui fait racler la boue vers une fosse d'extraction, avec une Vitesse de raclage 1450(tr/min) sans variateur de vitesse.

III.2.2.5 Pompe d'extraction de boue : Chaque décanteur lamellaire contient une pompe à vis d'extraction de boue qui aspire à partir de la fosse d'extraction et l'envoi vers la chaîne de traitement de boue.

III.2.3 Dosage des produits chimiques de prétraitement

Système de dosage et stratégie de désinfection à l'hypochlorite de sodium

Le système de pré chloration est basé sur l'utilisation d'**hypochlorite de sodium (NaOCl à 12 %)**. Il comprend :

- Deux réservoirs dédiés au stockage et au dosage de l'hypochlorite,
- Deux pompes de transfert/déchargement,
- Des pompes de dosage assurant l'injection contrôlée du produit.

La stratégie de désinfection repose sur une combinaison de **dosage en continu** et de **traitement choc périodique** :

- **Le dosage en continu de chlore :** effectué au refoulement des pompes d'eau brute, maintient une concentration résiduelle d'environ 1 mg/L (jusqu'à 2 mg/L si nécessaire) afin d'assurer une désinfection constante et de prévenir la prolifération microbienne dans la filière de traitement
- **Traitement choc :** Une injection hebdomadaire d'hypochlorite à 10 mg/L pendant 6 heures est réalisée dans les circuits de traitement pour éliminer les micro-organismes résistants et prévenir la formation d'algues et de biofilms.

III.2.3.1 Réservoirs de stockage/dosage d'hypochlorite

Ces réservoirs est utilisé pour stocker/doser le produit chimique dans le circuit. Le système a deux réservoirs verticaux d'une capacité de 10 m³. Le matériau de construction du réservoir est le polyéthylène

Principe de contrôle :

Tableau III.10 : niveau de contrôle Réservoirs de stockage

Alarme	Action
Bas	Arrêt pompe doseuse
Haut	Arrêt pompe de transvasement

III.2.3.2 Pompes doseuses de d'hypochlorite : Les pompes doseront le produit chimique au niveau de la tour d'admission, une par ligne d'admission.

III.2.3.3 Système de dosage du coagulant (chlorure ferrique) : Comme la prise est ouverte, l'eau de mer aura un taux de colmatage élevé (SDI), Il nécessitera l'ajout d'un coagulant suivant l'expérience au niveau des usines similaires. Son dosage est prévu à l'entrée de la bêche de coagulation. Il est prévu l'installation d'un système de dosage de coagulant inorganique, le Chlorure Ferrique à 40%.

Le système se compose de :

- Réservoir de stockage / dosage.
- Pompes de déchargement,
- Pompes de dosage de coagulant (FeCl_3)

III.2.3.4 Système de dosage de polymère

Le système se compose de :

- Pompes doseuses de polymère,
- Réservoirs de dosage
- Mélangeurs de dosage.

Les polymères, dosés entre 0,1 et 0,5 mg/L, renforcent la floculation pour faciliter la décantation et la filtration. Le système comprend un réservoir de 1 m³ et trois pompes (deux en service, une en réserve) injectant le polymère à l'entrée des bassins de floculation. [29]

III.2.3.5 Bêche d'eau clarifiée

L'eau clarifiée qui provient des décanteurs lamellaires est stockée dans une bêche en béton de capacité 800m³. Cette bêche tampon servira pour alimenter les lignes de production à travers 8 pompes intermédiaires d'alimentation des filtres à sable. Deux collecteurs reçoivent chacun le refoulement de quatre pompes.

III.2.4 Station de pompage intermédiaire

La station de pompage intermédiaire comporte huit pompes. Les quatre pompes refoulent dans le premier collecteur et les quatre autres refoulent dans le deuxième. Une pompe de réserve connectée sur les deux collecteurs est prévue. Le débit de chaque pompe est de 953 m³/h.

III.2.4.1 Filtres à sable

La batterie de filtration comprend 16 filtres à sable sous pression horizontaux (8 par ligne), chacun de 3,8 m de diamètre et 15 m de longueur, offrant une surface de 57,2 m² et un débit de 477 à 545 m³/h. Construits en acier au carbone revêtu de caoutchouc, ils sont lavés à l'air et à la saumure, puis rincés à l'eau de mer brute. Le cycle de filtration dure 48 heures, avec une conception facilitant l'accès aux équipements et vannes. [29]

Tableau III.11 : caractéristique du filtre à sable

Description	Diamètre (mm)	Hauteur (mm)
Gravier	2 – 3	200
Sable	0.4 – 0.8	400
Filltralite	0.8 – 1.6	600



Figure III.25 : photos de filtre à sable [30]

III.2.4.2 Filtres à sable Système de lavage à contre-courant du filtre à sable

Le lavage à contrecourant des filtres à sable se fait par la saumure à partir de bêche de saumure. Le système se compose d'une bêche de saumure de capacité de 1334 m³ en béton.

Le débit de lavage à contre-courant est de 2002 m³/h.

Tableau III.12 : caractéristiques Système de lavage à contre-courant du filtre à sable

Étape	Temps (min)	Débit (m ³ /h)
Abaissement	10	-
Barbotage à l'air	3	2 860
Eau de lavage à contre-courant	20	2 002

Repos	5	-
Déplacement de la saumure du filtre	24	-
Rinçage du filtre	24	-
Durée totale	86	-

III.2.4.3 Surpresseurs d'air

Le surpresseur d'air fonctionne pour fluidifier le sable avant que le lavage à contrecourant avec de l'eau commence. Cela améliore l'efficacité de nettoyage du sable. Le système se compose de trois surpresseurs, deux en service et l'autre de secours.

III.2.4.4 Pompes de lavage

Le système se compose de trois pompes, deux en service et l'autre de secours.

La capacité de la pompe est de 1001 m³/h à 8 m de hauteur

Tableau III.13 : caractéristique de la pompe à lavage

Quantité	03
Débit (m ³ /h)	1001
HMT (m)	8

III.2.4.5 Système de dosage SMBS (décoloration) :

Le méta-bisulfite de sodium (SMBS) est injecté dans l'eau d'alimentation de l'osmose inverse pour neutraliser le chlore résiduel, nocif pour les membranes. La solution est préparée dans des réservoirs de **2 m³** équipés de mélangeurs assurant l'homogénéité du produit avant injection, sachant que le matériau de construction du réservoir est le polyéthylène. [29]

III.2.4.6 Pompes doseuses SMBS

Les pompes doseront le produit chimique après les filtres à cartouche. Le système dispose de 3 pompes ; 2 en service et 1 en réserve. Les pompes injectent dans deux lignes de production.

III.2.4.7 Système de dosage antitartre

Un antitartre est ajouté à l'eau d'alimentation des racks d'osmose pour empêcher l'accumulation de tartre sur les membranes résultant de produits chimiques ayant un potentiel d'entartrage tels que le carbonate de calcium et le sulfate de calcium. Le dépôt de tartre sur les membranes réduira la perméabilité en obstruant les pores et provoquera ainsi un encrassement. [29]

III.2.4.8 Réservoir de dosage antitartre

Ces deux réservoirs sont utilisés pour doser l'antitartre. Leur capacité est de 0.5 m³. Le matériau de construction de ses derniers est le polyéthylène et seront également placé dans un bac de rétention de sécurité pour contenir d'éventuelles fuites ou casses.

III.2.4.9 Pompes doseuses antitartre

Les pompes doseront le produit chimique après les filtres à cartouche. Le système dispose de 9 pompes, 8 en service et 1 en réserve. Les pompes injectent dans la première ligne de production tandis que les pompes injectent dans la deuxième ligne de production, la pompe en réserve. La capacité de la pompe est de 1 à 4 LPH à 70 m de hauteur, équipée d'un servomoteur et de soupapes de sécurité.

III.2.4.10 Filtres à Cartouches

Les filtres à cartouche, en polypropylène de 70 pouces et à seuil de 5 µm, assurent la filtration finale avant les membranes d'osmose inverse. Installés sur les deux lignes principales, ils fonctionnent à une vitesse ≤ 10 m/h et sont logés dans des récipients en PRV sous pression. L'eau filtrée est ensuite envoyée vers les pompes haute pression et le système de récupération d'énergie. Le système se compose de 9 filtres à cartouche (8 en service+1 réserve). La capacité du filtre à cartouche est de 950 m³/h. [29]



Figure III.26 : photo de filtre à cartouche

III.2.5 Système d'osmose inverse

Après l'étape de prétraitement, l'eau filtrée et déchlorée est dirigée vers le système d'**osmose inverse d'eau de mer (SWRO)**. Ce procédé permet de produire une eau dessalée dont la salinité se situe généralement entre **57 et 178 mg/L**.

Afin d'atteindre la pression nécessaire au fonctionnement des membranes, l'eau issue des filtres à cartouches est comprimée par une **pompe haute pression**. Le flux d'alimentation est alors séparé en deux fractions :

- Le **perméat**, représentant environ **45 %** du débit, qui correspond à l'eau douce produite,
- La **saumure** (ou concentrat), représentant environ **55 %** du débit, contenant les sels et impuretés rejetés.

L'unité d'osmose inverse se compose principalement de :

- Pompes haute pression,
- Tubes sous pression renfermant les membranes,
- Dispositifs de récupération d'énergie,
- Et pompes de surpression (booster).

III.2.5.1 Pompes haute pression

Les pompes à haute pression pressurisent l'eau d'alimentation à une pression d'environ 68 bar.

L'eau d'alimentation sous pression est acheminée vers l'unité RO. Le système se compose de huit pompes haute pression de service (4 pompes par ligne de production) et d'une pompe de réserve non installée. La capacité de la pompe est de 433 m³/h.

III.2.5.2 Les pompes booster

Les pompes booster pressurisent l'eau qui sort de l'échangeur de pression pour atteindre la pression nécessaire pour alimenter les membranes (680 m TDH). Le système se compose de huit pompes de surpression avec (4 pompes par ligne de production) et d'une pompe de réserve non installée. La capacité des pompes est de 520 m³/h

III.2.5.3 Modules de rack RO

L'eau d'alimentation, mise sous pression par les pompes HP et le système de récupération d'énergie, alimente huit racks d'osmose inverse totalisant 7112 membranes LG SW 400 GR G2. Environ 45 % du flux devient du perméat et le reste de la saumure. La perte de charge varie entre 1,5 et 2 bars. Le système de récupération d'énergie améliore le rendement global, et le perméat obtenu est stocké dans un réservoir de rinçage avant distribution

III.2.5.4. Dispositif de récupération d'énergie

Le système d'échangeur de pression (PX ERD) transfère l'énergie hydraulique de la saumure vers l'eau d'alimentation avec une efficacité de 95 à 97 %. Il récupère plus de 90 % de l'énergie de la saumure, réduisant ainsi la puissance nécessaire des pompes haute pression et optimisant la consommation énergétique et les coûts d'exploitation. [29]



Figure III.27 : photo de récupérateur d'énergie PX

III.2.5.5 Système de Rinçage

Lors de l'arrêt de l'unité RO, les membranes sont rincées avec de l'eau à faible TDS provenant du réservoir de perméat. Le système de rinçage nettoie les pompes HP, le système de récupération d'énergie, la pompe booster et les membranes. Une seule pompe de nettoyage fonctionne pendant le rinçage, les deux autres restant en veille. [29]

III.2.5.6 Réservoir de rinçage

Une partie de l'eau produite par les différentes unités d'osmose inverse est collectée dans un réservoir en PRV situé à l'intérieur du bâtiment d'osmose inverse. La capacité du réservoir est de 120 m³.

La cuve assure une réserve permanente pour le rinçage des unités d'osmose inverse si nécessaire et permet d'alimenter en perméat la station de nettoyage chimique des membranes.

III.2.6 Système de nettoyage CIP

Chaque train RO doit être nettoyé par un système de nettoyage en place en cas de besoin. Ce système comprendra les éléments suivants :

- Un réservoir de nettoyage
- Une tuyauterie
- Des collecteurs équipés de vannes et instruments nécessaires
- Les filtres à cartouche

Tous les rejets du nettoyage de l'usine SWRO sont dirigés vers la bache de neutralisation où ils seront neutralisés puis transférés vers le réservoir de décharge. [31]

III.2.6.1 Réservoir de nettoyage

Le réservoir de nettoyage est utilisé pour préparer davantage la solution chimique de nettoyage et la fournir pour le nettoyage de la membrane. Le système se compose d'un réservoir de service. La capacité du réservoir est de 120 m³ et le matériau de construction est le GRP.

III.2.6.2 Pompe de nettoyage

Ces pompes aspirent la solution de nettoyage (dans le réservoir de nettoyage), et l'envoient en circuit fermé pour nettoyer les membranes. Le système se compose de trois pompes (deux en service et une de secours). La capacité de la pompe est de 575 m³/h et son HMT est de 45m [29]

III.2.6.3 Filtre à cartouche de Nettoyage

La solution de nettoyage passe à travers des micro filtres pour éliminer les particules très fines, qui sont généralement des colloïdes.

Le système se compose de trois filtres à cartouche. La capacité de chaque filtre est de 575 m³/h.

La porosité est de 5 microns et le matériau de construction est le GRP

III.2.7 Système de Post-Traitement

III.2.7 1 Système de reminéralisation

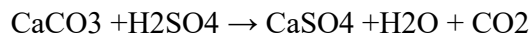
La reminéralisation est un processus d'ajustement du LSI du perméat d'osmose inverse pour maintenir l'eau dans un état neutre ; ni corrosif ni entartrant. Cela se fait en ajustant la dureté et l'alcalinité de l'eau en dissolvant de la calcite (calcaire) dans l'eau.

- **LSI = pH – PHS**

Où PHS est un facteur de TDS, d'ions Ca^{2+} , d'alcalinité et de température.

Puisque la calcite n'est pas soluble dans l'eau, nous devons la transformer en une forme soluble (Bicarbonate); par addition d'acide ou par dosage de **CO₂** comme suit :

- **1)Méthode d'injection d'acide :**



- **2)CO2 mode d'injection :**



- La station utilise la méthode au CO₂ pour la reminéralisation du perméat. La moitié du perméat est envoyée vers les cellules de calcite, où du CO₂ est injecté via un diffuseur pour ajuster le pH et la dureté, tandis que l'autre moitié est mélangée à l'eau reminéralisée dans un réservoir de mélange. Une dose de soude caustique est ensuite ajoutée pour éliminer le CO₂ résiduel et stabiliser le pH.

III.2.7.2 Système de dosage du dioxyde de carbone

La dose de dioxyde de carbone est liée au nombre de cellules de calcite en fonctionnement. Le CO₂ est dosé dans le courant d'eau motrice, l'eau porteuse du gaz qui est fournie par le diffuseur est injectée et mélangée au courant principal d'eau perméat avant d'être acheminée vers les cellules à calcite

- **Vannes :** Chaque cellule est équipée de jeu de vannes.

