الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

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

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

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
De licence professionnelle en :
Hydraulique

Thème :

Étude de la reminéralisation des eaux dessalées et évaluation de leur stabilité chimique avant exportation : Cas de la station de dessalement d'eau de mer de Corso

Réalisé par :

- Bitouche Mohamed Islam

- Zennouche Mehdi

Encadrant par :

- **Mme Hamzaoui Sara** (Encadreur) MCB /Institut de Technologie

- **TIGRINE Ziyad** (Tuteur) Ingénieur principale /Station de dessalement d'eau de mer corso

Soutenu devant les jury :

Année universitaire : 2025/2026

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

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

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

Département Génie de l'eau

Autorisation de dépôt en vue de l'obtention du diplôme Licence

Je soussigné, Monsieur ou Madame, ...HAMZAOUI SARRA.....

Encadrante des étudiants :

Nom : .....BITOUCHE I ET ..ZENNOUCHE.....

Prénom : ..... Mohamed Islam et Mehdi

Inscrits en 3ème année Licence

Domaine : Science et technologie

Filière : Génie de l'eau

Spécialité : Génie de l'eau

Après consultation et correction du manuscrit de Licence de l'étudiant, j'autorise la présentation du travail, intitulé :

Étude de la reminéralisation des eaux dessalées et évaluation de leur stabilité chimique avant exportation : Cas de la station de dessalement d'eau de mer de Corso

Signature de l'encadrant



Bouira le : 24/05/2026.....

Remerciements

Nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la patience et la réussite nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements constants et les sacrifices consentis tout au long de notre parcours académique. Nous exprimons également notre gratitude à l'ensemble de nos familles pour leur appui moral.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadrante, Mme **Hamzaoui Sara**, pour la confiance qu'elle nous a accordée en nous proposant ce sujet, ainsi que pour son accompagnement, ses conseils avisés et sa disponibilité tout au long de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à notre encadrant au sein de la station, M. TIGRINE Ziyad, ainsi qu'à Messieurs **Massi et Ahmed,** ingénieurs électriques, pour leur accueil, leur disponibilité et les informations précieuses qu'ils nous ont fournies. Nous remercions aussi l'ensemble du personnel de la station pour leur collaboration et leur aide.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à monsieur **Islam,** responsable du service qualité et du laboratoire, pour ses conseils pertinents et son précieux soutien tout au long de ce projet.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à nos chers parents, pour leur amour, leur soutien, leurs sacrifices et leurs encouragements tout au long de notre parcours d'études.

À nos familles, pour leur présence, leur patience et leur appui moral qui nous ont toujours donné la force d'avancer.

À nos enseignants et encadreurs, pour leurs conseils, leur accompagnement et leur contribution à notre formation.

À nos amis et collègues, pour leur aide, leur encouragement et les bons moments partagés durant cette période.

Enfin, nous dédions ce travail à toutes les personnes qui nous ont soutenus, de près ou de loin, dans la réalisation de ce rapport.

ISLAM ET MEHDI

الملخص

يتناول هذا العمل دراسة عملية تحلية مياه البحر بواسطة التناضح العكسي على مستوى محطة قورصو، خاصة عملية إعادة تمعدن المياه المنتجة. إن المياه الناتجة عن التناضج العكسي، رغم جودتها العالية جدًا، تتميز بضعف التمعدن، مما يستوجب معالجتها لضمان استقرارها الكيميائي. وتعتمد عملية إعادة التمعدن على حقن ثاني أكسيد الكربون، والترشيح بالكالسيت، وخلط التدفقات، وضبط الرقم الهيدروجيني. وقد سمحت التحاليل الفيزيائية والكيميائية المنجزة خلال فترة التربص بتقييم جودة المياه عند مخرج الإرسال. وأظهرت النتائج أن أغلب المعايير المدروسة تحترم معايير مياه الشرب، مع تسجيل بعض التغيرات الطفيفة العرضية وبالتالي، فإن نظام المعالجة المطبق على مستوى محطة قورصو يسمح بالحصول على مياه مستقرة، غير مسببة للتآكل، ومطابقة لمتطلبات الجودة الخاصة بالتوزيع.

Summary: This work focuses on the study of the seawater desalination process by reverse osmosis at the Corso station, particularly the remineralization process of the produced water. The water resulting from reverse osmosis, although of very high quality, has low mineralization, which requires correction to ensure its chemical stability. Remineralization is based on carbon dioxide injection, calcite filtration, flow mixing, and pH adjustment. The physico-chemical analyses carried out during our internship period made it possible to evaluate the quality of the water at the outlet of the dispatch station. The results show that most of the studied parameters comply with drinking water standards, despite some occasional variations. Thus, the treatment process applied at the Corso station makes it possible to obtain stable, non-corrosive water that meets the quality requirements for distribution.

Résumé : Le présent travail porte sur l'étude du procédé de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse au niveau de la station de Corso, spécialement le processus de la reminéralisation de l'eau produite. L'eau issue de l'osmose inverse, bien qu'elle de très bonne qualité, présente une faible minéralisation, ce qui nécessite une correction afin d'assurer sa stabilité chimique. La reminéralisation repose sur l'injection de dioxyde de carbone, la filtration sur calcite, le mélange des flux et l'ajustement du pH. Les analyses physico-chimiques réalisées durant notre période de stage ont permis d'évaluer la qualité de l'eau à la sortie d'expédition. Les résultats montrent que la majorité des paramètres étudiés respectent les normes de potabilité et quelques variations ponctuelles. Ainsi, le procédé de traitement appliqué au niveau de la station de Corso permet d'obtenir une eau stable, non corrosive et conforme aux exigences de qualité pour la distribution.

Sommaire

Introduction générale 1

CHAPITRE I : Généralités sur le processus de dessalement et Description de la station de Corso

I. Introduction 2

II. Dessalement face au stress hydrique 2

III. Définition et principes du dessalement 3

IV. Technique de dessalement 3

V. Présentation de la station de dessalement de Corso 3

V.1 Caractéristiques techniques de la station 5

V.2 Organisation et services 6

VI. Description du procédé (captage → RO) 6

VI.1 Prise d'eau de mer 8

1.Tour de captage 8

2.Conduites d'admission 8

3.Bâche d'admission 9

VI.2 Prétraitement de l'eau de mer 9

1.Dégrilleur à barre 9

2.Tamiseur à bande mobile 10

3. Bâche d'eau de mer et station de pompage 10

4. Coagulation et floculation 11

5.Décantation lamellaire 12

6. Bache d'eau clarifiee 12

7. Station de pompage intermédiaire 13

8. Filtres à sable 13

9. Filtres à cartouches 14

10. Dosage des produits chimiques après le filtre à cartouches 14

a) Système de dosage du SMBS (déchloration) 14

b) Système de dosage de l'antitartre 14

VI.3 Traitement par osmose inverse 15

Conclusion : 17

CHAPITRE II : Reminéralisation de l'eau dessalée

I. Introduction 18

II. Principe de la reminéralisation 18

III. Description détaillée (CO_2, calcite, NaOH) 19

III.1 Injection de dioxyde de carbone (CO_2) 19
III.2 Filtration sur calcite 20
III.3 Système de mélange 21
III.4 Injection de soude ($NaOH$) 22
IV. Système de dosage post-chloration (désinfection finale) 22
Conclusion 23
Chapitre III : Materials et Méthodes
I. Introduction 24
II. Prélèvement des échantillons 24
III. Points de prélèvement 25
IV. Paramètres physico-chimiques 25
1. Détermination du pH 26
2. Détermination de la turbidité 26
3. Détermination de la conductivité 27
4. Détermination des solides dissous totaux (TDS) 28
5. Détermination de chlore libre 28
6. Détermination de l'alcalinité (TAC) 28
7. Dureté totale (TH) 29
8. Dureté calcique 30
9. Indice de saturation de Langelier (LSI) 30
Conclusion 31
CHAPITRE IV : Résultats et discussion
I. Introduction 32
II. Présentation des résultats 32
II.1 Évolution du pH 32
II.2 Évolution de la turbidité 34
II.3 Évolution de la conductivité 35
II. 4 Évolution du TDS 37
II. 5 Évolution du Chlore libre 38
II. 6 Évolution de l'alcalinité 40
II. 7 Évolution du la Dureté totale 41
II. 8 Évolution du la dureté calcique 42
II. 9 Évolution du L'indice de saturation de Langelier (LSI) 43
III. Discussion générale 44
Conclusion 45

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques techniques 5

Tableau 2 : Évolution du pH à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 32

Tableau 3 : Évolution de la turbidité à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 34

Tableau 4 : Évolution de la conductivité à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 35

Tableau 5 : Évolution du TDS à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 37

Tableau 6 : Évolution du chlore libre à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 38

Tableau 7 : Évolution de l'alcalinité à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 40

Tableau 8 : Évolution de la dureté totale à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 41

Tableau 9 : Évolution de la dureté calcique à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 42

Tableau 10 : Évolution de l'indice de saturation de Langelier (LSI) à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026 43