III.2.7.3 Système de Mélange (Réservoir de mélange)

L'eau reminéralisée sortant des cellules de calcite est ensuite acheminée vers le réservoir de mélange pour rencontrer la première partie du perméat. Dans ce réservoir, les deux flux sont mélangés pour donner le LSI ajusté.

La capacité du réservoir est de 180 m³ construit en béton.

III.2.7.4 Système de dosage des produits chimiques

Système de soude caustique

Le système de dosage de soude caustique comprend deux réservoirs en GRP de 10 m³, trois pompes (deux en service, une en secours) injectant 5 µm pour ajuster le pH, à une pression de 5 à 7 bars et une HMT de 70 m. Le système de post-chloration comprend un réservoir en polyéthylène de 5 m³, deux pompes de déchargement et deux pompes de dosage (une en service, une en secours). La désinfection finale est assurée par injection d'hypochlorite à une dose de 1 µm. Les pompes de déchargement ont une capacité de 10 m³/h et HMT de 10 m.

III.2.7.5 Réservoir d'eau produite

Deux réservoirs rectangulaires en béton armé, d'une capacité totale de 15 000 m³, assurent le stockage de l'eau traitée avant sa distribution. Revêtus d'une peinture époxy pour protéger le béton, ils alimentent une station de pompage équipée de cinq pompes (quatre en service, une en réserve), chacune débitant 835 m³/h vers le réseau.

III.2.7.6 Système de rejet

- Le système de rejet comprend les éléments suivants :
 - **Bâche de neutralisation**
 - La bâche de neutralisation est en béton armé recouvert d'une dalle et a une capacité de 266 m³, reçoit l'eau des sources suivantes :
 - Eau de traitement de la chaîne de boue.
 - Eaux usées provenant du nettoyage chimique des membranes.

L'eau reçue dans la bâche de neutralisation est soumise à la soude caustique provenant de pompes doseuses caustiques et à l'acide chlorhydrique provenant de pompes doseuses d'acide pour assurer une valeur de pH appropriée des eaux usées avant d'être rejetée dans la bâche de rejet et le milieu l'émissaire.

Avec une pompe de neutralisation avec une capacité de 350 m³/h

- **Bâche de rejet**

La bâche de rejet est en béton armé et a une capacité de 1334 m³. Elle reçoit l'eau des sources suivantes :

 - Eau de saumure par trop-plein de la bâche de saumure.

La bâche permet l'évacuation des rejets de la station de dessalement via la conduite d'évacuation.

III.2.8 Laboratoire de contrôle

Afin d'assurer la conformité de l'eau dessalée aux normes de potabilité, la station de dessalement par osmose inverse (SWRO) est dotée d'un laboratoire de contrôle physico-chimique et microbiologique. Celui-ci effectue un suivi régulier des paramètres critiques, conformément aux standards internationaux (OMS, 2017 ; AWWA, 2012 ; AFNOR, 2019).

Les analyses portent principalement les éléments sur les **cations majeurs**, les **anions** et **Les paramètres généraux** :

Chapitre IV

Diagnostic et étude de performance de la SDEM

Introduction

Le diagnostic et l'étude de performance constituent une étape essentielle dans la gestion et l'optimisation d'une station de dessalement d'eau de mer. Ces analyses permettent d'identifier les dysfonctionnements, de mesurer la qualité de l'eau produite et d'anticiper sur les besoins futurs en maintenance.

Pour des raisons de limitation de temps et la nouveauté de la station, ne permettant pas de collecter suffisamment d'informations pour un diagnostic complet, mon analyse portera sur l'examen de la fiabilité opérationnelle et de la qualité de l'eau produite, à travers l'examen et l'analyse des principaux paramètres du système mis en place au niveau de la station de CORSO, à savoir :

- Paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, TDS, température)
- Paramètres d'exploitation (pressions de fonctionnement et taux de conversion des membranes).

IV.1 Types de diagnostic appliqués aux stations de dessalement

IV 1.1 Diagnostic technique

Analyse du fonctionnement des unités de captage, prétraitement, osmose inverse et post-traitement, ainsi que de l'état des équipements (pompes HP, membranes, vannes, système de rejet). L'objectif est d'identifier les causes de baisse de performance : colmatage, encrassement biologique, corrosion ou usure mécanique. [32]

IV 1.2. Diagnostic énergétique et économique

Évaluation de la consommation spécifique d'énergie (kWh/m^3) et du rendement des pompes HP et systèmes de récupération d'énergie, comparée aux valeurs de référence. Une station d'osmose inverse moderne consomme généralement entre 3 et 4 kWh/m^3 . [33]

A-Estimation du coût énergétique d'une station de dessalement d'eau de mer

L'énergie représente la principale composante du coût exploitation d'une station de dessalement par osmose inverse. L'estimation ci-dessous repose sur une consommation spécifique comprise entre

3 et 4 kWh/m³, et un prix moyen de l'électricité de 0,036 USD/kWh ($\approx$ 4,9 DZD/kWh). Les valeurs sont données à titre indicative pour une production journalière de 80 000 m³.

Tableau III.14: valeurs indicatives de production

Paramètre	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Unité
Consommation spécifique (SEC)	3 kWh/m ³	4 kWh/m ³	kWh/m ³
Énergie journalière consommé	240 000	320 000	kWh/jour
Énergie annuelle consommé	87 600 000	116 800 000	kWh/an
Coût journalier	8 640 USD ($\approx$ 1,18 M DZD)	11 520 USD ($\approx$ 1,57 M DZD)	/jour
Coût mensuel (30 j)	259 200 USD ($\approx$ 35,3 M DZD)	345 600 USD ($\approx$ 47,1 M DZD)	/mois
Coût annuel	3 153 600 USD ($\approx$ 429 M DZD)	4 204 800 USD ($\approx$ 572 M DZD)	/an
Coût énergétique par m ³ produit	0,108 USD ($\approx$ 14,7 DZD)	0,144 USD ($\approx$ 19,6 DZD)	/m ³

B-Analyse et interprétation

Le coût énergétique représente la part la plus importante du coût total de production (environ 40 à 50 % du coût global du m³ dessalé). Pour une station moderne bien optimisée, la consommation spécifique peut être réduite à 2,8–3,2 kWh/m³ grâce à l'utilisation d'échangeurs de pression isobariques (PX ERD), à l'optimisation des pressions de service et à un entretien régulier des membranes afin de limiter les pertes de charge. Une baisse de 0,5 kWh/m³ permettrait une économie annuelle d'environ 525 000 USD ($\approx$ 71 M DZD).

IV. 1.3 Diagnostic de la qualité de l'eau

Mesure de la salinité, de la conductivité, du TDS, de la turbidité et des microorganismes afin de vérifier la conformité de l'eau produite aux normes de l'OMS (TDS < 500 mg/L).

IV 1.4. Diagnostic environnemental

Impact du rejet de saumure sur le milieu marin.

Empreinte carbone liée à la consommation énergétique.

Utilisation de produits chimiques de prétraitement et post-traitement.

IV 2. Étude de performance d'une station de dessalement

IV 2.1. Définition

L'étude de performance consiste à évaluer la capacité d'une station à fournir en continu une eau de qualité conforme, avec une consommation énergétique et un coût d'exploitation optimisés.

Indicateurs de performance clés (KPI)

- Taux de récupération (Recovery Rate %) : proportion d'eau douce produite par rapport à l'eau de mer alimentée (généralement 35–50 %).
- Salt Rejection (%) : capacité des membranes à retenir les sels (> 99 % pour les membranes modernes).

IV 2.2 Méthodologie d'évaluation de la performance

1. **Collecte des données** : historiques de production, analyses de laboratoire.
2. **Analyse comparative** : comparaison avec les normes de conception.
3. **Identification des écarts** : localisation des pertes de rendement (membranes, pompes, prétraitement).
4. **Propositions d'optimisation** : remplacement d'équipements, amélioration du prétraitement, intégration d'énergies renouvelables.

IV 3. Etude de cas station de CORSO

IV 3. 1. Collecte et Traitement des données

Les données quotidiennes des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, TDS, température) sont enregistrées et analysées selon les exigences du management et les recommandations du constructeur de la station.

IV. 3. 2 Analyse des Paramètres

L'analyse se porte sur les paramètres physico-chimiques et d'exploitation (pH, conductivité, TDS, température, pressions, taux de conversion) afin de les comparer aux normes requises. L'étude statistique et graphique vise à évaluer la performance globale de la station. L'analyse statistique et graphique de ces variables a pour objectif principal :

- Le suivi de leur évolution temporelle afin de détecter d'éventuelles fluctuations
- La comparaison avec les normes de conception et d'exploitation pour vérifier la conformité et la stabilité du procédé.
- L'identification de tendances caractéristiques de la performance de la station, permettant de diagnostiquer d'éventuelles dérives.

Tableau IV.15 : comparatif des normes physico-chimiques [37]

Paramètre	Valeurs typiques mesurées	Normes / valeurs de conception
Ph	6,5 – 7,5 (entrée membranes) 7,0 – 8,0 (après reminéralisation)	OMS : 6,5 – 8,5
Conductivité	Eau de mer : 45 000 – 55 000 $\mu\text{S/cm}$ Perméat : < 500 $\mu\text{S/cm}$	OMS : < 2 500 $\mu\text{S/cm}$
TDS	Eau de mer : 35 – 42 g/L Perméat : < 500 mg/L	OMS : < 1 000 mg/L (potable)
Température	15 – 30 °C (eau brute) 10 – 35 °C (plage optimale membranes)	Design membranes : 10 – 35 °C
Pression	55 – 70 bar (alimentation) TMP < 15 bar	Norme conception : < 15 bar TMP
Taux de conversion	35 – 45 %	Recommandé : 35 – 45 % (eau de mer)

IV. 3. 2.1 Analyse de la variation de température

- Objectif et raison de mesure de la température
 - **Bassin de captage** : permet d'anticiper la viscosité et la solubilité des sels. Une eau plus chaude entraîne une baisse de viscosité, ce qui peut améliorer la perméabilité membranaire, mais augmente aussi le risque de précipitations (scaling).
 - **Décanteur** : stabilité du procédé de décantation (floculation dépend de la température).
 - **Filtre à sable** : confirme la stabilité du système, aucun effet direct sur le média filtrant mais permet de corrélérer avec les autres mesures.
 - **Bloc d'osmose inverse (RO)**

La température influence directement la performance des membranes, normalisée à 25 °C. Une hausse de 1 °C accroît la perméabilité de 3 %, mais accélère le vieillissement. Les relevés quotidiens effectués en 2024 montrent une stabilité des températures, conforme aux normes du constructeur.

Tableau IV.16 : variation mensuelle de la température sur la période de 2024

Période	T° bassin de captage	T° décanteur	T° filtre à sable	T° filtre à cartouche	T° RO	T° expédition
Janvier	16,42	16,41	15,58	16,85	16,71	16,82
Février	16,74	15,43	16,2	16,88	16,8	17,31
Mars	17,17	16,6	16,69	16,79	16,97	17,54
Avril	19,03	16,6	17,84	17,78	18,85	19,06
Mai	20,42	20	19,68	19,6	19,77	20,31
Juin	22,93	21,5	21,37	21,34	21,63	22,41
Juillet	25,12	23,78	23,72	23,71	24,13	24,65
Aout	25,29	24,2	24,1	24,01	24,49	24,86
Septembre	24,79	23,62	23,53	23,38	23,93	24,43
Octobre	21,55	21	20,97	20,88	21,32	21,6
Novembre	21,55	21	21	20,92	21,35	21,62
Décembre	17,5	17,56	17,57	17,61	18,17	18,32

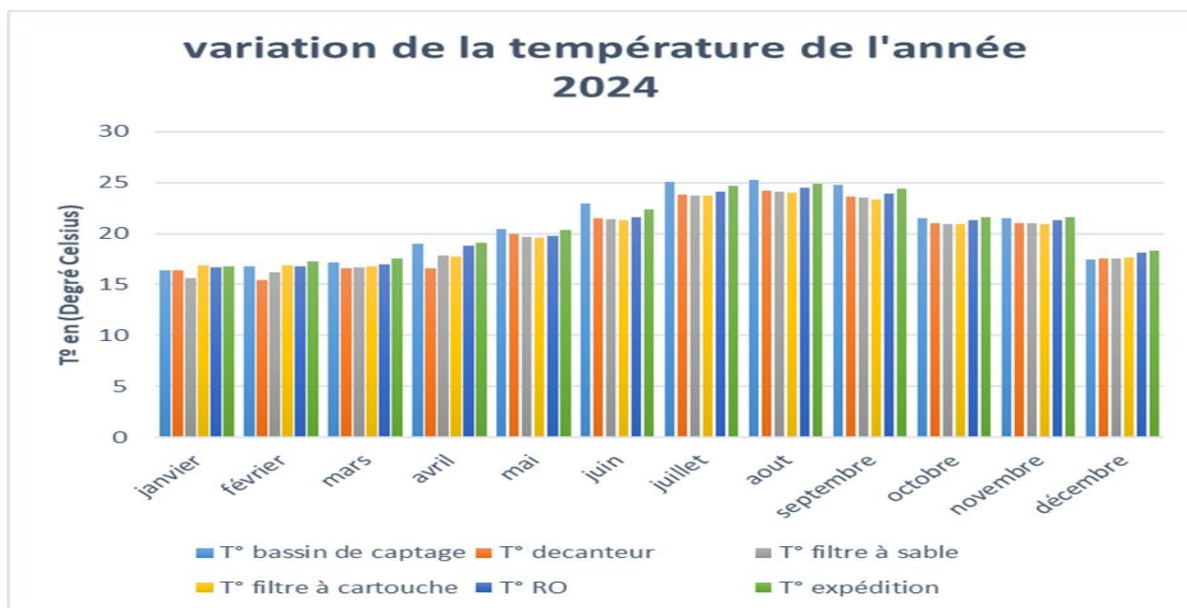


Figure IV.28 : représentation de la variation de la température durant l'année 2024

Interprétation du graphique

Ce graphique illustre la variation mensuelle de la température de l'eau durant l'exercice 2024, mesurée dans différents ouvrages de la station de dessalement (bassin de captage, decanteur, filtres, bloc RO et expédition). L'analyse de ces données permet d'établir un diagnostic de performance en lien avec les conditions de fonctionnement de la station.

1. Tendance générale annuelle

- Les températures les plus basses sont observées en hiver (15–17 °C entre janvier et mars).
- Une hausse progressive apparaît au printemps (avril-mai).
- Le pic estival est atteint en juillet-août (24–26 °C).
- Une baisse progressive est visible à partir de septembre, pour retrouver les valeurs hivernales en décembre.

Ce comportement est typique des conditions climatiques côtières, l'eau de mer suit directement les variations saisonnières de la température atmosphérique. (1)

2. Stabilité entre les ouvrages

Les températures sont très proches d'un ouvrage à l'autre, ce qui indique que le processus est thermiquement passif (aucun chauffage ni refroidissement volontaire). Les écarts, limités à environ 0,5–1 °C, s'expliquent par :

- Les échanges thermiques avec l'air dans les bassins ouverts.
- Les pertes thermiques dans les conduites.