Liste des figures

Figure 1 : Station de dessalement de Corso 4

Figure 2 : Organisation et services de la station..... 6

Figure 3 : Schéma générale de la station de dessalement Corso 7

Figure 4 : Conduite d'admission 8

Figure 5 : Les dégrilleurs à barre 9

Figure 6 : Tamiseur à bande mobile 10

Figure 7 : Les différents analyseurs de la bâche d'eau de mer 11

Figure 8 : Bâche de coagulation et floculation 11

Figure 9 : Décanteur lamellaire 12

Figure 10 : Filtres à sable 13

Figure 11 : Les filtres à cartouches 14

Figure 12 : Les pompes doseuses des produits chimiques SMBS et antitartre 15

Figure 13 : Les membranes d'osmose inverse 16

Figure 14 : Récupérateur d'énergie de type PX Q300 16

Figure 15 : Schéma de reminéralisation 19

Figure 16 : Cellules de calcite 21

Figure 17 : pH-mètre 26

Figure 18 : Turbidimètre 27

Figure 19 : Conductimètre 27

Figure 20 : Titre alcalimétrique complet (TAC) 29

Figure 21 : Titrage de dureté totale (TH) 30

Figure 22 : Évolution du pH à la sortie d'expédition 33

Figure 23 : Évolution de la turbidité à la sortie d'expédition 34

Figure 24 : Évolution de la conductivité à la sortie d'expédition 36

Figure 25 : Évolution du TDS à la sortie d'expédition 37

Figure 26 : Évolution du chlore libre à la sortie d'expédition 39

Liste des abréviations

ADC : Algerian Desalination Company

ADE : Algérienne des Eaux

$CaCO_3$: Carbonate de calcium

CO_2 : Dioxyde de carbone

CTH : Contrôle Technique Hydraulique

GCB : Société Nationale de Génie Civil et Bâtiment

HSE : Hygiène, Sécurité et Environnement

LSI : Indice de saturation de Langelier

MES : Matières en suspension

NaOH : Hydroxyde de sodium (soude)

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

pH : Potentiel hydrogène

RO : Reverse Osmosis

SMBS : Métabisulfite de sodium

SWRO : Seawater Reverse Osmosis

TAC : Titre alcalimétrique complet

TA : Titre alcalimétrique

TDS : Total Dissolved Solids , sels dissous totaux

TH : Titre hydrotimétrique

µS/cm : Microsiemens par centimètre

Introduction générale

L'eau constitue une ressource essentielle à la vie et au développement socio-économique. Cependant, face à la croissance démographique, à l'urbanisation et aux changements climatiques, les ressources en eau douce deviennent de plus en plus limitées, notamment dans les régions arides et semi-arides. Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer apparaît comme une solution stratégique pour répondre à la demande croissante en eau potable. Parmi les technologies utilisées, l'osmose inverse s'impose comme la méthode la plus performante, permettant d'éliminer la majorité des sels dissous et des impuretés présentes dans l'eau de mer. La station de dessalement de Corso s'inscrit dans cette dynamique en assurant la production d'eau potable à partir de l'eau de mer. Toutefois, l'eau produite par osmose inverse est faiblement minéralisée, ce qui la rend chimiquement instable et potentiellement corrosive. Pour remédier à ce problème, une étape de reminéralisation est indispensable afin de rétablir l'équilibre physico-chimique de l'eau avant sa distribution. Le présent travail a pour objectif d'étudier le procédé de traitement au niveau de la station de Corso, en mettant l'accent sur le processus de reminéralisation et son impact sur la qualité de l'eau produite. Il s'agit également d'évaluer la stabilité chimique de l'eau à travers l'analyse de différents paramètres physico-chimiques mesurés à la sortie d'expédition. Pour ce faire, ce rapport est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre présente le procédé général de dessalement par osmose inverse. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la reminéralisation de l'eau dessalée. Le troisième chapitre décrit les matériels et méthodes utilisés pour le suivi des paramètres physico-chimiques. Et le quatrième chapitre présente les résultats obtenus ainsi que leur interprétation et discussion.

CHAPITRE I : Généralités sur le processus de dessalement et Description de la station de Corso

Chapitre I Généralités sur le dessalement et Description de la station de Corso

I. Introduction

Dans un contexte marqué par le stress hydrique et la diminution des ressources en eau douce, le dessalement de l'eau de mer constitue une solution stratégique pour assurer l'approvisionnement en eau potable. Dans ce contexte, le dessalement s'impose comme une solution d'ingénierie stratégique, capable d'assurer une production continue et maîtrisée d'eau potable, notamment dans les régions côtières confrontées à un stress hydrique croissant. Parmi les différentes techniques de dessalement, l'osmose inverse s'impose comme la technologie la plus utilisée en raison de son rendement élevé et de sa capacité à produire une eau de haute qualité. La station de dessalement de Corso s'inscrit dans cette dynamique. Elle repose sur une succession d'étapes de traitement comprenant la prise d'eau de mer, le prétraitement, le traitement par osmose inverse ainsi que le post-traitement. Le prétraitement joue un rôle essentiel dans la protection des membranes et dans l'optimisation du fonctionnement global du procédé. Ainsi, ce chapitre a pour objectif de présenter le contexte général du dessalement, ainsi qu'une description détaillée de la station de Corso, en mettant en évidence les différentes étapes du traitement de l'eau, depuis le captage jusqu'à l'osmose inverse. Ce chapitre constitue une base essentielle pour la compréhension des étapes de reminéralisation abordées dans la suite du travail

II. Dessalement face au stress hydrique

Le stress hydrique représente aujourd'hui l'un des principaux défis environnementaux et socio-économiques à l'échelle mondiale, en particulier dans les régions méditerranéennes et nord-africaines. La croissance démographique, l'urbanisation rapide, les effets du changement climatique ainsi que la surexploitation des ressources conventionnelles ont entraîné une réduction significative des réserves en eau douce. Dans ce contexte, la gestion durable des ressources en eau devient un enjeu majeur pour les États [3]. En Algérie, les ressources hydriques sont limitées et caractérisées par une répartition spatio-temporelle irrégulière, ce qui accentue la pression sur les systèmes d'alimentation en eau potable. Face à cette situation, le dessalement de l'eau de mer s'impose comme une solution stratégique permettant de garantir la sécurité hydrique, notamment dans les zones côtières où la demande en eau ne cesse d'augmenter [5].

III. Définition et principes du dessalement

Le dessalement de l'eau, ou désalinisation, est un procédé permettant de produire de l'eau douce à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtre. Il repose sur l'élimination des sels dissous et des autres impuretés afin d'obtenir une eau conforme aux normes de potabilité [4]. En général, l'exploitation des ressources en eau douce, telles que les eaux de surface et les eaux souterraines, demeure moins complexe et moins coûteuse que le dessalement. Cependant, dans plusieurs régions du monde, notamment en Algérie, ces ressources sont limitées et inégalement réparties. Dans ce contexte, le dessalement s'impose comme une solution incontournable pour répondre à la demande croissante en eau potable [3]. Ce procédé repose sur différentes technologies, dont les procédés thermiques et membranaires, ces derniers étant dominés par l'osmose inverse [5].

IV. Technique de dessalement

On distingue principalement deux grandes catégories de technologies de dessalement, selon le principe de séparation utilisé : les procédés thermiques et les procédés membranaires [4]. Les procédés thermiques reposent sur un changement d'état de l'eau, notamment par évaporation puis condensation, permettant ainsi de séparer l'eau des sels dissous. Les procédés membranaires, quant à eux, sont basés sur le passage de l'eau à travers des membranes semi-perméables sous l'effet d'une pression. Parmi ces technologies, l'osmose inverse est la plus utilisée en raison de son efficacité et de son rendement élevé [5]. Aujourd'hui, les procédés membranaires dominent largement le secteur du dessalement en raison de leur performance énergétique et de leur fiabilité opérationnelle [12].

V. Présentation de la station de dessalement de Corso

La station de dessalement d'eau de mer de Corso constitue une infrastructure stratégique dédiée à la production d'eau potable, contribuant significativement à l'alimentation en eau des régions du nord de l'Algérie **[**9]. Elle est située dans la wilaya de Boumerdès, à environ 25 km à l'est d'Alger, au niveau de la commune de Corso, entre l'oued Corso à l'est et l'oued Boudouaou à l'ouest, avec le djebel Nador au sud[7]. La station a été mise en service partiellement le 4 juillet 2023, après une période de réalisation relativement courte, débutée en 2022. Ce projet a été réalisé grâce

à la collaboration de plusieurs entreprises nationales, notamment l'Algerian Desalination Company (ADC), la Société Nationale de Génie Civil et Bâtiment (GCB) ainsi que la Société de Contrôle Technique Hydraulique (CTH) [8]. Avec une capacité de production de 80 000 m³/jour, répartie sur deux lignes de traitement indépendantes, la station repose sur la technologie d'osmose inverse (SWRO), garantissant une production continue et fiable d'eau potable [9]. L'eau produite est destinée à alimenter la wilaya de Boumerdès ainsi qu'une partie de la wilaya d'Alger, tandis que l'Algérienne des Eaux (ADE) assure sa distribution aux usagers. Cette infrastructure contribue de manière significative au renforcement de la sécurité hydrique régionale et à la satisfaction de la demande croissante en eau potable [7].



Figure 1 : station de dessalement de Corso

V.1 Caractéristiques techniques de la station

La station de dessalement de Corso repose principalement sur la technologie d'osmose inverse (SWRO) et dispose d'une capacité de production de 80 000 m³/jour, répartie sur deux lignes de traitement indépendantes, assurant ainsi une production continue et fiable d'eau potable [9].

Tableau 2 : Caractéristiques techniques

Capacité de production	80 000 m³/jour
Superficie	6,25 hectares
Technologie utilisée	Osmose inverse (RO)
Maître d'ouvrage	Algerian Desalination Company (ADC)
Maître d'œuvre	Société Nationale de Génie Civil et Bâtiment (GCB)
Organisme de contrôle	CTH (Contrôle Technique et Hydraulique)
Date de mise en service	4 juillet 2023
Nombre d'unités de dessalement	8

Les caractéristiques techniques présentées montrent que la station de Corso constitue une installation de grande capacité, adaptée aux besoins croissants en eau potable. La présence de plusieurs unités de dessalement permet d'assurer une meilleure flexibilité d'exploitation ainsi qu'une continuité du service en cas d'arrêt partiel d'une ligne. Par ailleurs, le recours à la technologie d'osmose inverse garantit une production d'eau de haute qualité, tout en optimisant les performances énergétiques du procédé.

V.2 Organisation et services

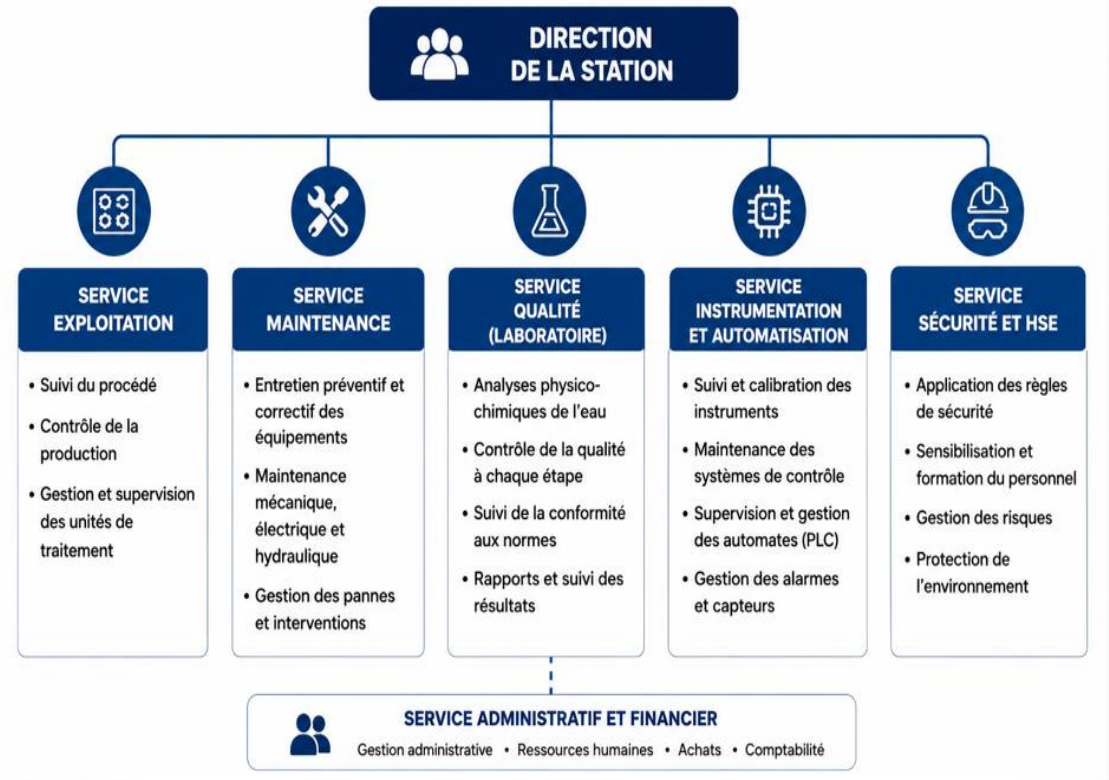

Figure 2 : Organisation et services de la station

Dans le cadre de ce travail, le stage a été effectué au sein du service d'exploitation et de production ainsi que du service qualité et laboratoire, ce qui a permis une meilleure compréhension du fonctionnement global de la station ainsi que du suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau.

VI. Description du procédé (captage → RO)

Le procédé de dessalement de l'eau de mer au niveau de la station de Corso repose sur une succession d'étapes de traitement visant à améliorer progressivement la qualité de l'eau brute avant son passage à l'osmose inverse. Le traitement débute par la prise d'eau de mer, permettant le captage de l'eau brute à partir du milieu marin. Cette eau est ensuite acheminée vers la bâche d'eau de mer, où elle est stockée temporairement avant traitement [9]. L'eau passe ensuite à travers des systèmes de dégrillage, notamment le dégrilleur à barre et le tamiseur à bande mobile, assurant l'élimination des particules grossières et des débris [2]. Par la suite, l'eau est dirigée vers la station de pompage, qui assure son transfert vers les différentes unités de traitement avec le débit et la

pressions nécessaires [1]. L'étape de coagulation-floculation permet d'agglomérer les particules fines en flocs, facilitant leur séparation lors de la décantation. Ces flocs sont ensuite éliminés au niveau des décanteurs lamellaires [2]. L'eau clarifiée est recueillie dans une bâche d'eau clarifiée, avant d'être pompée vers les unités de filtration. Les filtres à sable assurent l'élimination des particules en suspension restantes, suivis des filtres à cartouches qui garantissent une filtration fine afin de protéger les membranes d'osmose inverse [5]. Un système de dosage de produits chimiques est mis en place afin d'optimiser les conditions de fonctionnement et de prévenir l'encrassement des membranes. Enfin, l'eau est traitée par osmose inverse, permettant l'élimination des sels dissous et la production d'une eau dessalée de haute qualité [12].

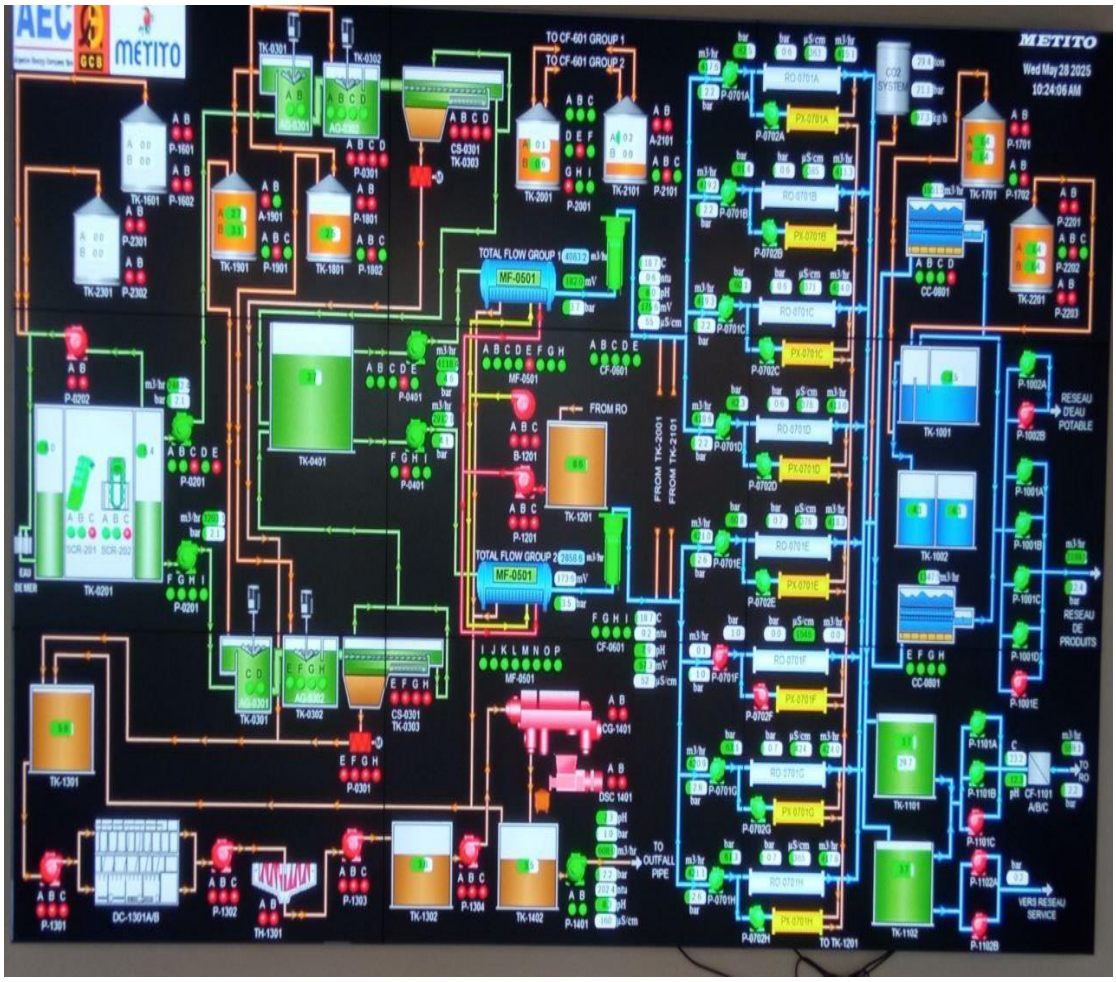

Figure 3 : schéma générale de la station de dessalement corso

VI.1 Prise d'eau de mer

1.Tour de captage

Le captage de l'eau de mer constitue la première étape du procédé de dessalement. Il permet d'assurer l'alimentation en eau brute tout en limitant l'entrée des débris et des particules grossières. À cet effet, deux tours de captage en béton, d'un diamètre extérieur de 3,4 m, sont implantées à une profondeur de -14,6 m. Chaque tour est équipée de six ouvertures d'admission situées à 2,3 m du fond marin, munies de grilles permettant de retenir les éléments grossiers [9]. Un trou d'homme, d'un diamètre de 2 m, est aménagé au sommet de chaque tour afin de faciliter les opérations d'inspection et de maintenance [11].

2.Conduites d'admission

Afin d'assurer l'acheminement du débit nécessaire à une production de 80 000 m³/jour, avec une marge de sécurité de 3 %, deux conduites en polyéthylène haute densité (PEHD), de diamètre 1400 mm, ont été mises en place. Chaque conduite présente une longueur totale de 875 m, dont 800 m en offshore et 75 m en onshore. Chaque conduite est dimensionnée pour transporter la totalité du débit requis, estimé à environ 8186 m³/h, ce qui garantit la continuité du fonctionnement en cas d'indisponibilité de l'une des conduites [9].