- Les effets liés à la compression et détente de l'eau sous pression dans le procédé d'osmose inverse. (2)

3. Impact sur la performance des membranes d'osmose inverse

- La température influence fortement la performance des membranes RO.
- En été ($\approx 25^\circ\text{C}$), la perméabilité de l'eau augmente, favorisant un meilleur flux, mais le passage des sels peut aussi croître, réduisant le taux de rejet.
- En hiver ($\approx 15\text{--}17^\circ\text{C}$), l'eau est plus visqueuse, ce qui diminue légèrement la production et peut augmenter la consommation énergétique de pompage. (3)

IV. 4. 2.2 Analyse de la variation du PH

- **Objectifs et raisons**

- **Bassin de captage** : indicateur du risque de corrosion des ouvrages métalliques et du potentiel de précipitation.
- **Décanteur** suivi nécessaire car la coagulation (sels d'aluminium ou de fer) est très sensible au pH. Exemple : le FeCl_3 est plus efficace à pH $\sim 6\text{--}7$.
- **Filtres à cartouche** assure que l'eau est dans la plage de tolérance des membranes
 - (5,5–8,5 en fonctionnement normal).
- **Bloc d'osmose inverse (RO)** : doit être strictement contrôlé (5,5–8,5 en opération, tolérance plus large seulement en nettoyage chimique). Un pH inadapté endommage les membranes.
- **Expédition** doit être ajusté (souvent par reminéralisation avec du calcaire ou du CO_2) pour atteindre 6,5–8,5 selon les normes OMS.

Tableau IV.17 : Analyse de la variation du PH le long du process

Période	PH bassin de captage	PH décanteur	PH filtre à sable	PH filtre à cartouche	PH RO	PH expédition
Janvier	8,17	8,14	8,1	8,06	6,34	6,99
Février	8,12	8,1	8,07	8,04	6,24	7,21
Mars	8,13	8,08	8,06	8,02	6,21	7,28
Avril	8,09	8,07	8,04	8,04	6,26	7,46
Mai	8,13	8,11	8,09	8,065	6,43	8,26

Juin	8,05	8,03	8	7,98	6,34	8,25
Juillet	8,01	7,99	7,96	7,97	6,39	8,16
Aout	8,14	8,11	8,09	8,07	6,63	8,14
Septembre	8,02	7,71	7,98	7,96	6,68	8,13
Octobre	8,09	8,08	8,06	8,05	6,64	8,16
Novembre	8,09	8,07	8,04	8,02	6,62	8,27
Décembre	8,02	7,99	7,97	7,96	6,4	7,3

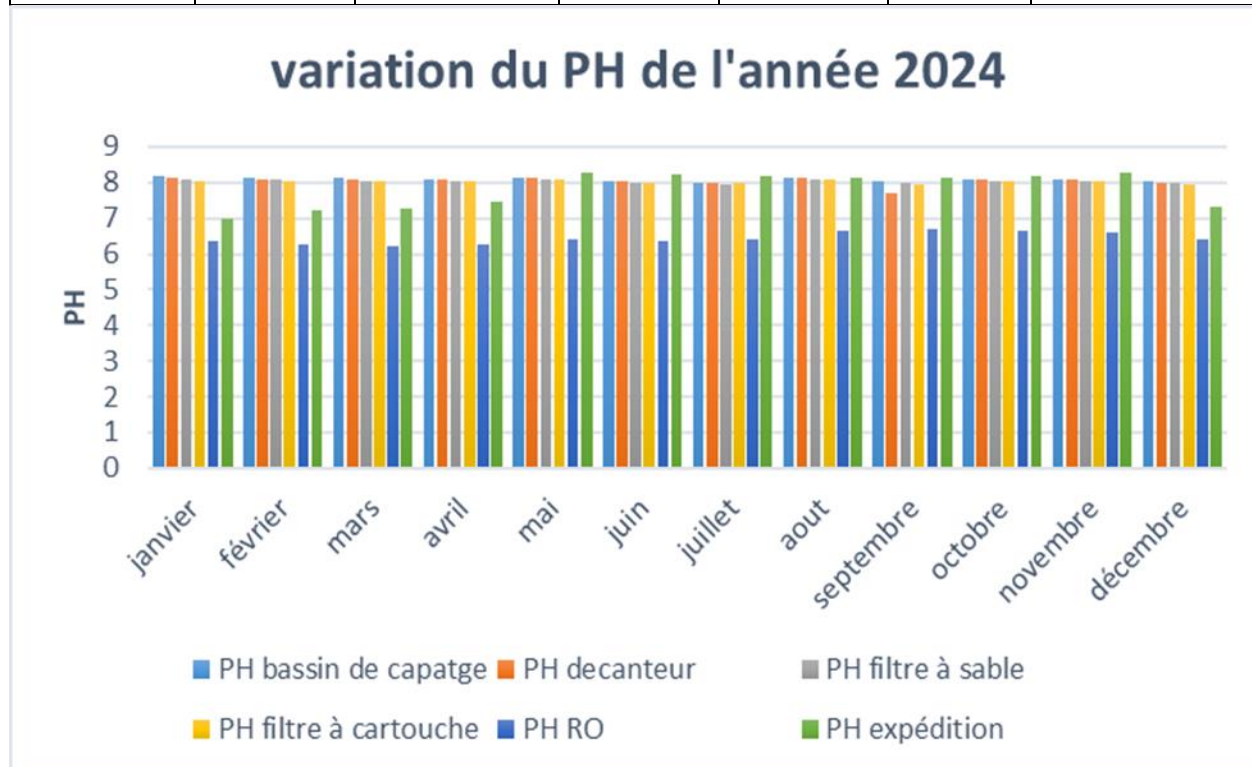


Figure IV.29 : représentation de la variation de la PH durant l'année 2024

Interprétation du graphique

1. Tendence générale

Le pH varie entre $\approx 6,5$ et $8,5$ selon les ouvrages et les périodes de l'année.

En captage, le pH est généralement légèrement basique ($\approx 7,8-8,2$), ce qui est cohérent avec l'eau de mer naturelle. Après le passage par les différents procédés (décantation, filtration, RO), on observe une légère diminution du pH ($\approx 6,5-7,5$), liée à la dissolution du dioxyde de carbone et aux ajustements chimiques.

En expédition, le pH remonte légèrement ($\approx 7,5-8,0$), traduisant les traitements de reminéralisation et de neutralisation effectuée pour rendre l'eau conforme aux normes de distribution.

2. Conformité aux normes

Selon les lignes directrices de l'OMS (2017), le pH recommandé pour l'eau potable doit se situer entre 6,5 et 8,5. L'EPA (Environmental Protection Agency, USA) recommande également une plage de 6,5–8,5 pour limiter la corrosion des réseaux et garantir le confort des usagers.

En Algérie, le Journal Officiel (Décret exécutif n°11-125 du 17 mars 2011, fixant les normes de potabilité de l'eau) adopte la même plage normative (6,5–8,5).

Ainsi, les valeurs observées sur ce graphique restent dans la norme internationale et nationale, confirmant la conformité de l'eau produite.

3. Diagnostic opérationnel

Les variations entre ouvrages montrent l'effet des différents traitements :

On constate que la Décantation et la filtration, n'ont pas d'impact significatif sur le pH.

Pour ce qui est de l'osmose inverse (RO) : abaissement notable du pH (souvent proche de 6,5), phénomène bien connu lié à l'élimination des carbonates et à la formation d'acide carbonique.

Enfin, concernant la reminéralisation et l'expédition il y'a de procéder à la correction du pH, par injection de chaux (Ca(OH)_2), de CO_2 .

IV. 3. 2.3. Analyse de la variation de la conductivité

Une représentation de la variation de la conductivité se fait au niveau quatre postes à savoir :

Tableau IV.18: variation de la conductivité au niveau quatre postes du process

Période	Conductivité bassin de captage (ms/cm)	Conductivité filtre à cartouche (ms/cm)	Conductivité RO ($\mu\text{s/cm}$)	Conductivité expédition ($\mu\text{s/cm}$)
Janvier	33,06	54,78	217,94	290,65
Février	23,84	54,42	196	276,17
Mars	32,83	54,64	165,01	298,65
Avril	31,74	54,52	207,2	326,29

Mai	36,26	54,18	249,92	386,75
Juin	36,3	53,55	318,32	420,17
Juillet	36,54	53,91	377,53	491,02
Aout	37,67	53,74	488,25	555,96
septembre	37,45	53,56	506,85	649,06
Octobre	37,29	53,23	524,76	638
novembre	48,85	53,13	387,82	493
décembre	38,01	54,31	315,33	471,57

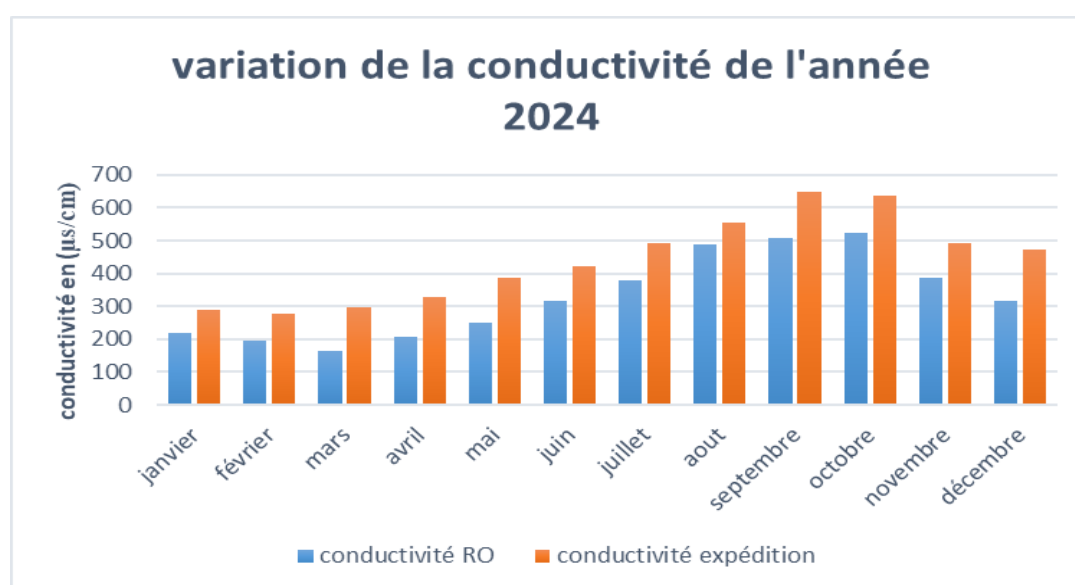
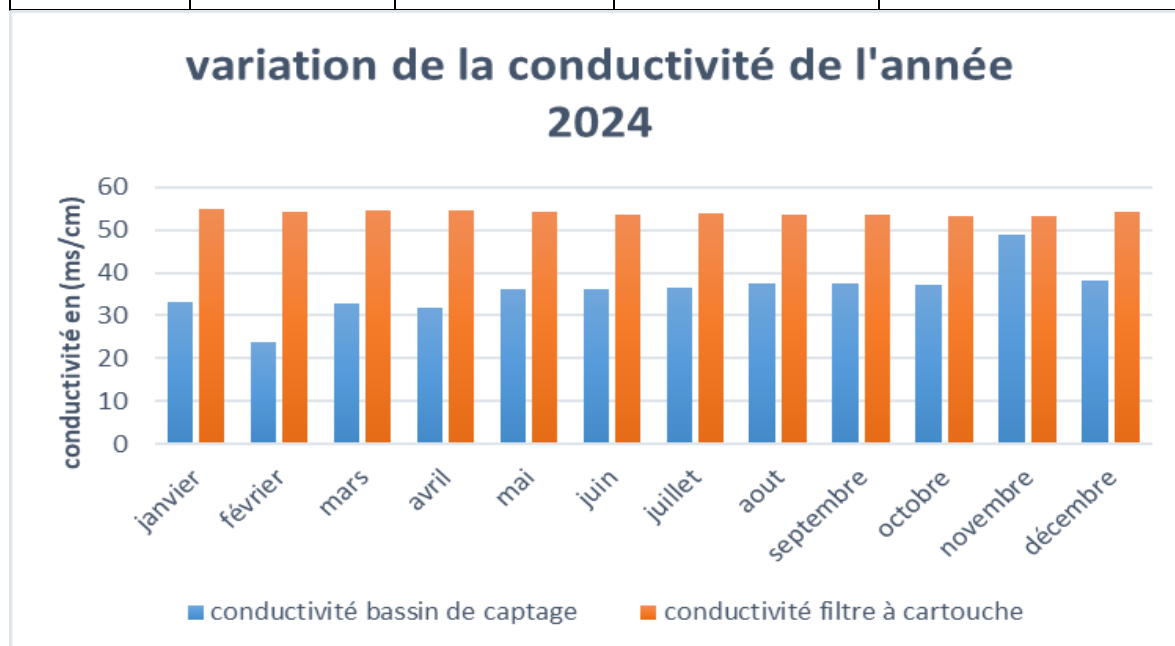


Figure IV.30 : représentation de la variation de la conductivité durant l'année 2024

Interprétation du graphique

1. Tendance générale

- La conductivité du bassin de captage reste relativement stable et élevée ($\approx 35\text{--}55\text{ mS/cm}$), ce qui correspond à la salinité naturelle de l'eau de mer.
- Après les étapes de prétraitement (filtre à cartouche), la valeur diminue légèrement, mais reste encore très élevée, indiquant que la majorité des sels dissous n'est pas éliminée dans cette phase.
- Grâce à l'osmose inverse (RO), la conductivité chute fortement ($\approx 200\text{--}500\text{ }\mu\text{S/cm}$), traduisant une forte élimination des sels (plus de 99 %).
- En expédition, la conductivité augmente ($\approx 300\text{--}650\text{ }\mu\text{S/cm}$) suite à la reminéralisation, qui vise à ajuster la minéralité de l'eau pour respecter les normes de distribution.
- L'augmentation progressive de la conductivité observée entre juin et octobre au niveau des ouvrages de RO et de l'expédition s'explique par un encrassement ou un vieillissement des membranes, entraînant une baisse du taux de rejet des sels dissous. Cette hausse peut aussi provenir d'une reminéralisation excessive ou d'un mélange partiel avec l'eau brute. Le suivi régulier de la conductivité permet ainsi de contrôler la performance et l'étanchéité du système membranaire.

2. Conformité aux normes

- L'OMS (2017) recommande une conductivité inférieure à $2\,500\text{ }\mu\text{S/cm}$ pour une bonne qualité organoleptique.
- L'EPA (2018) suggère une valeur de $500\text{ }\mu\text{S/cm}$ pour limiter le goût salé et la corrosivité.
- En Algérie, le Décret exécutif n°11-125 (2011) fixe également une valeur guide de $2\,500\text{ }\mu\text{S/cm}$.
- Les valeurs mesurées en expédition ($300\text{--}650\text{ }\mu\text{S/cm}$) restent largement conformes à ces normes, assurant une eau de qualité.