Figure 4 : conduite d'admission

3.Bâche d'admission

VI.2 Prétraitement de l'eau de mer

La bâche d'admission, réalisée en béton, constitue une étape intermédiaire essentielle dans le procédé de traitement. Elle présente une géométrie évolutive, passant d'une forme rectangulaire à une section trapézoïdale au niveau de l'aspiration des pompes, afin d'optimiser les conditions hydrauliques [6].

Elle intègre plusieurs équipements assurant le prétraitement initial de l'eau brute :

• Deux vannes d'isolement, permettant de contrôler et d'interrompre l'écoulement en cas de besoin [1].

• Un système de dessablage, destiné à éliminer les particules lourdes par décantation [2].

• Un système de dégrillage grossier et fin, assurant la rétention des déchets solides et des particules de petite taille.

1.Dégrilleur à barre

Le dégrilleur à barres constitue la première étape du prétraitement de l'eau de mer [2]. Il est destiné à retenir les solides grossiers présents dans l'eau brute, tels que les déchets, les débris et les matières volumineuses [9].



Figure 5 : les dégrilleurs à barre

2.Tamiseur à bande mobile

Le tamiseur à bande mobile constitue une étape complémentaire du prétraitement, intervenant après le dégrillage [9]. Il est destiné à éliminer les particules fines et les débris de petite taille présents dans l'eau brute [2]. Ce dispositif fonctionne à l'aide d'une bande filtrante mobile permettant de retenir efficacement les impuretés fines, améliorant ainsi la qualité de l'eau avant son passage vers les étapes suivantes de traitement [8].



Figure 6 : Tamiseur à bande mobile

3. Bâche d'eau de mer et station de pompage

L'eau brute est stockée dans une bâche d'eau de mer équipée de plusieurs instruments de mesure, notamment le niveau, la turbidité, le pH, la conductivité et les hydrocarbures, permettant un suivi en continu de la qualité de l'eau. La station de pompage est constituée de plusieurs pompes d'alimentation en eau brute (8 pompes en service et 1 pompe de secours), assurant l'acheminement de l'eau vers les unités de prétraitement avec un débit adapté aux besoins de la station [9]. Ce système permet d'assurer une alimentation régulière et maîtrisée des unités de traitement, tout en garantissant une redondance en cas de défaillance d'une pompe [1] .

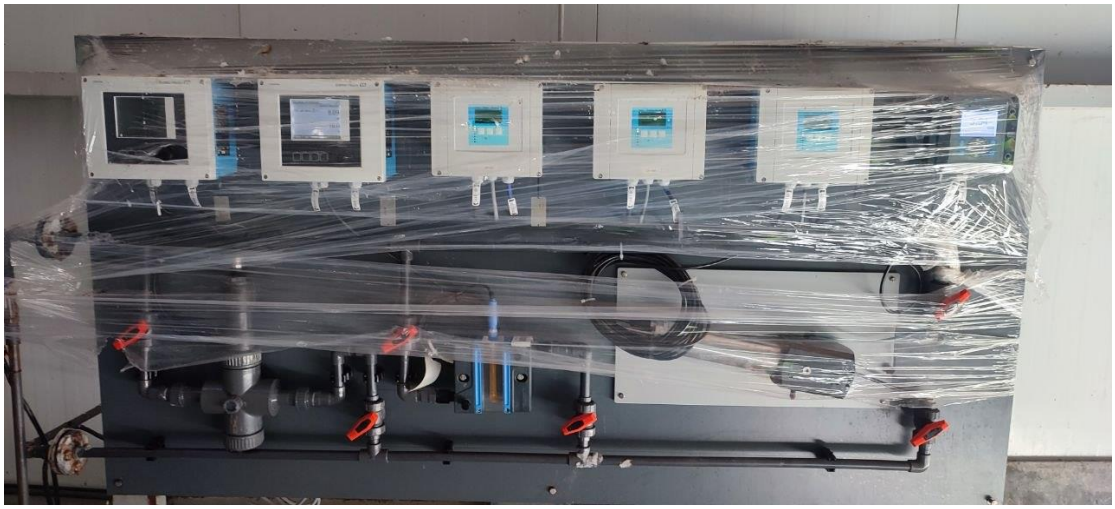

Figure 7 : les déférents analyseurs de bâche d'eau de mer

4. Coagulation et floculation

La clarification de l'eau de mer débute par une étape de coagulation, caractérisée par l'injection d'un coagulant, généralement du chlorure ferrique, au niveau des bâches de coagulation [9]. Une agitation rapide est appliquée afin de neutraliser les charges électriques des particules en suspension, favorisant ainsi leur déstabilisation. L'eau est ensuite dirigée vers les bâches de floculation, où l'ajout d'un polymère permet l'agglomération des particules déstabilisées en flocs de plus grande taille [2]. Une agitation lente est maintenue afin de favoriser la formation de flocs denses et décantables [6].



Figure 8 : bâche de Coagulation et floculation

5.Décantation lamellaire

La station est équipée de huit décanteurs lamellaires, destinés à éliminer les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau brute avant l'étape de filtration sur sable. Lorsque la qualité de l'eau brute est satisfaisante (MES < 30 ppm), l'eau est directement acheminée vers la bâche d'eau clarifiée, sans passage par les décanteurs, ce qui permet d'optimiser le fonctionnement du procédé [9]. Le principe de fonctionnement des décanteurs lamellaires repose sur la séparation gravitaire des particules. Les matières en suspension se déposent au fond sous forme de boues, tandis que l'eau clarifiée est récupérée en surface [2]. La présence de plaques inclinées (lamelles) permet d'augmenter la surface de décantation et d'améliorer l'efficacité du procédé Chaque décanteur est équipé d'un système de raclage assurant l'évacuation continue des boues vers une fosse d'extraction [7].



Figure 9 : décanteur lamellaire

6. Bache d'eau clarifiee

L'eau clarifiée issue des décanteurs est stockée dans une bâche en béton d'une capacité de 800 m³, constituant une réserve tampon assurant l'alimentation continue des unités de filtration. Cette bâche alimente les filtres à sable à l'aide de huit pompes intermédiaires, permettant d'assurer le transfert de l'eau avec un débit adapté aux besoins du procédé [9]. Le débit est réparti sur deux collecteurs, garantissant une distribution homogène de l'eau vers les différentes unités de filtration [8]. La bâche est équipée de capteurs de niveau permettant un suivi en continu du volume d'eau, assurant la protection des pompes contre le fonctionnement à sec et évitant tout risque de débordement [1].

7. Station de pompage intermédiaire

La station de pompage intermédiaire est composée de huit pompes principales et d'une pompe de secours, assurant l'alimentation des filtres à sable [9]. Les pompes sont réparties sur deux collecteurs, permettant d'assurer une distribution homogène du débit et d'optimiser le fonctionnement hydraulique du système. [8] Chaque pompe délivre un débit d'environ 953 m^3/h. [9]. Le système est équipé de capteurs de pression et de manomètres, permettant un suivi en temps réel des Conditions de fonctionnement et un contrôle précis des performances hydrauliques [1].

8. Filtres à sable

Après la décantation et le stockage dans la bâche d'eau clarifiée, l'eau est acheminée vers les filtres à sable pour subir une étape de filtration approfondie. La filtration est assurée par 16 filtres horizontaux sous pression, répartis en deux lignes de 8 filtres chacune, permettant de traiter le débit global de manière optimale [9]. Ces filtres sont constitués d'un lit filtrant multicouche composé de :

• Une couche supérieure d'anthracite, destinée à retenir les particules grossières [2].

• Une couche intermédiaire de sable, assurant la filtration fine des particules en suspension. [6].

• Une couche inférieure de gravier, permettant de soutenir les couches filtrantes et d'assurer une bonne répartition de l'eau [2].



Figure 10 : Filtres à sable

9. Filtres à cartouches

Les filtres à cartouches, généralement de seuil de filtration de 5 microns, constituent la dernière étape du prétraitement avant l'osmose inverse. [9] Ils assurent une filtration fine de l'eau en retenant les particules résiduelles en suspension, garantissant ainsi une qualité d'eau conforme aux exigences des membranes. [5] Ces filtres jouent un rôle essentiel dans la protection des membranes d'osmose inverse, en limitant les phénomènes de colmatage et en améliorant la durée de vie des équipements. [12]



Figure 11 : les filtres à cartouche

10. Dosage des produits chimiques après le filtre à cartouches

a) Système de dosage du SMBS (déchloration)

Le métabisulfite de sodium (SMBS) est utilisé pour éliminer le chlore libre présent dans l'eau d'alimentation. Cette étape est essentielle pour protéger les membranes d'osmose inverse, sensibles à l'oxydation [13]. Le SMBS est injecté après les filtres à cartouches à l'aide de pompes doseuses (2 en service et 1 en réserve), avec un débit compris entre 188 et 939 L/h.[9].

b) Système de dosage de l'antitartre

Un antitartre de type M51 est injecté après les filtres à cartouches afin de limiter la formation de dépôts minéraux, notamment le carbonate de calcium ($CaCO_3$) et le sulfate de calcium ($CaSO_4$), susceptibles d'encrasser les membranes [5].

La solution est préparée dans des réservoirs d'une capacité de 0,5 m³, puis injectée à l'aide de pompes doseuses (8 en service et 1 en réserve), avec un dosage compris entre 1 et 1,1 ppm [9]. Ce traitement permet de préserver les performances des membranes et d'assurer un fonctionnement optimal du système d'osmose inverse [12].