Diagnostic opérationnel

- Le graphique montre le bon fonctionnement des membranes avec une forte chute de conductivité entre l'eau brute et la sortie RO ($> 99\%$ de rejet).
- L'augmentation après reminéralisation est normale et maîtrisée pour rendre l'eau stable et potable.
- Les variations saisonnières observées en sortie RO ($200\text{--}500\text{ }\mu\text{S/cm}$) s'expliquent par les changements de température et de salinité de l'eau de mer.

IV. 3. 2.4. Analyse de la variation du TDS

Tableau IV.19 : variation du TDS

Période	TDS bassin de captage	TDS filtre à cartouche	TDS RO	TDS expédition
Janvier	33,06	32,87	108,97	145,32
Février	23,83	23,83	70,16	99,42
Mars	32,83	32,77	107,44	165
Avril	31,74	30,42	109,95	194,61
Mai	36,26	36,22	138,92	209,42
Juin	36,3	37,77	175,07	231,09
Juillet	36,54	37,74	207,64	270,06
Aout	37,67	37,62	268,53	305,78
Septembre	37,5	37,48	278,62	325
Octobre	37,29	37,26	288,62	350,09
Novembre	48,85	37,19	213,3	271,52
Décembre	38	36,81	173,43	231,97

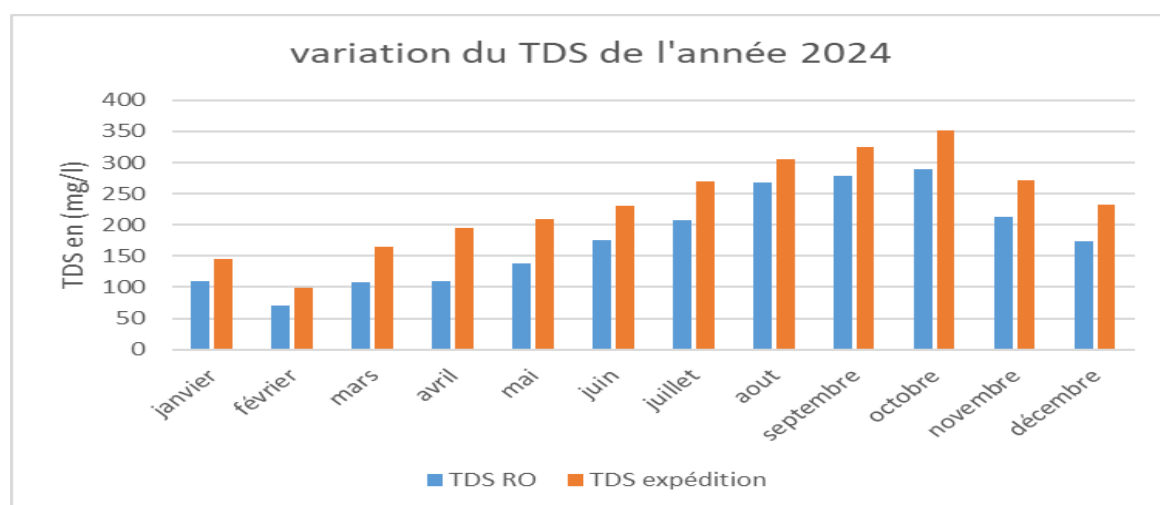
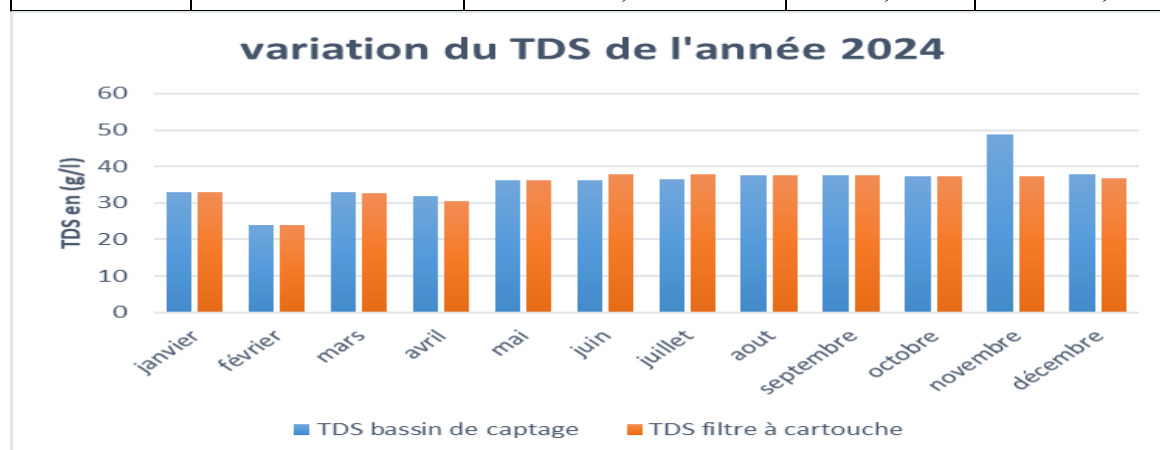


Figure IV.31 : représentation de la variation de TDS durant l'année 2024

1-Définition du TDS

Le Total Dissolved Solids (TDS) correspond à la concentration totale de sels dissous dans l'eau, incluant les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-). Il s'exprime en mg/L ou ppm et constitue un indicateur clé de la salinité et de la qualité de l'eau. Le TDS est corrélé à la conductivité électrique ($1 \mu\text{S}/\text{cm} \approx 0,5\text{--}0,7 \text{ mg/L}$), dépend de la température et peut être influencé par le pH, qui modifie la spéciation des sels [38]

2 Variation au niveau du bassin de captage

Les résultats montrent une stabilité relative du TDS dans le bassin de captage, bien que les valeurs soient faibles par rapport à l'eau de mer brute (30 000–40 000 mg/L). Cela s'explique par la dilution ou un prétraitement préalable. Cette stabilité est cohérente avec les conditions environnementales locales et reflète la qualité de l'eau brute disponible pour l'usine

3 Comportement après filtration à cartouche

Une augmentation progressive du TDS est observée de janvier (~150 mg/L) à novembre (~350 mg/L). Comme les filtres à cartouche n'agissent que sur les particules en suspension et non sur les sels dissous, cette tendance reflète surtout les variations saisonnières de salinité (température, évaporation, intrusion saline). Ce comportement est fréquemment observé dans les usines de dessalement

4 Performance des membranes RO

Après passage par l'osmose inverse, le TDS chute à environ 30–50 mg/L tout au long de l'année, ce qui traduit un taux de rejet supérieur à 95 %. Une légère hausse estivale est toutefois enregistrée, attribuable à l'augmentation de la température de l'eau qui réduit légèrement l'efficacité du rejet des sels par les membranes. Ce phénomène est bien documenté dans les exploitations de stations de dessalement [Alvarez et al., 2021].

5 Étape d'expédition et reminéralisation

En sortie d'usine (expédition), le TDS est plus élevé (250–360 mg/L) qu'en sortie directe des membranes. Cette augmentation est due à l'ajout volontaire de sels minéraux (CaCO_3 , CO_2) pour la reminéralisation et la stabilisation du pH, étape indispensable afin d'améliorer la qualité organoleptique et la stabilité chimique de l'eau potable [Hammer & Hammer, 2012].

6 Comparaison aux normes internationales

Les valeurs obtenues à l'expédition respectent les normes internationales de potabilité. L'Organisation mondiale de la santé recommande un TDS inférieur à 600 mg/L, tandis que l'US EPA fixe une limite secondaire à 500 mg/L. La directive européenne propose une valeur guide de

250 mg/L, mais l'eau reste acceptable jusqu'à 1000 mg/L selon l'OMS. Ainsi, les valeurs observées (250–360 mg/L) garantissent une eau conforme et consommable [37].

7 Analyse des paramètres de qualité de l'eau

PH, TDS, Conductivité, Température

À travers les analyses effectuées précédemment, nous constatons une stabilité des valeurs observées, qui signifie généralement un bon fonctionnement du prétraitement et de la régularité de la qualité d'eau brute. Cependant, de légères variations de température influencent la viscosité de l'eau, ce qui impact la perméabilité des membranes (plus la température est basse, plus la résistance hydraulique augmente).

La conductivité et le TDS sont directement liés à l'efficacité du rejet salin des membranes (un TDS qui augmente en sortie peut traduire un vieillissement ou un colmatage des membranes).

IV. 4. 2.5 L'analyse trimestrielle de l'évolution de variation du ΔP au niveau de la membrane

1- Période de mars 2024 à Mai 2024 au niveau de la membrane

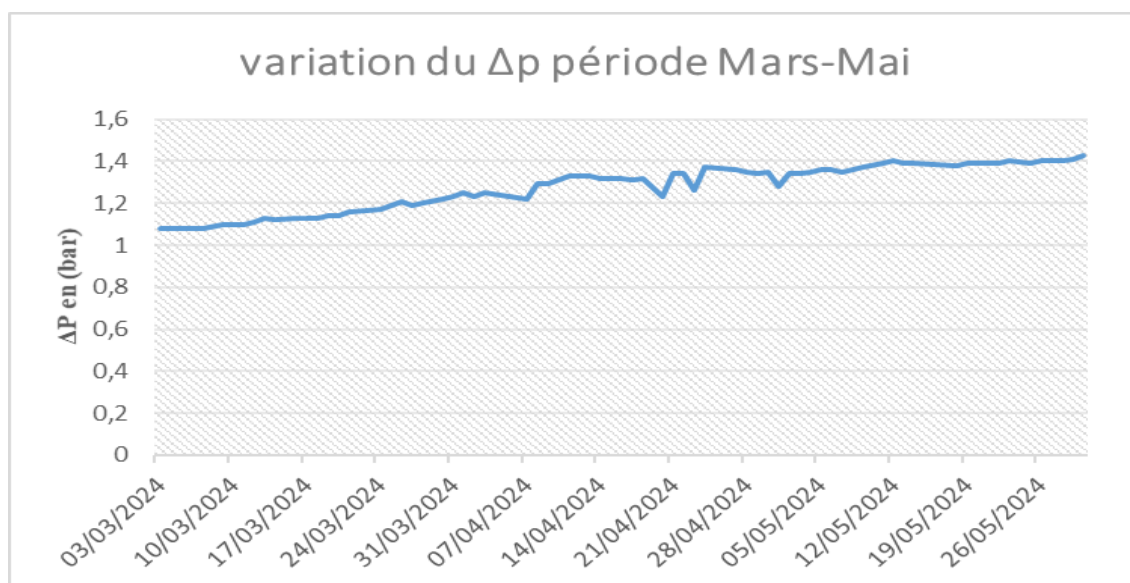


Figure IV.32 : représentation de la variation du ΔP niveau de la membrane de la période mars-mai 2024

Après observation de **La figure IV.35** nous constatons que le ΔP au niveau de la membrane, a connu une augmentation progressive de la différence de pression durant la période mars-mai, allant de 1.1 bar à 1.44 bars, ce qui indique un début d'accumulation de particules solides, sans pour autant dépasser les normes en vigueur $1.44 < 2$ bar

2- Période de juin à Aout 2024 au niveau de la membrane

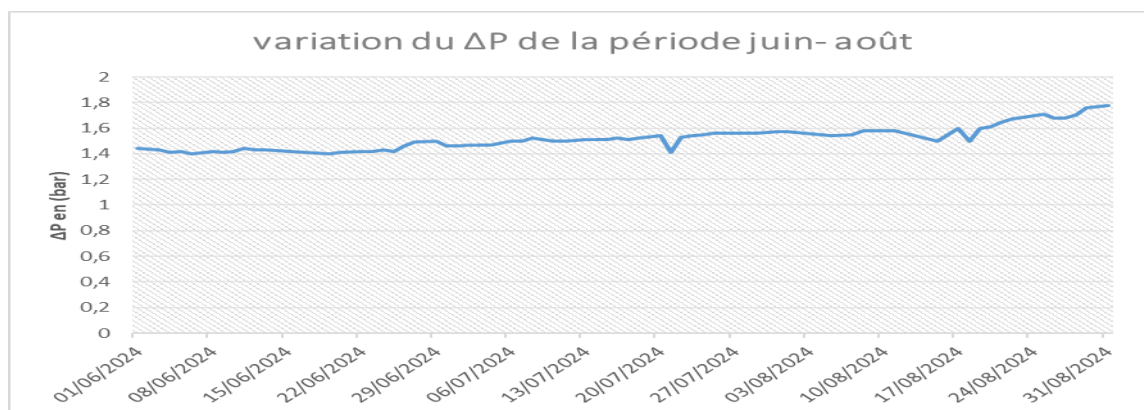


Figure IV.33 : représentation de la variation du Δp niveau de la membrane de la période juin-août 2024

La lecture de la **figure IV.36** indique que la différence de pression est plutôt stable durant le mois de juin, cependant une augmentation de pression se prononce dès le début du mois de juillet et qui s'accroît vers la fin du mois d'août avoisinant les 1.8 bar.

Cette valeur est assez proche de la limite autorisée de 2 bar.

3- Période de septembre à novembre 2024 au niveau de la membrane

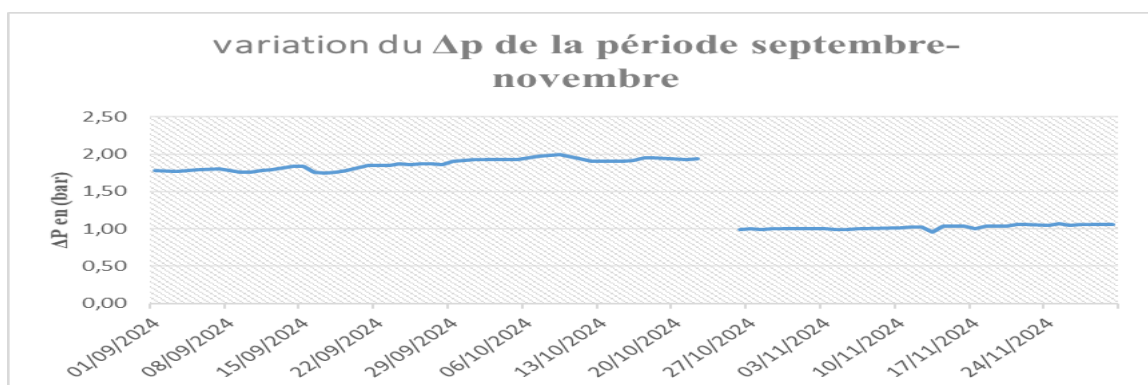


Figure IV.34 : représentation de la variation du ΔP niveau de la membrane de la période septembre-novembre 2024

L'analyse de la **figure IV.37** indique une augmentation de la différence de pression au niveau de la membrane de 1.8 à 2 bar au début de mois d'octobre, ce qui est une valeur critique et un signe fort de colmatage de la membrane. Cette situation nécessite un arrêt de sept jours du RACK de RO à fin d'entamer la procédure maintenance.

A la reprise de l'activité on constate une perte de 50% de la différence de pression pour se stabilisé à 1 bar ce qui indique que le nettoyage à était effectué correctement.

4- Période de décembre 2024 à janvier 2025

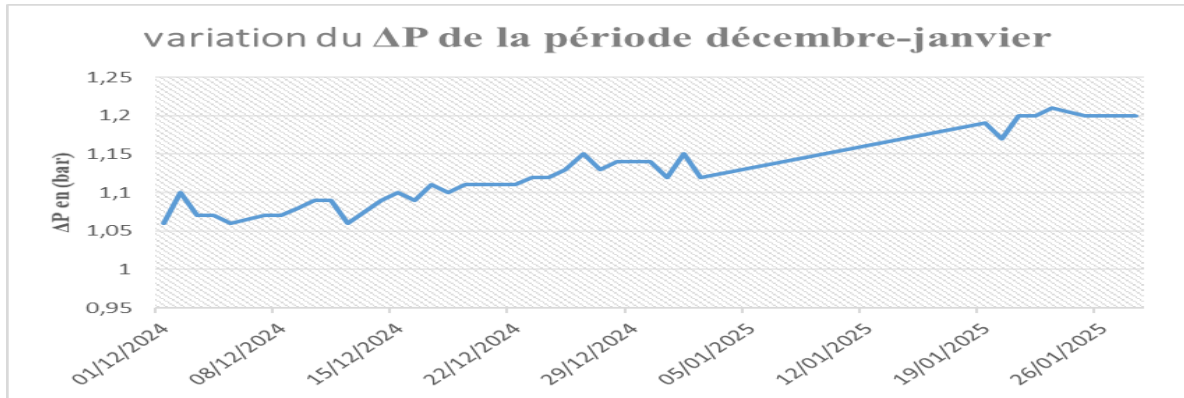


Figure IV.35 : représentation de la variation du ΔP niveau de la membrane de la période décembre 2024- janvier 2025

A la lumière de la lecture du graphe **Figure IV.38** la légère variation de pression de la période sus indiquée reste dans la norme en vigueur et ne constitue aucune inquiétude pour l'instant

5- Analyse de la variation de pression d'entrée et de sortie au niveaux des tubes à pression membranaire

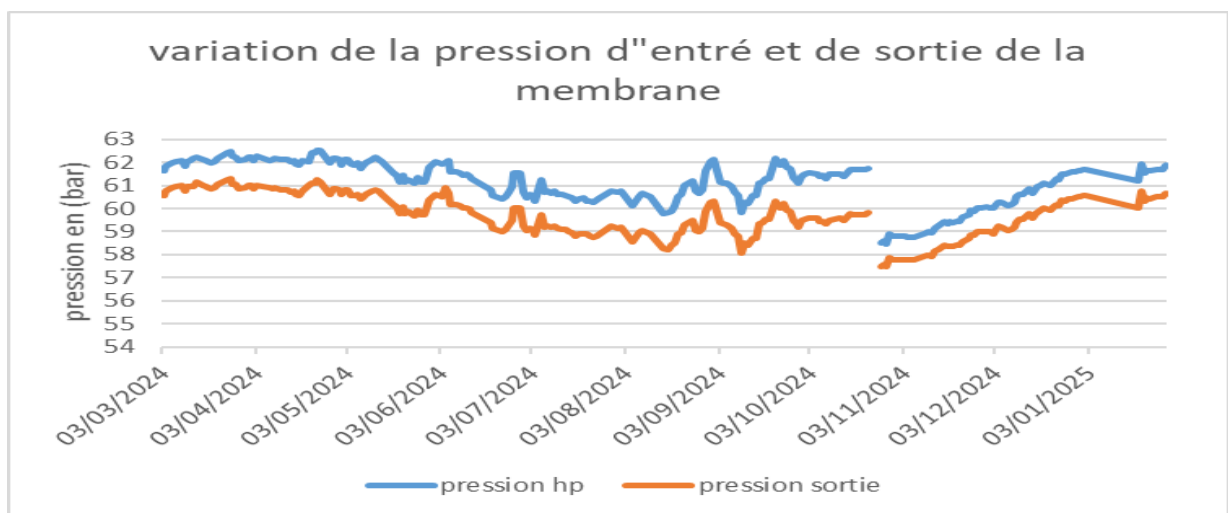


Figure IV.36 : représentation de la variation des pressions d'entrée et de sortie au niveau de la membrane durant la période 2024

Ce graphe de la **Figure IV.36** représente les pressions d'entrée et de sortie au niveau du tube à pression durant l'exercice 2024 et fait ressortir la différence de pression et confirme les interprétations précédentes

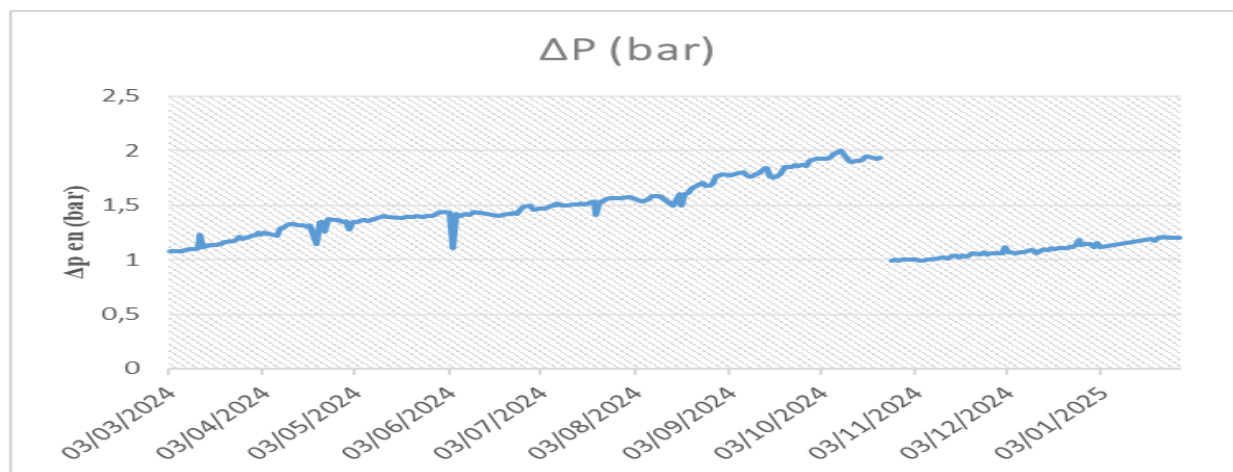


Figure IV.37 : représentation de la variation du ΔP au niveau de la membrane durant l'année 2024

Ce graphe est la consolidation des représentations graphique trimestrielles évoquées précédemment, permettant une vue générale de la différence de pression durant l'année d'exercice

Interprétation de la variation du ΔP au niveau de la membrane

L'analyse de la tendance des pressions des graphes ci-dessus d'entrée et de sortie au niveau de la membrane LG CHEM 400 Gr2, révèle que des périodes de l'année conforme à la norme requise par le constructeur ;

Quand la différence de pression se rapproche de la valeur 2 bar, il y a un début de colmatage de la membrane, ce qui risque probablement d'endommager la membrane, il y a lieu de prolonger au maximum la durée de vie de la membrane pour un rendement économique satisfaisant.

Cette différence de pression est un indicateur pour prévenir et programmer la maintenance de l'installation pour préserver la membrane, pour se faire on doit procéder au nettoyage de la membrane (CIP) dès la manifestation d'un ΔP avoisinant les 2 bar.

- Membranes RO : $\Delta P \leq 1$ bar = fonctionnement normal.
- $\Delta P > 2$ bar = encrassement des membranes (fouling biologique, colmatage colloïdal, scaling minéral).

IV. 4. 2. 6. Analyse de la Différence de pression filtre à cartouche

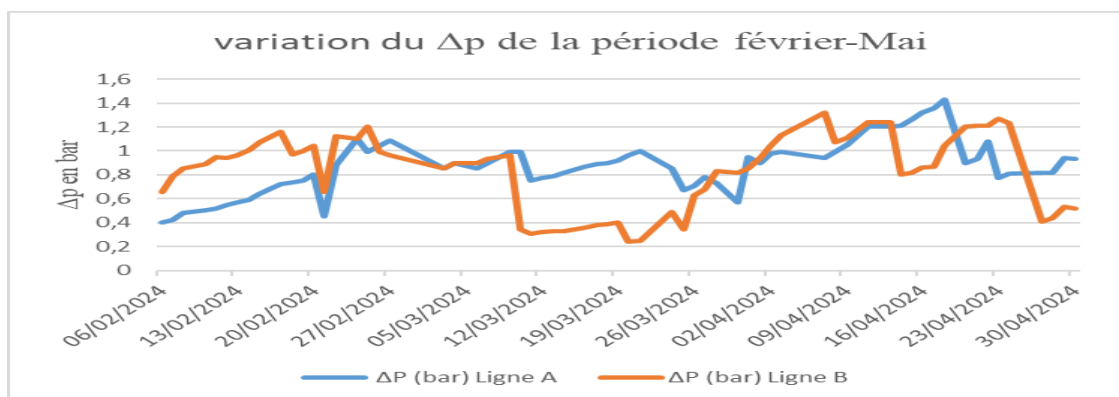


Figure IV.38 représentations de la variation du Δp au niveau de la cartouche de la période février-Mai

Cette figure **Figure IV.37** représente Les deux lignes (A et B) du filtre à cartouche qui présentent des variations similaires

- **Ligne A :** La ΔP démarre autour de 0,5 bar début février et augmente progressivement pour atteindre environ 1,0 bar mi-avril, avant de redescendre légèrement fin avril. Cette évolution régulière indique un encrassement progressif et un remplacement du filtre vers fin avril.
- **Ligne B :** Elle montre une ΔP initiale plus élevée ($\approx 0,8$ bar), avec des pics fréquents dépassant 1,2 bar, notamment en février et avril. Une chute brutale autour du 10 mars suggère un changement de filtre, suivi d'une remontée graduelle, traduisant de nouveau un encrassement au fil du temps.

Les pics de ΔP correspondent à des périodes de forte charge en matières en suspension (MES) dans l'eau d'alimentation.

Les baisses soudaines indiquent des opérations de maintenance : remplacement ou nettoyage des cartouches.

La Ligne B semble plus sollicitée ou reçoit une eau légèrement plus chargée que la Ligne A, expliquant ses ΔP plus élevées.

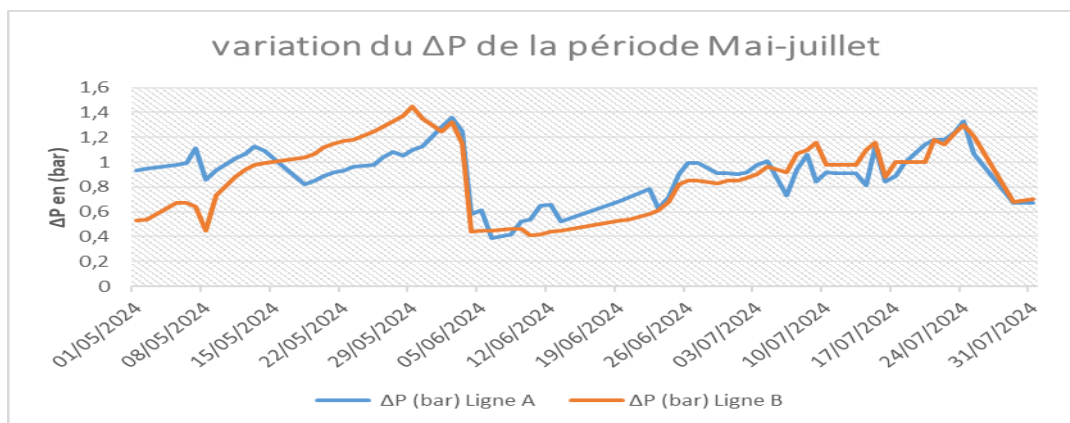


Figure IV.39 : représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche de la période Mai -juillet 2024

Cette figure **Figure IV.38** représente Les deux lignes (A et B) du filtre à cartouche qui présentent des variations similaires, ce qui traduit une évolution parallèle des conditions hydrauliques (même eau brute, même prétraitement). Le ΔP oscille entre 0,4 bar et 1,5 bar.

L'augmentation du ΔP reflète l'accumulation de matières colloïdales, de biofilm ou de précipitations minérales dans les filtres

La chute brutale du ΔP après le 18/06 est caractéristique d'un changement, confirmant que l'entretien régulier permet de restaurer la performance hydraulique.

Le fait que le ΔP remonte progressivement montre que la fréquence de changement doit être optimisée en fonction de la vitesse de colmatage.

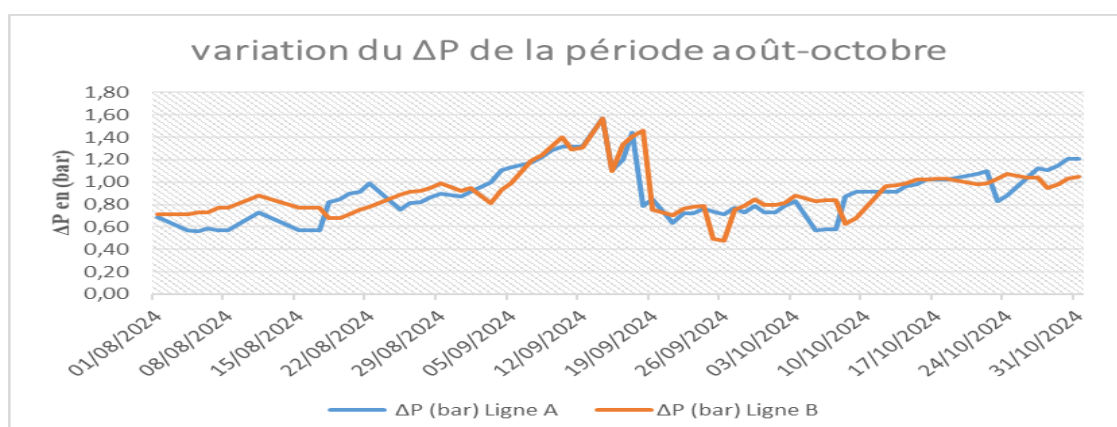


Figure IV.40 : représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche de la période août- octobre

Lors de l'observation de la **figure IV.39** nous remarquons que le comportement de la différence de pression est presque le même que celui du trimestre précédent une variation de 0.5 à 1.6 bar

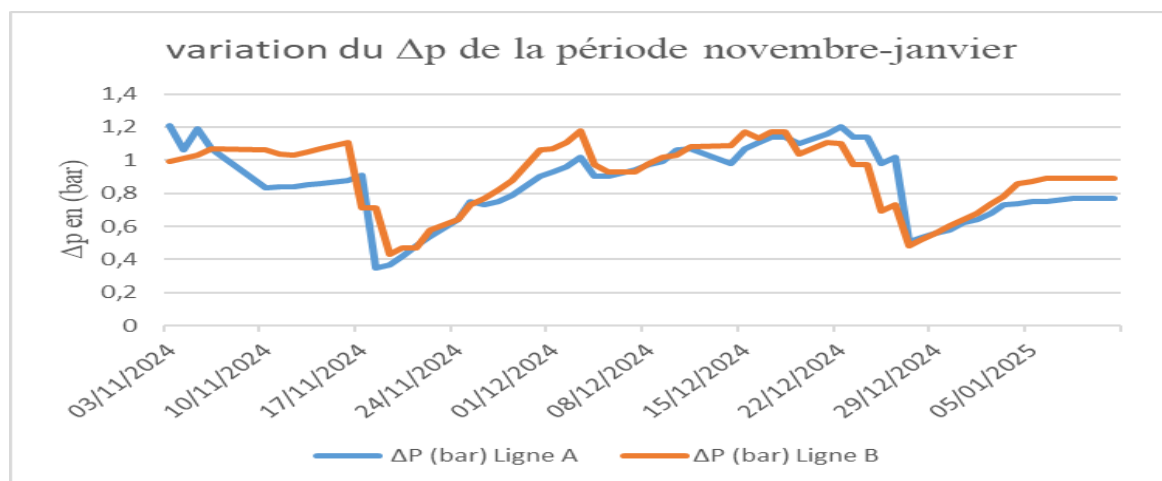


Figure IV.41 : représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche de la période novembre-janvier

La ΔP au niveau des filtres à cartouche montre une évolution cyclique typique d'un encrassement progressif suivi de nettoyages réguliers.