Figure 12 : les pompes doseuses des produit chimiques SMBS et Antitartre

VI.3 Traitement par osmose inverse

Après les étapes de prétraitement, l'eau de mer filtrée, déchlorée et conditionnée chimiquement est acheminée vers le système d'osmose inverse (SWRO), constituant le cœur du procédé de dessalement [9]. Le principe de l'osmose inverse repose sur l'application d'une pression élevée, supérieure à la pression osmotique naturelle de l'eau de mer, permettant de forcer le passage de l'eau à travers des membranes semi-perméables, tout en retenant les sels dissous, les matières organiques et les autres impuretés [12]. Cette pression est assurée par des pompes haute pression, indispensables pour garantir les performances du système et assurer un débit de production optimal [8]. Au niveau des modules membranaires, l'eau est séparée en deux flux distincts : le perméat, correspondant à l'eau produite de faible salinité (57 à 178 mg/L), et la saumure, constituant le rejet concentré en sels. Le taux de récupération du système est d'environ 45 % pour le perméat et 55 % pour la saumure, reflétant un compromis entre performance de production et

limitation du colmatage des membranes. La station comprend huit unités d'osmose inverse équipés de membranes, permettant d'assurer une production continue et fiable d'eau dessalée [9].



Figure 13 : les membranes d'osmose inverse

Afin d'optimiser les performances énergétiques, la station est équipée d'un système de récupération d'énergie de type PX Q300, permettant de récupérer une partie de l'énergie contenue dans la saumure et de réduire significativement la consommation énergétique globale du procédé [12].



Figure 14 : récupérateur d'énergie de type PX Q300

Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter les généralités du dessalement de l'eau de mer ainsi que le procédé de traitement adopté au niveau de la station de Corso. L'analyse des différentes étapes du traitement, depuis la prise d'eau de mer jusqu'à l'osmose inverse, a mis en évidence l'importance du prétraitement dans l'amélioration de la qualité de l'eau brute et dans la protection des membranes. Chaque étape, notamment le dégrillage, la coagulation-floculation, la décantation, la filtration sur sable et sur cartouches, ainsi que le conditionnement chimique, joue un rôle essentiel dans l'optimisation des performances du procédé. L'osmose inverse constitue le cœur du système de dessalement, assurant l'élimination des sels dissous et la production d'une eau de haute qualité, tout en nécessitant des conditions de fonctionnement rigoureusement contrôlées. Ainsi, l'ensemble de la chaîne de traitement permet d'obtenir une eau dessalée conforme aux exigences de qualité, tout en garantissant la fiabilité et la continuité du service. Ce chapitre constitue une base essentielle pour la compréhension de l'étape de reminéralisation, qui sera abordée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II : Reminéralisation de l’eau dessalée

I. Introduction

L'eau produite par osmose inverse est caractérisée par une très faible minéralisation. En effet, ce procédé repose sur l'utilisation de membranes semi-perméables permettant d'éliminer la majorité des sels dissous ainsi que les impuretés présentes dans l'eau de mer. Bien que cette eau soit de haute qualité du point de vue sanitaire, elle présente des caractéristiques physico-chimiques qui la rendent chimiquement instable. Elle se caractérise notamment par une faible alcalinité, une dureté très faible et un pH généralement compris entre 6,1 et 7. Ces paramètres peuvent rendre l'eau agressive, entraînant des phénomènes de corrosion au niveau des conduites et des infrastructures de distribution.

Dans ce contexte, une étape de reminéralisation est indispensable afin de rétablir l'équilibre chimique de l'eau, d'améliorer sa stabilité et de la rendre conforme aux normes de potabilité.

II. Principe de la reminéralisation

La reminéralisation est une étape essentielle du traitement post-osmose inverse, visant à rétablir l'équilibre physico-chimique de l'eau dessalée. En effet, l'eau produite par osmose inverse est faiblement minéralisée, ce qui la rend chimiquement instable et potentiellement corrosive. Au niveau de la station de dessalement de Corso, le principe de la reminéralisation repose sur l'enrichissement de l'eau en calcium et en bicarbonates, afin d'augmenter sa dureté et son alcalinité. Après la sortie des unités d'osmose inverse, le flux de perméat est divisé en deux fractions : une première fraction est dirigée directement vers le réservoir de mélange, tandis que la seconde est envoyée vers les cellules de calcite. Avant son entrée dans ces cellules, du dioxyde de carbone (CO_2) est injecté afin d'abaisser légèrement le pH et de favoriser la dissolution de la calcite ($CaCO_3$). Cette réaction permet la formation de bicarbonates solubles, contribuant ainsi à la stabilisation chimique de l'eau. L'eau reminéralisée issue des cellules de calcite est ensuite mélangée avec la première fraction du perméat dans un réservoir dédié. En complément, une injection de soude (NaOH) peut être réalisée afin d'ajuster le pH final et d'éliminer l'excès de CO_2 dissous. En pratique, l'ensemble du procédé est contrôlé automatiquement à l'aide de capteurs en ligne mesurant le pH, la

conductivité et l'indice de saturation de Langelier (LSI). Ces paramètres permettent d'ajuster en continu les conditions de fonctionnement afin d'obtenir une eau stable, non corrosive et conforme aux exigences de qualité avant sa distribution.

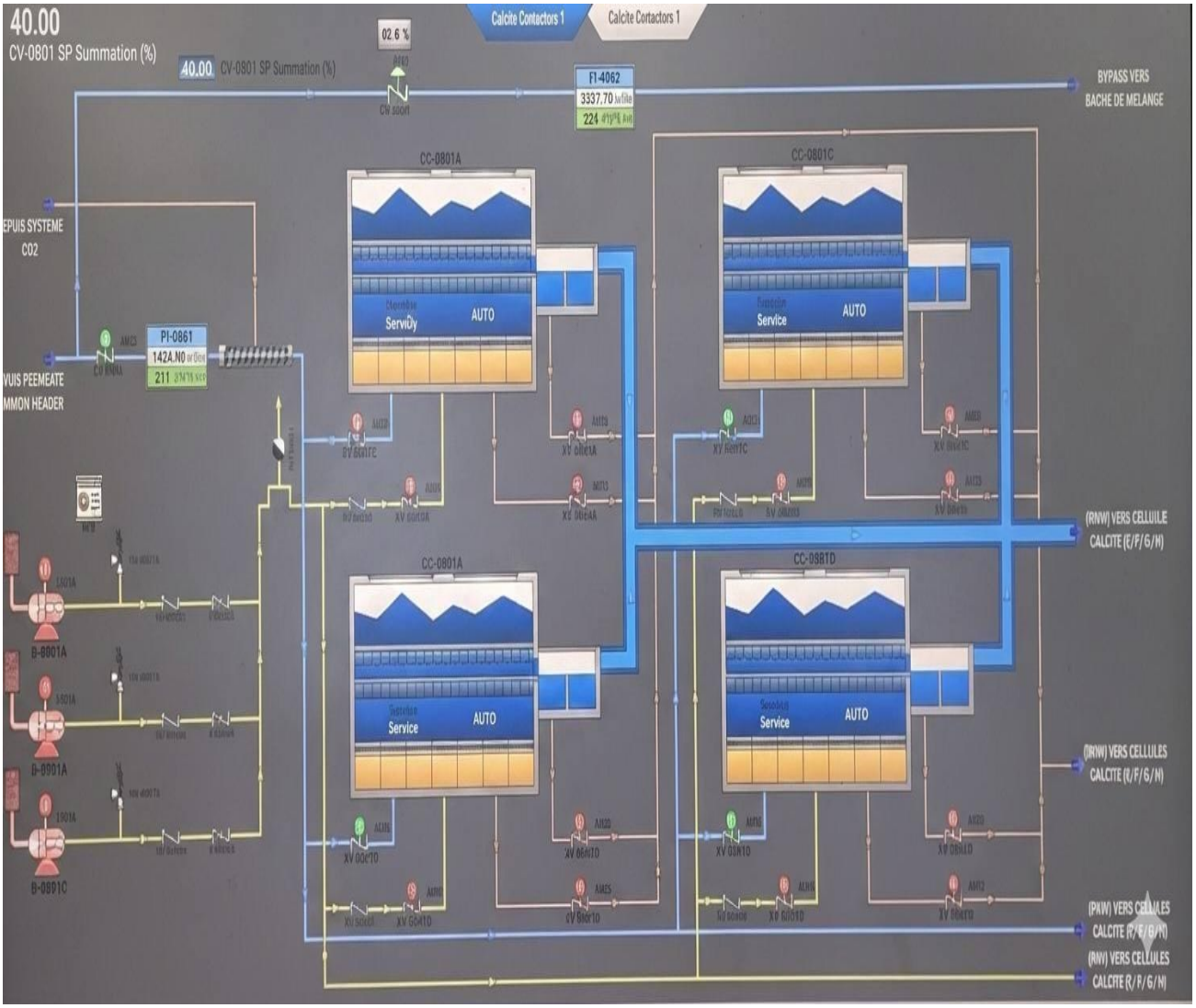

Figure 15 : schéma de Reminéralisation

III. Description détaillée (CO_2, calcite, NaOH)

III.1 Injection de dioxyde de carbone (CO_2)

L'injection de dioxyde de carbone (CO_2) constitue une étape fondamentale du processus de reminéralisation de l'eau dessalée. Elle permet de favoriser la dissolution de la calcite et d'améliorer l'équilibre calco-carbonique de l'eau.

Au niveau de la station de dessalement de Corso, le CO_2 est injecté en amont des cellules de calcite à l'aide d'un système de diffusion. Une fois dissous dans l'eau, le CO_2 réagit avec celle-ci pour former de l'acide carbonique selon la réaction suivante : $\mathbf{CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3}$

Cet acide faible se dissocie partiellement : $\mathbf{H_2CO_3} \leftrightarrow \boldsymbol{H^+ + HCO_3^{2-}}$

La libération des ions hydrogène (H^+) entraîne une diminution contrôlée du pH, ce qui favorise la dissolution du carbonate de calcium ($CaCO_3$) dans les filtres à calcite. Ainsi, l'injection de CO_2 permet de préparer l'eau à la dissolution de la calcite, assurant une augmentation de l'alcalinité et une amélioration de la stabilité chimique de l'eau traitée.