Sur les deux lignes, on observe une hausse graduelle de la pression jusqu'à 1,2 bar, traduisant l'accumulation de matières en suspension, puis des chutes nettes en fin novembre et fin décembre correspondant à des opérations de maintenance.

Les valeurs restent globalement stables et inférieures à 1,5 bar, indiquant un bon fonctionnement du système de filtration et une gestion efficace de la maintenance.

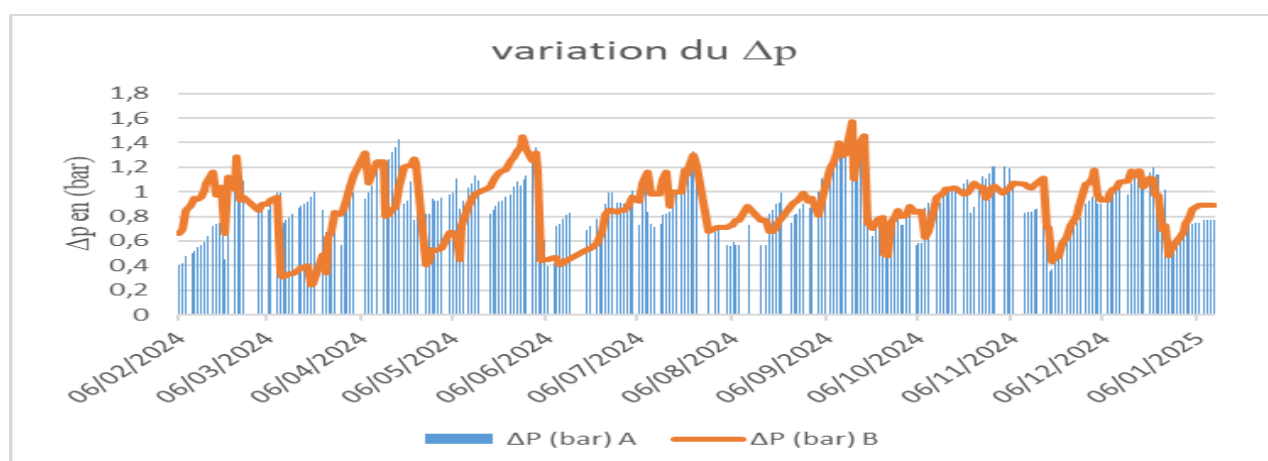


Figure IV.42 : représentation de la variation du Δp au niveau de la cartouche- période 2024

Rôle du filtre à cartouche

Le filtre à cartouche constitue la dernière barrière avant les membranes, retenant les particules supérieures à 5 μm après la filtration sur sable ($\leq 20 \mu\text{m}$). Le graphique du ΔP illustre la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre, indicateur clé de son encrassement. Une hausse du ΔP signale l'accumulation de particules et une perte de charge hydraulique, traduisant la saturation progressive du média filtrant.

Normes et recommandations

Selon les recommandations des fabricants, la perte de charge initiale d'un filtre à cartouche est de 0,1 à 0,2 bar. Son remplacement est préconisé dès que le ΔP dépasse 0,7 à 1,0 bar, tandis qu'une valeur supérieure à 1,5 bar devient critique, risquant d'augmenter la consommation énergétique et d'endommager les membranes RO.[39]

Analyse et interprétation de la variation annuelle

Le graphique met en évidence une variation du ΔP comprise entre 0,4 et 1,5 bar. Les pics observés traduisent le colmatage progressif des filtres, nécessitant leur remplacement. Les hausses rapides du ΔP coïncident avec une augmentation des matières en suspension, surtout durant les périodes chaudes. Après chaque maintenance, la chute du ΔP confirme l'efficacité du nettoyage ou du remplacement des cartouches.

IV.3.2.7 Analyse de l'effet de la température sur la pression d'entrée

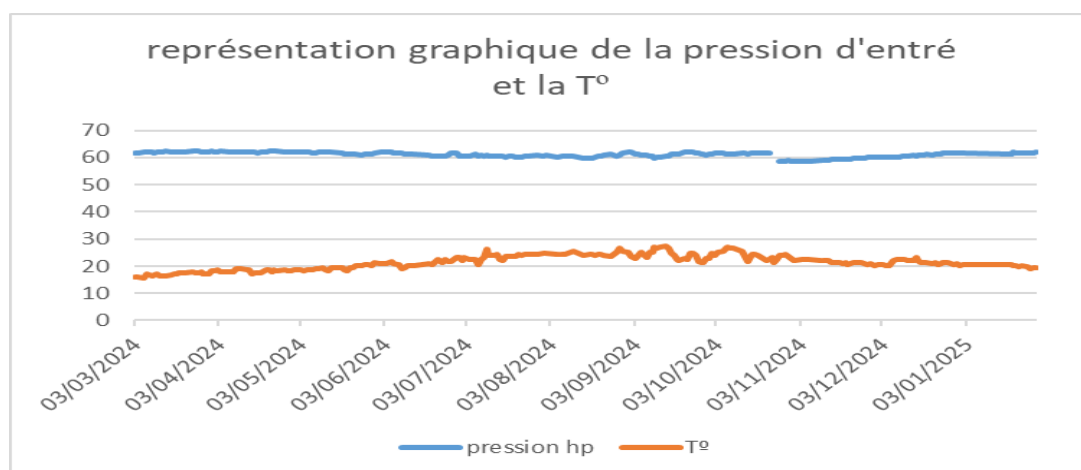


Figure 43 ; représentation graphique de la variation de la pression d'entrée et la température-2024

Le graphique montre une corrélation inverse entre la pression d'entrée et la température : en été, la hausse de température provoque une baisse de pression due à la dilatation des pores membranaires favorisant un léger passage de sels, tandis qu'en hiver, la baisse de température resserre les pores, entraînant une augmentation de pression.

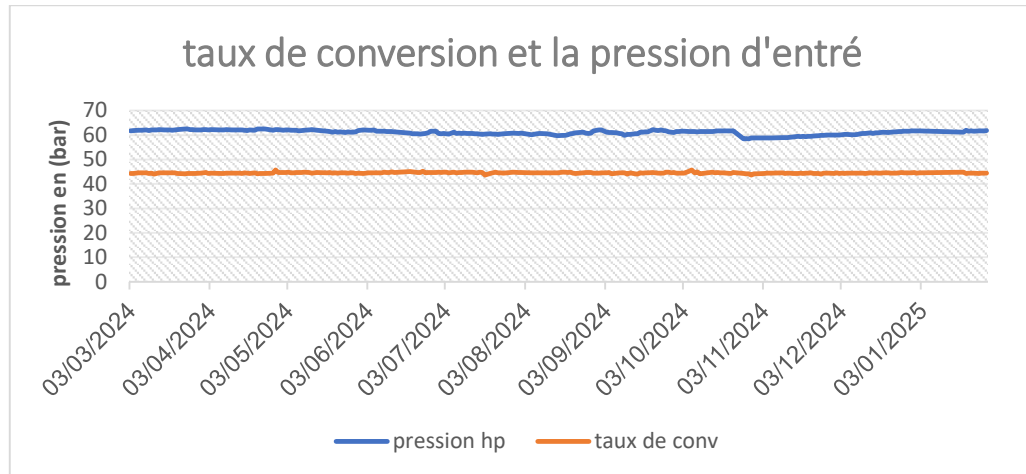


Figure 44 : représentation graphique de la variation de la pression d'entrée et le taux de conversion-2024

Ce graphe démontre la variation de la relation entre la pression d'entrée avec le taux de conversion sur une période allant de mars 2024 à janvier 2025.

La pression d'entrée se maintient aux alentours de 60 bars. On observe une légère diminution en novembre 2024, mais elle remonte par la suite. Le taux de conversion reste remarquablement stable, avoisinant les 45%. Il fluctue très peu tout au long de la période.

Dans un processus de séparation membranaire, la relation entre la pression d'entrée et le taux de conversion est cruciale.

Le taux de conversion est le rapport entre le débit du produit (perméat) et le débit d'entrée (alimentation).

$$Y_{\%} = \frac{q_p}{q_f} \times 100$$

Conclusion du chapitre

Le diagnostic et l'étude de performance représentent des outils essentiels pour garantir la durabilité et l'efficacité d'une station de dessalement. Ils permettent d'évaluer l'état actuel des installations, d'anticiper les besoins en maintenance et d'optimiser les procédés. Les analyses réalisées montrent une stabilité globale des paramètres mesurés, traduisant le bon

fonctionnement du prétraitement et la constance de la qualité de l'eau brute. Toutefois, de légères variations de température influent sur la viscosité de l'eau et donc sur la perméabilité membranaire : une baisse de température augmente la résistance hydraulique. La conductivité et le TDS restent des indicateurs clés du rejet salin des membranes, leur hausse signalant un possible encrassement ou vieillissement membranaire. L'analyse de la différence de pression (ΔP) au niveau des filtres à cartouche confirme l'importance de ce paramètre comme indicateur de performance et de maintenance préventive. Enfin, l'étude de la ΔP des membranes RO a révélé des phénomènes d'encrassement récurrents, entraînant une hausse de la consommation énergétique et une diminution de la durée de vie des membranes. Ces observations soulignent la nécessité de mettre en place une stratégie de maintenance adaptée, notamment par le dimensionnement d'un système de nettoyage en place (CIP) performant. Celui-ci permettra de restaurer les performances initiales des membranes et de prolonger la durabilité des équipements.

Chapitre V

Dimensionnement du clean in place (CIP)

Introduction du système CIP

Dans les stations de dessalement par osmose inverse, l'encrassement (fouling) et l'entartrage (scaling) des membranes sont des phénomènes inévitables qui dégradent progressivement les performances de la station. Afin de restaurer les débits et rejets à leurs valeurs nominales, un système de nettoyage en place, appelé CIP (Clean-In-Place), est mis en œuvre.

Ce procédé consiste à injecter des solutions chimiques (détergents, acides, chélateurs, désinfectants) dans les modules de membranes, en respectant des séquences de rinçage, recirculation et trempage.

Le dimensionnement du système CIP, demeure essentiel pour garantir une efficacité de nettoyage, une protection des membranes, une consommation d'eau et de produits chimiques optimisée et un coût d'exploitation maîtrisé.

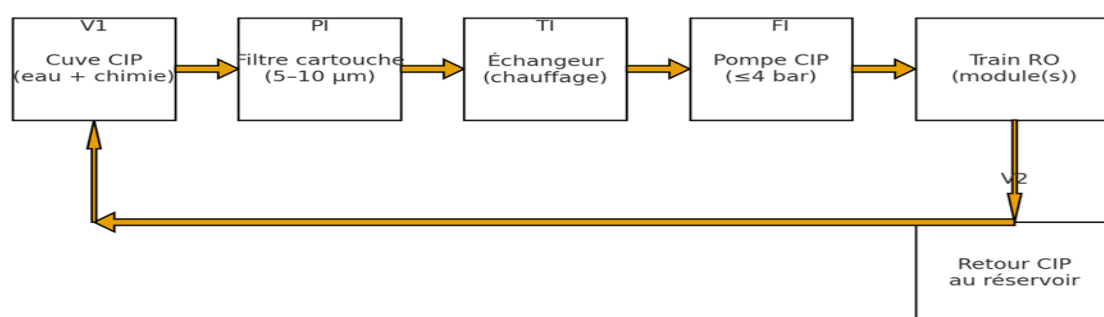


Figure V 45 : schéma descriptif du système du CIP

V.1 Procédure de nettoyage du CIP,

Le système du CIP est soumis à une procédure de nettoyage basée sur l'utilisation de solutions chimiques à caractère basique et acide

Tableau V 20 : récapitulatif de fonctionnement de la procédure de Nettoyage CIP

A. Solution de (0,1 %)	2 B. Solvant détergent (2-3 %)	C. Solution d'acide citrique (0,5-1 %)
1- Préparation d'une solution de à 0,1 % (en paillettes) jusqu'à pH = 12 et chauffage à 30 °C	1- Préparation d'une solution à 1 % de, ajuster le pH à 12 et chauffer à 30 °C.	1- Préparation d'une solution d'acide citrique à 1 % jusqu'à pH = 2-3 et chauffage à 30 °C.
2- Temps de recirculation : 30 min	2- Temps de recirculation : 30 min	2- Temps de recirculation : 30 min.
3- Temps de trempage : 2 h	3- Temps de trempage : 2 h	3- Temps de trempage : 2 h.
4- Répéter cette opération 3 fois	4- Répéter l'opération 3 fois	4- Répéter l'opération 3 fois.
Durée totale : 7,5 h	Durée totale : 7,5 h	Durée totale : 7,5 h.
Enregistrer le pH, la température et la couleur à chaque fois	Enregistrer le pH, la température et la couleur à chaque fois	Relever le pH, la température et la couleur à chaque fois.
Rinçage pendant 3 à 4 h	Rinçage pendant 3 à 4 h	Flushing for 3:4 hrs.

V.2 Rôle du CIP

- Restaurer la performance hydraulique (débit, perte de charge).
- Limiter les pertes de sel rejeté (rejet ionique).
- Prolonger la durée de vie des membranes.
- Réduire les arrêts non planifiés et les coûts d'exploitation.

V.3 Étapes & méthodes de dimensionnement

Le système CIP est constitué généralement les composants suivants :

- Réservoir(s) de solution chimique
- Pompe CIP (faible pression, mais débit suffisant pour recirculation)
- Réseaux de tuyauterie

Pour chaque élément constituant le CIP, on procède successivement au calcul du volume pour le réservoir et le dimensionnement de la pompe ainsi que la tuyauterie

V.3.1 calcule du Volume du réservoir CIP

Le rack disponible dans la station contient 127 tube à pression d'une longueur de 7.66 m et un diamètre de 210 mm et une longueur de 7.66 m

Pour rappel, la condition imposée par le fournisseur assurant le bon fonctionnement du process du "CIP", est belle est bien impératif que le RACK ainsi que les canalisations du système et les back de filtre à cartouche soit submergés de produit chimique.

Afin de calculer le volume du rack

Dans notre cas de figure,

$$V_{tube} = \frac{\pi \times (D)^2 \times l}{4} = \frac{\pi \times (0.220)^2 \times 7.66}{4} = 0.291 m^3$$

$$V_{rack} = V_{tube} \times N_{tube} = 0.291 \times 127 = 38.80 m^3$$

Plus majoration de 5% $V_{rack} = 38.80 m^3$

V.3.2 Calcule du volume de la canalisation

Le calcul du volume de la canalisation du circuit au point le plus loin.

Selon les plans, les longueurs sont estimées comme suit ;

- Avec un diamètre de 400 mm

$$\begin{aligned} l = & (2600 \times 2) + 3550 + (1600 \times 2) + 1400 + 3590 + 5770 + 2325 + 4385 + 4460 \\ & + 2655 + (1500 \times 2) + 4385 + 4460 + 2655 + 4385 + 4460 + 2655 \\ & + (2820 \times 2) + (910 \times 2) + (5390 \times 2) + (7860 \times 2) + (3000 \times 3) \\ & + (1600 \times 2) + (1400 \times 3) + (1855) = 100000 mm = 100 m \end{aligned}$$

$$L = l \times 2 = 200000 mm = 200 m$$

$$V_{conduite} = \frac{(0.4)^2 \times \pi \times 200}{4} = 25.12 m^3$$

Avec une majoration de 10% $V_{conduite} = 27.63 m^3$

$$V_{cip} = V_{rack} + V_{conduite} + V_{fitre \text{ à cartouche}}$$

$$V_{fitre \text{ à cartouche}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L = \frac{\pi \times (0.8)^2}{4} \times 2.15 = 1.08 m^3$$

$$V_{\text{filtre à cartouche } T} = 1.08 \times 2 = 2.16 \text{ m}^3$$

Car il existe 3 filtres à cartouche deux en service et un standby

$$V_{CIP} = 38.80 + 27.63 + 2.16 = 68.59 \text{ m}^3$$

Cependant il existe des mesures de sécurité nécessaires relatives au réservoir de stockage de produit chimique, on suppose que le réservoir de stockage est dimensionné comme suit :

7 m de longueur et 5 m de largeur, ce qui nous donne donc une superficie de 35 m^2

Pour la hauteur, il faut compter 3% du volume mort en plus des 50 cm du « High Level » (trop plein) ainsi que 50 cm de la hauteur utile a fin d'évité la cavitation.

Ce qui fait que le volume total du réservoir du CIP serait calculé comme suite :

$$V_T = 68.59 + 2.05 + 17.55 + 17.55 = 105.64 \text{ m}^3$$

Ce qui implique que la hauteur du réservoir et de 3.4 m

I.1.1 Dimensionnement de la pompe

Pour le dimensionnement de la pompe, deux paramètres doivent être pris en considération, à savoir le débit **Q** (selon les recommandations du fournisseur) et la **HMT**

- Calcule du HMT

Tableau V 21 : valeurs d'entrée de la pompe

Données d'entrée	Unité	
Nombre de pompe en service		1
Débit total refoulé par les pompes CIP	m3/h	1270
Débit total refoulé par les pompes CIP	m3/s	0,352778
Débit par pompe CIP	m3/s	0,352778

Le tableau ci-après, nous permet de calculer les pertes de charge linéaire de la canalisation afin de calculer les pertes de charge singulières et le calcul de la hauteur manométrique de la pompe

- **Calcul de perte de charge**

Tableau V 22 : calcul de pertes de charge linéaire de la canalisation

perte de charge linéaire de la pompe		1
Diamètre de la conduite(suppose)	D (mm)	400
Matériau de la conduite		PRV
La longueur réelle du tuyau	L(mm)	200
Débit par pompe	q(m3/s)	0,352777778
Coefficient de rugosité absolue ϵ pour les tubes en acier	ϵ	0,0000015
Rugosité relative	ϵ/D	0,00000375
Vitesse actuelle	V(m/s)	2,807316357
	$V^2/2g$	0,401683238
Viscosité cinématique de l'eau U	m	0,00000122
Nombre de Reynolds = $V*D/U$	R	920431592,6
Formule de colbrook :		
$1/\sqrt{f} = -2\text{LOG}[(\epsilon/D/3,71) + (2,51/R)*1/\sqrt{f}]$		0,443646814
Facteur de frottement (f)	f	0,0065
Perte de charge linéaire $(f*L*V^2/2g)/(D/1000)$	HL(m)	1,305470524

Par la suite il est judicieux de calculer la perte de charge linéaire ΔH_L

$$\Delta H_L = 1.30m$$

$$\Delta H_s = 20\% \Delta H_L = 0.26 m$$

$$\Sigma \Delta H = \Delta H_s + \Delta H_L = 0.26 + 1.30 = 1.56 m$$

Sachant que la hauteur du point le plus haut du rack est de 6.15 m et la pression minimal exigé par le fournisseur est 2 bars

Ce qui nous donne une $HMT = H_g + \Sigma \Delta H$

$$HMT = 20 + 6.15 + 1.56 = 27.71 m$$

Suite au résultat de calcul la pompe la mieux indiquée est représentée en annexe 3 avec sa fiche technique détaillée

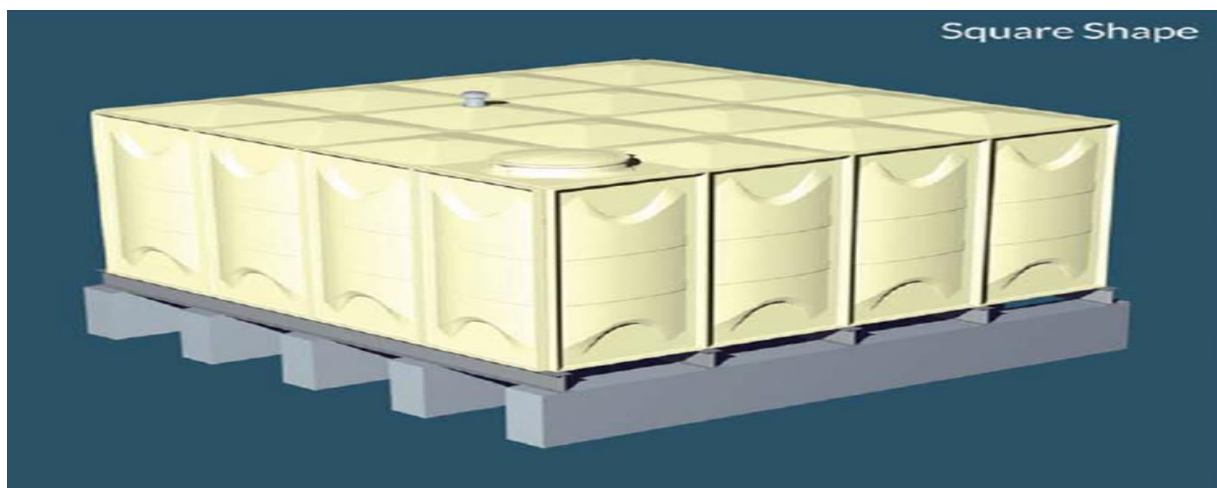


Figure V 46 : représentation en 3D du réservoir de produits chimiques



Figure V 47 : photo du réservoir de produit chimique

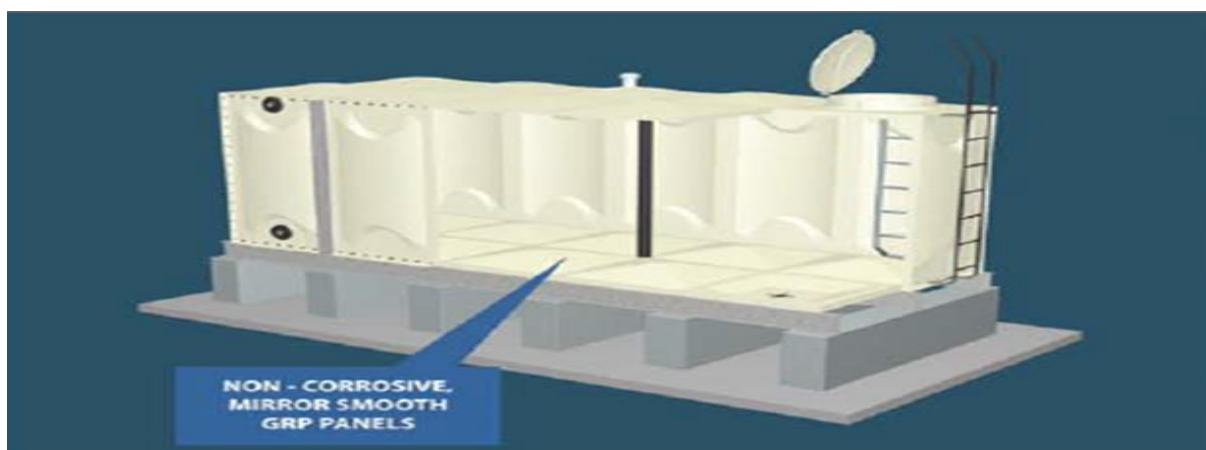


Figure V 48 : représentation en 3D de la coupe longitudinale du réservoir de produits chimiques montrant l'agitateur

Conclusion

Le dimensionnement du système de CIP a permis d'évaluer la capacité du réservoir de stockage des produits chimique permettant un fonctionnement optimal du système de nettoyage des membranes qui conduit voix de conséquence la longévité de la membrane et la production d'une eau de bonne qualité.

Conclusion et recommandations

Aujourd'hui le recours au dessalement est devenu un pilier incontournable de la sécurité hydrique en Algérie. Notre littoral compte aujourd'hui environ 25 stations de dessalement en exploitation, réparties sur les wilayas côtières, contribuant à l'alimentation d'environ 6 millions d'habitants. La technologie dominante reste l'osmose inverse (RO) pour les nouvelles unités industrielles (avec quelques installations historiques utilisant d'autres procédés).

Au total la production nationale s'est élevée à environ 3,7 millions de m³/j fin « 2024 » avec des programmes publics visant à porter la capacité entre de 5–5,8 millions m³/j d'ici 2030.

Au terme de ce travail de mémoire de fin de cycle d'ingénieur en hydraulique, qui traite du diagnostic et de l'étude de performance de la station de dessalement d'eau de mer CORSO wilaya de Boumerdès, à travers l'analyse des principaux paramètres ci-après :

- Le PH : On constate que le pré-traitement, n'a pas d'impact significatif sur le pH tout au long de l'année avec une moyenne de 8.03 conformément aux normes, ce qui est de la diminution de ce dernier au niveau du RO est parfaitement normal avec une moyenne de 6.43, dû à l'élimination des carbonates et à la formation d'acide carbonique ce qui garantit un bon fonctionnement de l'osmose, pareil pour le post traitement indiquant une moyenne PH de 7.8 dû à la reminéralisations.
- La température : on constate que les plus basses sont observées en hiver 15 °C, le pic estival de 25 °C, aucun chauffage ni refroidissement volontaire. Les écarts, limités à environ 0,5–1 °C.

La température influence la performance des membranes. La perméabilité de l'eau augmente lors des températures d'été, favorisant un meilleur flux, mais le passage des sels peut aussi croître, réduisant le taux de rejet et le contraire est vrai.

- La conductivité : Les fluctuations saisonnières visibles à l'entrée du bassin de captage (35–55 mS/cm) expliquent l'effet de la température sur la variation de salinité de l'eau de mer. La diminution de la conductivité à la sortie RO est conforme aux performances attendues, ce qui confirme le bon fonctionnement de la barrière membranaire.

La reminéralisation est volontairement maintenue entre (300–650 µS/cm).

- Le TDS : passant de 30 000–40 000 mg/L en eau de mer brute à seulement 30–50 mg/L après osmose inverse, traduisant un taux de rejet supérieur à 95 %. Après reminéralisation, les valeurs atteignent 250–360 mg/L, ce qui demeure largement conforme aux normes

internationales (OMS < 1000 mg/L, US EPA 500 mg/L). Ces résultats démontrent que l'usine assure une production régulière et une eau potable de qualité, répondant pleinement aux exigences de performance et de sécurité sanitaire.

- Différence de pression au niveau des membranes : Cette différence de pression est un indicateur pour prévenir et programmer la maintenance de l'installation, afin de préserver la membrane, si la pression dépasse les 2 bar, la procédure du CIP est impérative, (la procédure a été entamer durant l'année 2024).
- Différence de pression au niveau des filtres à cartouche : Un ΔP supérieur à 1,5 bar est considéré comme critique, car il entraîne une surcharge énergétique sur les pompes et peut induire des dommages aux membranes RO, Les périodes de hausse et chute du ΔP peuvent traduire une fréquence de changement des filtre (7 fois durant l'année à raison d'un changement tous les 50 jours).
- Un taux de conversion remarquablement stable au l'alentour de 44%

Il reste entendu que l'analyse et le suivis des paramètres de fonctionnement permettent un rendement optimal de l'usine avec une optimisation des actions de maintenance prédictives.

De ce qui précède, nous considérons que 'le procédé de dessalement utilisé, respect les normes préconisées en la matière par le constructeur.

Le procédé utilisé assure une fiabilité opérationnelle satisfaisante, vu la maitrise constatée en matière de production continue et la planification des actions de maintenance sur l'ensemble du processus.

Enfin, nous n'avons pas la prétention que ce travail de recherche est exhaustif, puisque certains éléments du diagnostic non pas été abordés, sachant pertinemment que les futurs étudiants auront certainement l'occasion et le privilège de lès abordés de manière approfondie, au service de la capitalisation de la recherche scientifique et que tout travail reste perfectible grâce au principe de l'amélioration continue.

RECOMMANDATION

Prendre en considération l'analyse des données de différence de pression au niveau des filtres à cartouche ainsi qu'au niveaux des tubes à pression afin de prédire les actions de maintenance (remplacement et nettoyage)

Mettre en place un réservoir de produits chimique en renfort du réservoir existant afin de pallier aux délais de préparation des solutions chimique (environs 68 heures) allouer à l'opération de mélange et chauffage, ce qui nous donne un gain substantiel en temps de 26 heures, permettant ainsi la reprise du rack dans les meilleurs délais.