III.1.1 Calcul de la quantité de dioxyde de carbone (CO_2) nécessaire

La quantité de dioxyde de carbone (CO_2) injectée dans le processus de reminéralisation est déterminée en fonction du débit d'eau alimentant les cellules de calcite ainsi que des objectifs de qualité de l'eau à atteindre, notamment en termes de pH, d'alcalinité et d'équilibre calco-carbonique. Au niveau de la station de dessalement de Corso, l'injection de CO_2 est assurée de manière automatique grâce à un système de régulation. Le débit d'eau est mesuré en continu par un débitmètre, et le débit de CO_2 est ajusté automatiquement à l'aide d'une vanne de régulation afin de maintenir les conditions optimales de dissolution de la calcite. La dose de CO_2 peut être estimée théoriquement à partir d'une valeur moyenne d'environ 62 g/m³, selon la relation suivante :

$$\boldsymbol{Q_{CO2} = Q \times 62}$$

Où : Q représente le débit d'eau traversant les cellules de calcite (m³/h) et Q_{CO2} la quantité de CO_2 injectée (g/h).

III.2 Filtration sur calcite

La filtration sur calcite constitue une étape essentielle du processus de reminéralisation de l'eau dessalée. Elle consiste à faire passer l'eau issue de l'osmose inverse à travers un lit de carbonate de calcium ($CaCO_3$), afin d'enrichir l'eau en calcium et en bicarbonates. Au niveau de la station de dessalement de Corso, cette opération est réalisée à l'aide de plusieurs cellules de calcite fonctionnant en parallèle. L'eau, préalablement conditionnée par injection de CO_2, traverse ces cellules, ce qui favorise la dissolution progressive de la calcite. La réaction chimique principale est la suivante :

$$\boldsymbol{CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-}$$

Cette réaction permet d'augmenter la dureté ($ça^{2+}$) et l'alcalinité (HCO_3^-), contribuant ainsi à la stabilisation chimique de l'eau. En pratique, le

fonctionnement des filtres à calcite est contrôlé de manière continue. Le débit d'eau alimentant les cellules est régulé, et les paramètres de sortie, notamment le pH, l'alcalinité et l'indice de Langelier (LSI), sont surveillés en ligne afin d'assurer une reminéralisation optimale.



Figure 16 : Cellules de calcite

III.3 Système de mélange

Le système de mélange constitue une étape essentielle du processus de reminéralisation, permettant d'homogénéiser l'eau traitée avant son stockage et son expédition vers le réseau de distribution [6]. Au niveau de la station de dessalement de Corso, l'eau reminéralisée issue des cellules de calcite est dirigée vers un réservoir de mélange, où elle est combinée avec une fraction du perméat non traité [9]. Ce mélange permet d'ajuster les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, notamment la conductivité, la dureté, l'alcalinité et le pH [13]. Le réservoir de mélange assure une homogénéisation efficace des deux flux, garantissant une qualité d'eau stable et uniforme [2]. Il est équipé de capteurs permettant le suivi en continu de plusieurs paramètres, tels que le pH, la conductivité, la turbidité et le chlore libre [1]. Ainsi, le système de mélange permet d'obtenir une eau équilibrée, stable et conforme aux exigences de qualité avant son stockage et sa distribution. [13].

III.4 Injection de soude ($NaOH$)

L'injection de soude (hydroxyde de sodium, $NaOH$) est une méthode optionnelle utilisée dans la station de dessalement corso afin d'ajuster le pH de l'eau reminéralisée et d'améliorer sa stabilité chimique. Après l'injection de dioxyde de carbone, l'eau peut présenter une légère acidité due à la formation d'acide carbonique. Dans ce cas, l'ajout de soude permet de neutraliser cette acidité et d'augmenter le Ph [14] . La soude se dissocie totalement dans l'eau selon la réaction suivante **:** $\boldsymbol{NaOH \rightarrow Na^{+} + OH^{-}}$ [6]

Les ions hydroxyde (OH^{-}) réagissent avec les ions hydrogène (H^{+}) présents dans l'eau pour former des molécules d'eau (H_2O) : $\boldsymbol{OH^{-} + H^{+} \rightarrow H_2O}$ [6]

Cette réaction de neutralisation permet de diminuer l'acidité et d'augmenter le pH de l'eau [5].

IV. Système de dosage post-chloration (désinfection finale)

La post-chloration constitue la dernière étape du traitement de l'eau au niveau de la station de dessalement de Corso. Elle vise à assurer la désinfection finale de l'eau et à garantir sa qualité microbiologique avant son expédition vers le réseau de distribution. Au niveau de la station, la désinfection est réalisée par injection d'hypochlorite de sodium avec une dose généralement de l'ordre de 1,0 ppm, introduit dans l'eau à l'aide de pompes doseuses [9]. Cette injection permet la formation de chlore libre sous forme active, capable de détruire les micro-organismes potentiellement présents dans l'eau [5]. Le système de dosage comprend un réservoir de stockage du produit ainsi que des pompes doseuses assurant une injection contrôlée et continue [9]. La quantité de chlore injectée est ajustée en fonction du débit d'eau et des exigences de qualité [1]. En pratique, la concentration en chlore libre est suivie en continu à l'aide d'analyseurs en ligne, permettant de contrôler le processus de désinfection en temps réel. Le dosage est régulé automatiquement afin de maintenir un résiduel de chlore libre généralement compris entre 0,5 et 1 mg/L [10].

Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en évidence l'importance de la reminéralisation dans le traitement de l'eau dessalée au niveau de la station de Corso. En effet, l'eau issue de l'osmose inverse, bien que de très bonne qualité du point de vue de la salinité, présente une faible minéralisation qui la rend chimiquement instable et potentiellement corrosive. L'étude du principe de la reminéralisation a montré que l'injection de dioxyde de carbone, suivie de la dissolution de la calcite, permet d'enrichir l'eau en calcium et en bicarbonates, contribuant ainsi à l'augmentation de la dureté et de l'alcalinité. Par ailleurs, l'ajustement du pH par l'injection de soude et la désinfection finale par chloration assurent une stabilisation complète de l'eau avant son stockage et sa distribution. Ainsi, la reminéralisation constitue une étape essentielle du post-traitement, permettant d'obtenir une eau chimiquement stable, non corrosive et conforme aux exigences de qualité pour une distribution sécurisée.

Chapitre III : Materials et Méthodes

I. Introduction

Afin d'évaluer la qualité de l'eau reminéralisée produite au niveau de la station de dessalement de Corso, des analyses physico-chimiques sont réalisées de manière régulière au sein du laboratoire. Ces analyses portent sur plusieurs paramètres essentiels, tels que le pH, la conductivité, la turbidité, la dureté, l'alcalinité et les solides dissous (TDS). Elles permettent de vérifier la conformité de l'eau aux normes de potabilité, mais également d'évaluer l'efficacité du processus de reminéralisation. Le suivi de ces paramètres contribue à contrôler l'équilibre calco-carbonique de l'eau et à assurer sa stabilité chimique avant son stockage et sa distribution.

II. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement des échantillons d'eau est une étape essentielle pour garantir la fiabilité des analyses physico-chimiques. Il doit être réalisé dans des conditions rigoureuses afin d'éviter toute contamination ou altération des paramètres mesurés [14]. La méthode de prélèvement adoptée repose sur les étapes suivantes :

❖ Rincer le flacon d'échantillonnage avec l'eau à analyser afin d'éliminer toute trace résiduelle [14].

❖ Remplir complètement le flacon sans laisser de vide d'air, afin de limiter les échanges avec l'atmosphère [14].

❖ Fermer hermétiquement le flacon pour éviter toute contamination externe [14].

❖ Transporter les échantillons dans une glacière vers le laboratoire afin de préserver leurs caractéristiques physico-chimiques [14].

III. Points de prélèvement

Les prélèvements d'eau sont effectués à différents points stratégiques de la chaîne de traitement, afin de suivre l'évolution de la qualité physico-chimique au sein de la station de dessalement [14]. Les principaux points de prélèvement considérés sont les suivants [7] :

- ❖ Sortie de bassin de captage
- ❖ Sortie du décanteur,
- ❖ Sortie des filtres à sable,
- ❖ Sortie des filtres à cartouches,
- ❖ Sortie de l'osmose inverse (RO),
- ❖ Sortie d'expédition.

Dans le cadre de ce stage, l'étude est principalement axée sur les échantillons prélevés à la sortie d'expédition, représentant la qualité finale de l'eau destinée à la distribution. Les échantillons collectés sont transportés dans une glacière vers le laboratoire d'analyses physico-chimiques de Corso, afin de préserver leurs caractéristiques initiales et d'éviter toute altération avant la réalisation des mesures.

IV. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques constituent des indicateurs essentiels pour évaluer la qualité de l'eau au sein de la station de dessalement. Ils permettent de caractériser l'eau à différentes étapes du traitement et de vérifier sa conformité aux normes de potabilité [10]. Les principaux paramètres étudiés à la sortie d'expédition sont les suivants [7].

- Le pH
- La turbidité
- La conductivité
- Les solides dissous totaux (TDS)
- Le chlore libre
- Le TA et le TAC (alcalinité)
- Le TH (dureté totale)
- L'indice de saturation de Langelier (LSI)

L'analyse de ces paramètres permet d'évaluer la stabilité chimique de l'eau, de déterminer son caractère corrosif ou entartrant, et de vérifier l'efficacité du processus de reminéralisation [13]. Le suivi de ces paramètres permet également d'ajuster les conditions d'exploitation et d'optimiser la qualité finale de l'eau produite [5].

1. Détermination du pH

Le pH est un paramètre physico-chimique qui permet de mesurer le caractère acide ou basique d'une solution. Il est défini comme le logarithme négatif de l'activité des ions hydrogène (H^+) présents dans l'eau. La mesure du pH est réalisée par une méthode électrométrique à l'aide d'un pH-mètre équipé d'une électrode combinée, sensible à l'activité des ions hydrogène. La procédure expérimentale se déroule comme suit [14] :

- ❖ Mise en marche et étalonnage de l'appareil à l'aide de solutions tampons.
- ❖ Rinçage de la sonde à l'eau distillée.
- ❖ Immersion de l'électrode dans l'échantillon.
- ❖ Légère agitation pour homogénéiser la solution.
- ❖ Lecture de la valeur du pH après stabilisation.

Le pH constitue un paramètre clé pour évaluer la stabilité chimique de l'eau et contrôler l'efficacité du processus de reminéralisation [13].



Figure 17 : PH mètre

2. Détermination de la turbidité

La turbidité est un paramètre physico-chimique qui traduit le degré de trouble de l'eau, dû à la présence de particules en suspension diffusant la lumière. Elle est généralement exprimée en unités néphélométriques (NTU). La mesure de la turbidité est réalisée par une méthode néphélométrique à l'aide d'un turbidimètre, basé sur l'évaluation de l'intensité de la lumière diffusée par les particules présentes dans l'échantillon. La procédure expérimentale se déroule comme suit [14] :

❖ Agiter doucement l'échantillon afin d'homogénéiser la suspension.

❖ Laisser disparaître les bulles d'air pour éviter toute perturbation de la mesure.

❖ Verser l'échantillon dans la cuve de mesure.

❖ Essuyer l'extérieur de la cuve avec un chiffon doux et non pelucheux afin d'éviter toute interférence.

❖ Introduire la cuve dans l'appareil et lire directement la valeur affichée [14].



Figure 18 : turbidimètre

3. Détermination de la conductivité

La conductivité est un paramètre physico-chimique qui traduit la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. Elle dépend directement de la concentration en ions dissous présents dans l'eau. Elle est généralement exprimée en microsiemens par centimètre (µS/cm). La mesure de la conductivité est réalisée à l'aide d'un conductimètre équipé d'une sonde spécifique. La procédure expérimentale se déroule comme suit [14] :

❖ Mise en marche de l'appareil et stabilisation du système.

❖ Rinçage de la sonde à l'eau distillée afin d'éviter toute contamination.

❖ Immersion de la sonde dans l'échantillon.

❖ Lecture directe de la valeur de la conductivité affichée sur l'appareil



Figure 19 : conductimètre

4. Détermination des solides dissous totaux (TDS)

Les solides dissous totaux (TDS) représentent la quantité globale de sels minéraux dissous dans l'eau. Ils sont généralement exprimés en milligrammes par litre (mg/L). La concentration en TDS est estimée indirectement à partir de la conductivité électrique de l'eau, selon une relation empirique [14] . Le calcul est effectué à l'aide de la relation suivante : **TDS = K × Conductivité**

Où K=0,55 est un coefficient empirique pour l'eau traitée. En pratique, ce coefficient est généralement pris égal à 0,7 pour l'eau brute et à 0,55 pour l'eau traitée, avec une variation comprise entre 0,5 et 0,9 selon les caractéristiques de l'eau. Cette relation reste une estimation, car la valeur du coefficient K dépend de la composition ionique de l'eau [13].

5. Détermination de chlore libre

Le chlore libre est un paramètre physico-chimique essentiel permettant d'évaluer l'efficacité de la désinfection finale de l'eau. Il correspond à la fraction de chlore active présente dans l'eau, capable d'éliminer les micro-organismes et de maintenir une protection dans le réseau de distribution [1']. Au niveau de la station de dessalement de Corso, le chlore libre est introduit par injection d'hypochlorite lors de l'étape de post-chloration [9]. La concentration est contrôlée en continu à l'aide d'analyseurs installés en ligne, permettant un suivi en temps réel de la qualité de l'eau. La détermination du chlore libre est réalisée directement par ces capteurs, qui mesurent la concentration en mg/L sans nécessiter de manipulation manuelle. Les valeurs obtenues sont affichées sur le système de contrôle de la station, permettant aux opérateurs d'ajuster automatiquement le dosage en fonction des besoins [1]. Le maintien d'un chlore libre résiduel, généralement compris entre 0,5 et 1 mg/L, est indispensable pour garantir une désinfection efficace et assurer la qualité microbiologique de l'eau avant son expédition vers le réseau de distribution [10].

6. Détermination de l'alcalinité (TAC)

L'alcalinité d'une eau représente sa capacité à neutraliser les acides. Elle est principalement due à la présence des ions bicarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxydes (OH^-). La détermination de l'alcalinité est réalisée par titrage acido-basique à l'aide d'une solution acide, en utilisant des indicateurs colorés spécifiques :

• La phénolphtaléine pour la détermination du titre alcalimétrique (TA), correspondant à un pH d'environ 8,2.

• L'hélianthine (méthylorange) pour la détermination du titre alcalimétrique complet

(TAC), correspondant à un pH d'environ 4,3.

La méthode consiste à titrer l'échantillon jusqu'au changement de couleur de chaque indicateur. Les résultats sont exprimés en mg/L de $CaCO_3$ selon les relations suivantes :

$TAC\ (mg/L\ CaCO_3) = V_1 \times 20$

Où V_1 est le volume total d'acide utilisé jusqu'au virage de méthylorange (jaune orangé au rose) [14].



Figure 20 : Titre alcalimétrique complet (TAC)

7. Dureté totale (TH)

La dureté totale, également appelée titre hydrotimétrique (TH), correspond à la concentration globale des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) présents dans l'eau. Elle est généralement exprimée en mg/L de $CaCO_3$. La détermination de la dureté totale est réalisée par titrage complexométrique à l'EDTA, en présence d'un indicateur coloré, le Noir Ériochrome T. Le principe de la méthode repose sur la complexation des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} par l'EDTA. À l'équivalence, tous les ions sont complexés, ce qui entraîne un changement de couleur de l'indicateur, passant du rouge vineux au bleu. La dureté est ensuite calculée selon la relation suivante : $TH\ (mg/L\ CaCO_3) = V \times 20$

Où V représente le volume d'EDTA utilisé lors du titrage [14].





Figure 21 : Titrage de dureté totale (TH)

8. Dureté calcique

La dureté calcique représente la fraction de la dureté totale attribuée uniquement aux ions calcium (Ca^{2+}). Elle est généralement exprimée en mg/L de $CaCO_3$. La détermination est réalisée par titrage complexométrique à l'EDTA, en présence d'un indicateur spécifique, généralement le murexide, permettant de mettre en évidence uniquement les ions calcium. Le principe repose sur la complexation des ions Ca^{2+} par l'EDTA. À l'équivalence, tous les ions calcium sont complexés, ce qui se traduit par un changement de couleur de l'indicateur, indiquant la fin de la réaction. La concentration en calcium est ensuite déterminée à partir du volume d'EDTA utilisé lors du titrage. [14]

9. Indice de saturation de Langelier (LSI)

L'indice de saturation de Langelier (LSI) est un paramètre fondamental permettant d'évaluer la tendance de l'eau à être entartrante ou corrosive. Il permet d'apprécier la stabilité chimique de l'eau vis-à-vis du carbonate de calcium ($CaCO_3$) [6].

Il est défini par la relation suivante : $LSI = pH - pHs$

Où pHs correspond au pH d'équilibre de saturation, dépendant des caractéristiques physico-chimiques de l'eau, notamment la température, les solides dissous totaux (TDS), la dureté calcique et l'alcalinité [6].

Le pHs est déterminé selon l'expression : $pHs = (9,3 + A + B) - (C + D)$ [6]

Où :

• A : effet des solides dissous totaux (TDS)

• B : effet de la température

• C : effet de la dureté calcique (Ca^{2+})

• D : effet de l'alcalinité (TAC)

L'interprétation de l'indice est la suivante [6]:

- ❖ LSI > 0 : eau entartrante, favorisant la précipitation du $CaCO_3$
- ❖ LSI = 0 : eau à l'équilibre (stabilité chimique)
- ❖ LSI < 0 : eau corrosive

Les paramètres tels que l'alcalinité, la dureté totale, la dureté calcique et l'indice de saturation de Langelier (LSI) sont déterminés une seule fois par jour, généralement à 10h du matin, afin d'évaluer la stabilité chimique de l'eau produite.

Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les matériels et les méthodes utilisés pour le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau produite au niveau de la station de dessalement de Corso. Les différentes étapes de prélèvement, réalisées selon des conditions rigoureuses, garantissent la fiabilité des échantillons analysés. De même, l'identification des points de prélèvement stratégiques permet de suivre l'évolution de la qualité de l'eau tout au long du procédé de traitement. L'étude des paramètres physico-chimiques, tels que le pH, la turbidité, la conductivité, le TDS, le chlore libre, la dureté, l'alcalinité et l'indice de saturation de Langelier, constitue un outil essentiel pour évaluer la performance du processus de reminéralisation et la stabilité chimique de l'eau. Ainsi, l'ensemble des méthodes adoptées permet d'obtenir des résultats fiables et représentatifs, servant de base à l'analyse et à l'interprétation des performances de la station dans le chapitre résultats et discussion.