Enfin l'intelligence artificielle ouvre une nouvelle ère pour la technologie du dessalement. En tirant parti des algorithmes d'apprentissage automatique et de l'analyse du Big Data, nous constatons des améliorations remarquables en termes d'efficacité, de rentabilité, notamment pour la maintenance prédictive et l'optimisation du contrôle des processus en temps réel.

L'analyse de grandes quantités de données de capteurs pour prédire quand un équipement est susceptible de tomber en panne ou de sous-fonctionner. Cela permet aux exploitants d'usine de planifier la maintenance de manière proactive, réduisant ainsi les temps d'arrêt et prolongeant la durée de vie des composants critiques.

Références Bibliographiques

- [1] document interne AEC 2021
- [2] Algérie. Ministère des Travaux publics, de l'Hydraulique et des Infrastructures. (2023). Stratégie nationale de l'eau : Dessalement de l'eau de mer et infrastructures hydriques
- [3] Atkins, P., & de Paula, J. (2010). Chimie Physique. Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- [4] Jane Kucera, Desalination 2nd Edition Water from Water publié en 2019 par John Wiley
- [5] Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993,
- [6] Qualité des eaux superficielles [archive] » 6 novembre 2009
- [7] Composition de l'eau de mer. Temps de résidence
- [8]FAO Aquastat 2014
- [9] Shiklomanov, I. A. (1993). World fresh water resources. In Gleick, P. H. (Ed.), *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources* (pp. 13-24). New York: Oxford University Press.
- [10] publication OMS (2010).
- [11] Shiklomanov, I. A. (1993). *World fresh water resources*. In P. H. Gleick (Ed.), **Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources** (pp. 13–24). New York: Oxford University Press.
- [12] Dumont, Gérard-François, « La Chine et les sept raisons de son dépeuplement », Population & Avenir, n° 762, mars-avril 2023.
- [13] Adan, «Report submitted to Israel Water Commissioner », 2000 (in Hebrew)
- [14] ALAIN Maurel, (2006), « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2eme éditions, 286 P.
- [15] Al-Karaghoul, A., & Kazmerski, L. L. (2013). *Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24, 343–356.
- [16] Alouane Baslimane Youcef et Babeker Abdellah, « ETUDE ET SIMULATION D'UN EVAPORATEUR A SIMPLE EFFET POUR LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER », UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI, 2014

- [17] T. Tahri, A. Bettahar, M. Douani, S. A. Abdul, H. Al, et Y. Al, « Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole ».
- [18] nationalacademies.org Julius Glaser The early history of reverse osmosis membrane development
- [19] La littérature de référence – manuels, monographies et synthèses (p. ex. Kucera 2023 ; AWWA M46 ; Greenlee et al., 2009 ; Fritzmann et al., 2007) – documente ces progrès qui ont permis à l'OI de devenir la technologie dominante du dessalement au niveau mondial
- [20] Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). *Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges*. **Water Research**, 43(9), 2317–2348.
- [21] « l'osmose inverse » wordpress 2017
- [22] ZEBBAR Mohamed, « Diagnostic et Commande Tolérante dans les Systèmes de Dessalement D'eau », UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN TIARET, 2020.
- [23] Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). *Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability*. **Desalination**, 309, 197–207.
- [24] an der Bruggen, B., & Vandecasteele, C. (2003). Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: Overview of possible applications in the drinking water industry. *Environmental Pollution*, 122(3), 435–445.
- [25] Pearce, G. K. (2007). UF/MF pre-treatment to RO in seawater and wastewater reuse applications: a comparison of energy costs. *Desalination*, 222(1-3), 66–73.
- [26] Water world Tedagua 2019
- [27] rapport technique AEC 2024
- [28] Description du processus et document de contrôle metito
- [29] source catalog-trepovi-2018
- [30] Manuel d'exploitation de la SDEM CORSO

- [31] Al-Karaghoul, A., & Kazmerski, L. L. (2013). Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 343–356.
- [32] Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources Shatat & Riffat 2014
- [33](manuel AEC, 2020).
- [34](IDE Technologies, 2019).
- [35] World Health Organization (WHO). *Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition incorporating the 1st addendum*. Geneva: WHO, 2017.
- Wilf, M. & Bartels, C. *Water Treatment Membrane Processes: AWWA Manual of Water Supply Practices M46*. American Water Works Association, 2007.
- [36] carbonatés [Hammer, M.J. & Hammer, M.J. Jr. (2012). *Water and Wastewater Technology*. 7th Edition, Pearson]
- [37] Dow Water & Process Solutions, 2016
- [38] A.N.R.H « Bilan des ressources d'eau en ALGERIE »2005
- [39] Jean-Marie ROVEL « Dessalement de l'eau de mer » 2010

ID	Task Name	Duration	Start	Finish
1	CIP RACK E	64,67 hrs	Tue 24/09/24 11:30	Fri 27/09/24 04:10
2	SOUDE CAUSTIQUE	22,33 hrs	Tue 24/09/24 11:30	Wed 25/09/24 09:50
3	Pré rincage	70 mins	Tue 24/09/24 11:30	Tue 24/09/24 12:40
4	chauffage	660 mins	Tue 24/09/24 12:40	Tue 24/09/24 23:40
5	recirculation 1	40 mins	Tue 24/09/24 23:40	Wed 25/09/24 00:20
6	trempage 1	121 mins	Wed 25/09/24 00:24	Wed 25/09/24 02:25
7	recirculation 2	30 mins	Wed 25/09/24 02:25	Wed 25/09/24 02:55
8	trempage 2	117 mins	Wed 25/09/24 03:07	Wed 25/09/24 05:04
9	recirculation 3	46 mins	Wed 25/09/24 05:04	Wed 25/09/24 05:50
10	trempage3	120 mins	Wed 25/09/24 05:50	Wed 25/09/24 07:50
11	drainage	14 mins	Wed 25/09/24 07:56	Wed 25/09/24 08:10
12	rincage	87 mins	Wed 25/09/24 08:23	Wed 25/09/24 09:50
13	GENESOL	23,68 hrs	Wed 25/09/24 09:59	Thu 26/09/24 09:40
14	remplissage tank	60 mins	Wed 25/09/24 09:59	Wed 25/09/24 10:59
15	chauffage	495 mins	Wed 25/09/24 10:59	Wed 25/09/24 19:14
16	recirculation	33 mins	Wed 25/09/24 19:14	Wed 25/09/24 19:47
17	trempage 1	121 mins	Wed 25/09/24 19:49	Wed 25/09/24 21:50
18	recirculation 2	34 mins	Wed 25/09/24 21:53	Wed 25/09/24 22:27
19	trempage 2	120 mins	Wed 25/09/24 22:29	Thu 26/09/24 00:29
20	recirculation 3	41 mins	Thu 26/09/24 00:29	Thu 26/09/24 01:10
21	trempage 3	150 mins	Thu 26/09/24 01:10	Thu 26/09/24 03:40
22	drainage et rincage	360 mins	Thu 26/09/24 03:40	Thu 26/09/24 09:40
23	Acide	18,5 hrs	Thu 26/09/24 09:40	Fri 27/09/24 04:10
24	remplissage tank	10 mins	Thu 26/09/24 09:40	Thu 26/09/24 09:50
25	chauffage	425 mins	Thu 26/09/24 09:50	Thu 26/09/24 16:55
26	recirculation 1	30 mins	Thu 26/09/24 16:55	Thu 26/09/24 17:25
27	trempage 1	125 mins	Thu 26/09/24 17:25	Thu 26/09/24 19:30
28	recirculation 2	30 mins	Thu 26/09/24 19:30	Thu 26/09/24 20:00
29	trempage 2	118 mins	Thu 26/09/24 20:00	Thu 26/09/24 21:58
30	recirculation 3	32 mins	Thu 26/09/24 21:58	Thu 26/09/24 22:30
31	trempage 3	120 mins	Thu 26/09/24 22:30	Fri 27/09/24 00:30
32	drainage + rincage	220 mins	Fri 27/09/24 00:30	Fri 27/09/24 04:10

Annexe 01 : cas pratique du la procédure du CIP

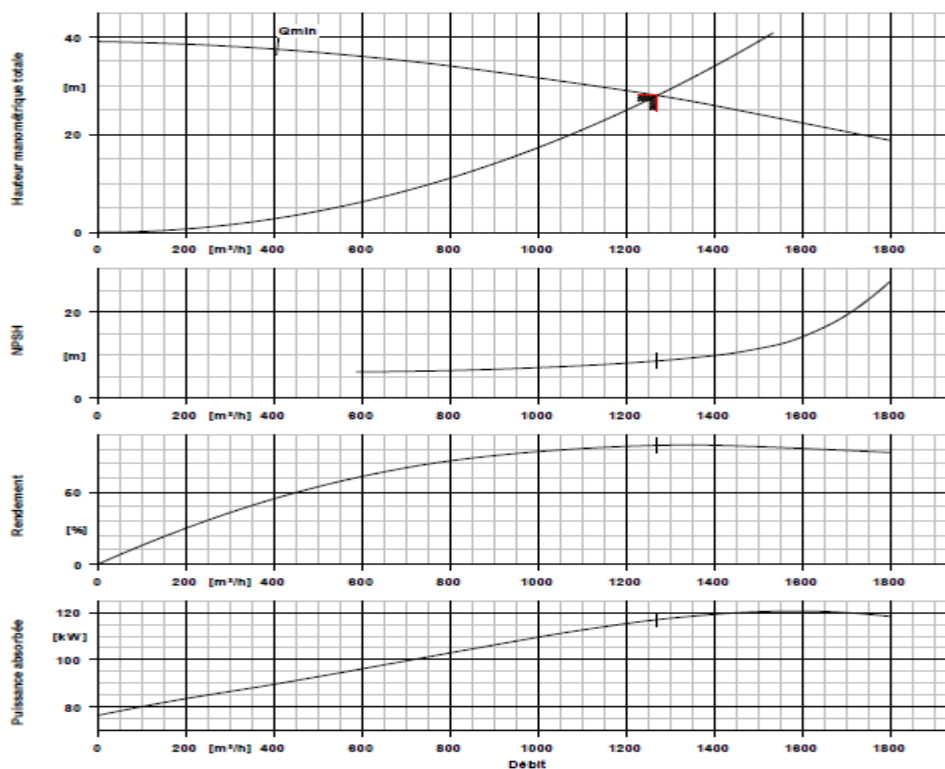
Etanorm RG 300-360
Pompe à volute en construction process

No. de version:

Caractéristiques de fonctionnement

Débit demandé	1270,00 m ³ /h	Débit	1270,52 m ³ /h
Hauteur manométrique totale demandée	28,00 m	Hauteur manométrique tot.	28,02 m
Liquide pompé	Eau	Rendement	82,7 %
	Eau pure	MEI (indice de rendement minimum)	≥ 0,60
Informations détaillées sur le fluide pompé	Ne contenant pas de substances attaquant chimiquement ou mécaniquement les matériaux	Puissance absorbée	117,07 kW
Température ambiante maximale	40,0 °C	Vitesse de rotation pompe	1491 rpm
Température ambiante minimale	0,0 °C	NPSH requis	8,67 m
Température liquide pompé	20,0 °C	Pression de service admissible	10,00 bar.r
Densité liquide pompé	998 kg/m ³	Pression de refoulement	2,74 bar.r
Viscosité liquide pompé	1,00 mm ² /s	Hauteur à débit nul	39,06 m
Pression d'aspiration max.	0,00 bar.r	Débit mini pour marche continue stable	407,27 m ³ /h
Débit massique	352,22 kg/s	Débit massique mini pour marche continue stable	112,90 kg/s
Puissance max. courbe	120,68 kW		
Débit massique max.	499,33 kg/s		

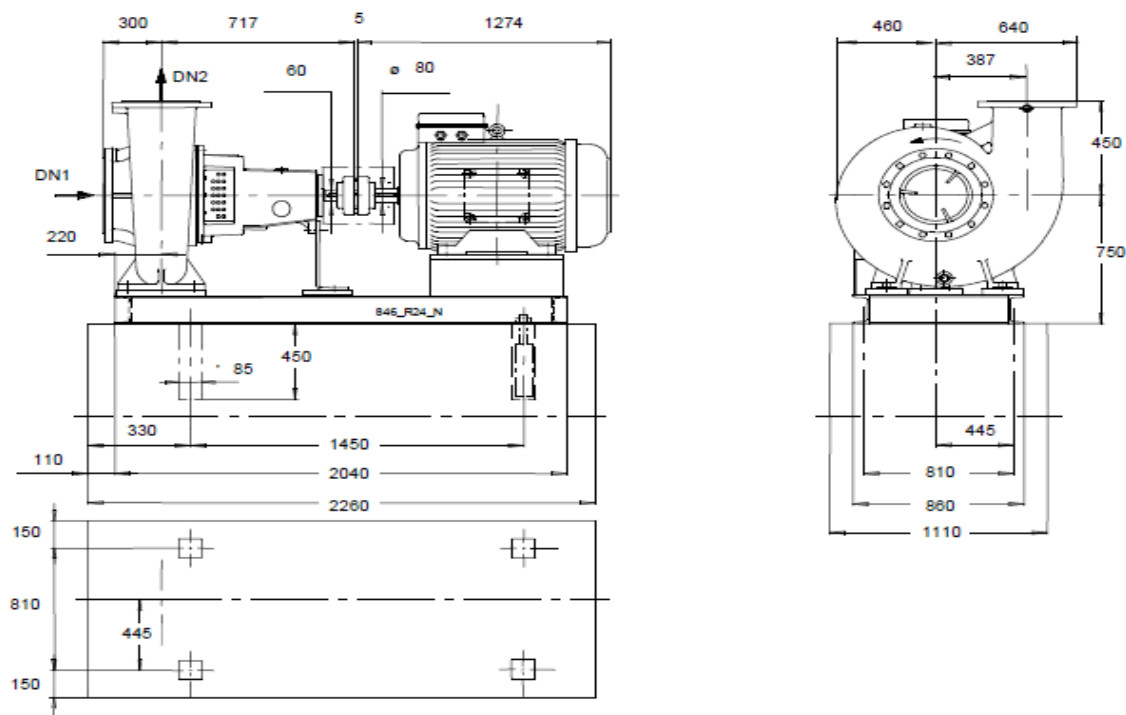
Annexe 02 : fiche technique de la pompe choisie



Caractéristiques de courbe

Vitesse de rotation	1491 rpm	Rendement	82,7 %
Densité liquide pompé	998 kg/m ³	MEI (indice de rendement minimum)	≥ 0,60
Viscosité	1,00 mm ² /s	Puissance absorbée	117,07 kW
Débit	1270,52 m ³ /h	NPSHR	8,67 m
Débit demandé	1270,00 m ³ /h	Numéro de courbe	K34711/1
Hauteur manométrique totale	28,02 m	Diamètre de roue effectif	344,0 mm
Hauteur manométrique	28,00 m	Norme de réception	tolérances suivant ISO 9906

Annexe 03 : courbe caractéristique de la pompe



Annexe 04 : dimensions de la pompe

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	μS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Annexe 05 : decret-11-125 des normes algériennes de potabilité