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

I. Introduction

Après les étapes de dessalement par osmose inverse et de reminéralisation, l'eau produite doit présenter des caractéristiques physico-chimiques stables avant son expédition vers le réseau de distribution. L'objectif de ce chapitre est de présenter et d'analyser les résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur l'eau prélevée à la sortie d'expédition de la station de dessalement de Corso. L'étude porte principalement sur des paramètres essentiels tels que le pH, la turbidité, la conductivité, les solides dissous totaux (TDS), la dureté totale, l'alcalinité et l'indice de saturation de Langelier (LSI). Ces paramètres permettent d'évaluer l'efficacité du processus de reminéralisation ainsi que la stabilité chimique de l'eau produite.

II. Présentation des résultats

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur des échantillons prélevés à la sortie d'expédition, représentant la qualité finale de l'eau produite après les étapes de dessalement, de reminéralisation et de désinfection.

II.1 Évolution du pH

Les résultats des mesures du pH à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (2).

Tableau 2 : Évolution du pH à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

PH	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	8,35	8,39	8,38
04/03/2026	8,32	8,37	8,33
08/03/2026	8,41	8,42	8,38
16/03/2026	8,39	8,48	8,40
17/03/2026	8,44	8,47	8,40
23/03/2026	8,27	8,50	8,67
24/03/2026	8,44	8,48	8,47
30/03/2026	8,48	8,50	8,63
31/03/2026	8,51	8,50	8,44

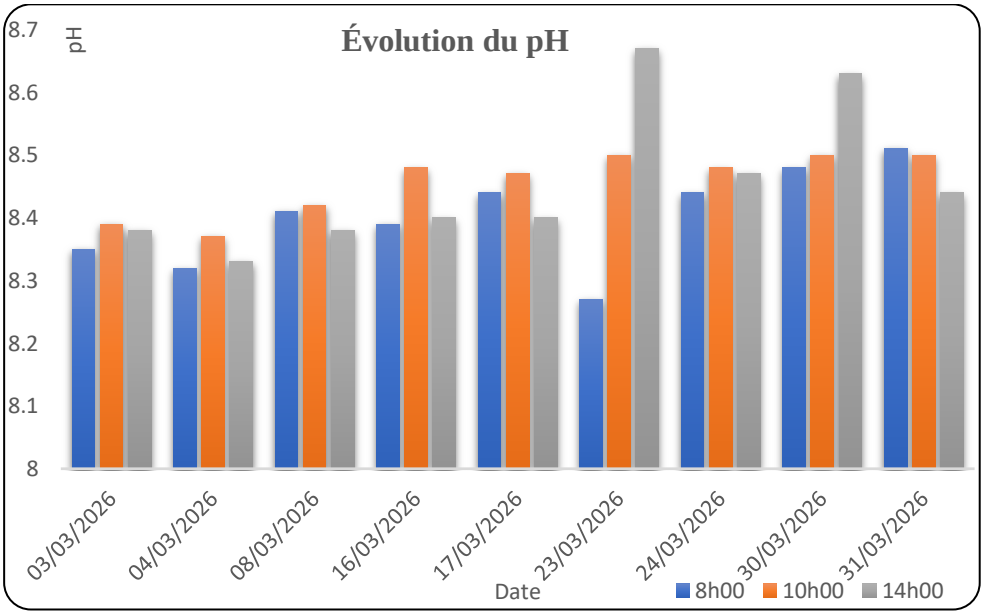

Figure 22 : Évolution du pH à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

Les valeurs du pH varient entre 8,27 et 8,67 durant le mois de mars. Elles se situent globalement dans l'intervalle recommandé (7,5 – 8,5), bien que certaines valeurs dépassent légèrement la limite supérieure. Ce dépassement peut être lié à un excès de reminéralisation ou à un ajustement du pH. Malgré cela, l'eau reste globalement stable et acceptable pour la distribution.

II.2 Évolution de la turbidité

Les résultats des mesures du turbidité à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (3)

Tableau 3 : Évolution de la turbidité à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

La turbidité (NTU)	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	0,77	0,50	0,53
04/03/2026	0,77	0,80	0,50
08/03/2026	0,56	0,55	0,52
16/03/2026	0,48	0,31	0,64
17/03/2026	0,48	0,60	0,75
23/03/2026	0,54	0,44	0,51
24/03/2026	0,39	0,32	0,43
30/03/2026	0,85	0,89	2,05
31/03/2026	1,28	0,85	1,84

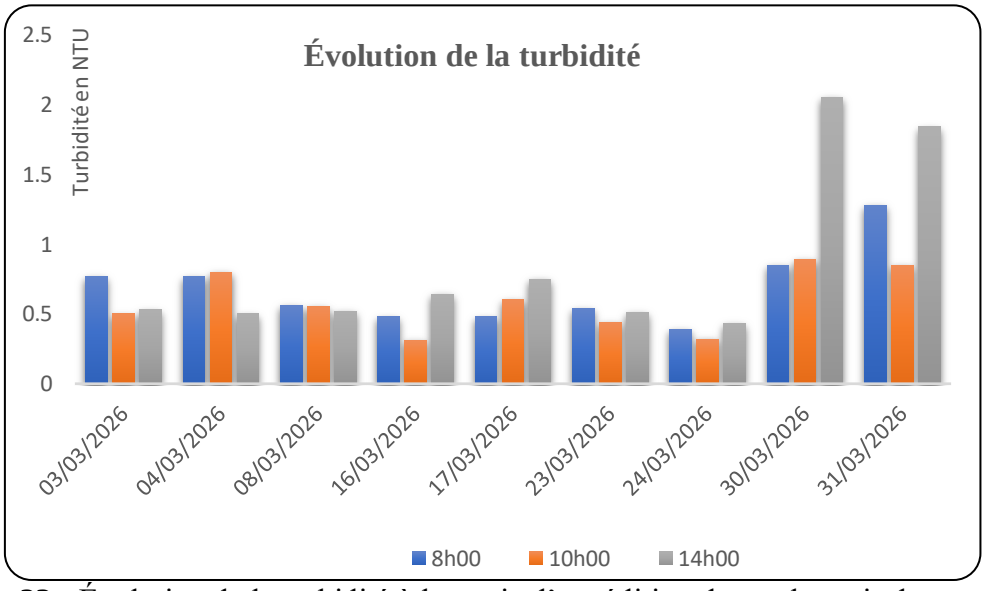

Figure 23 : Évolution de la turbidité à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

La turbidité reste généralement inférieure à la norme fixée à 1 NTU, ce qui indique une bonne qualité de filtration. Toutefois, certaines valeurs dépassent cette limite, notamment en fin de mois. Ces dépassements peuvent être liés à des perturbations ponctuelles du système de filtration.

II.3 Évolution de la conductivité

Les résultats des mesures du conductivité à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (4).

Tableau 4 : Évolution de la conductivité à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

Conductivité (m-µs/cm)	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	441	442	440
04/03/2026	444	436	436
08/03/2026	429	429	425
16/03/2026	431	429	443
17/03/2026	424	428	428
23/03/2026	428	422	425
24/03/2026	428	426	427
30/03/2026	437	457	441
31/03/2026	479	474	485

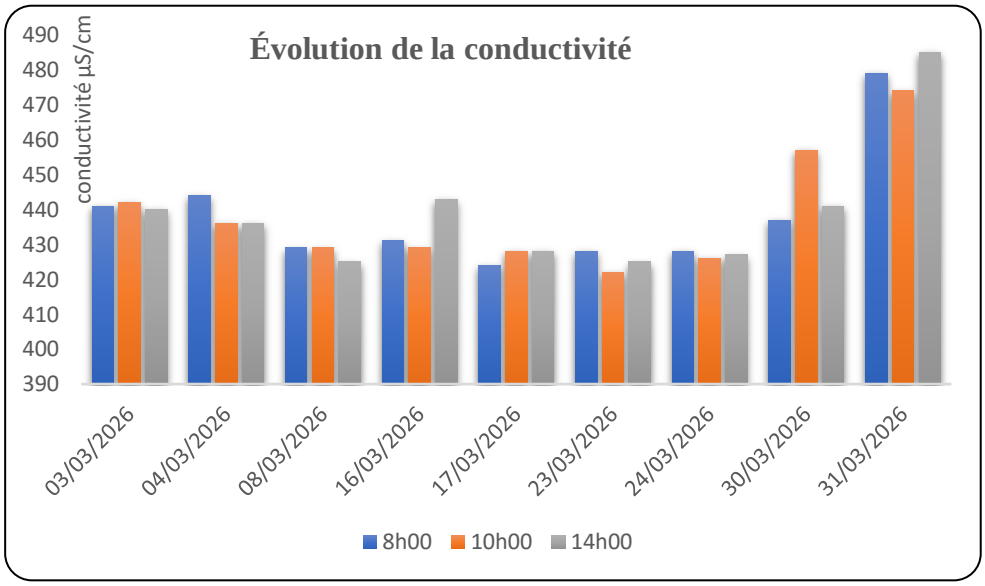

Figure 24 : Évolution de la conductivité à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

La conductivité varie entre 422 et 485 µS/cm, ce qui reste largement inférieur à la norme maximale fixée à 2800 µS/cm. Ces valeurs traduisent une faible concentration en sels dissous, confirmant l'efficacité du procédé d'osmose inverse. Les légères variations observées sont liées aux ajustements de la reminéralisation. Ainsi, toutes les valeurs sont conformes aux normes et indiquent une bonne qualité de l'eau produite.

II. 4 Évolution du TDS

Les résultats des mesures du les solides dissous totaux (TDS) à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (5).

Tableau 5 : Évolution de la TDS à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

TDS (mg/l)	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	242,55	243,10	242
04/03/2026	244,20	239,80	239,80
08/03/2026	235,95	235,95	233,75
16/03/2026	237,05	235,95	243,65
17/03/2026	233,20	235,40	235,40
23/03/2026	235,40	232,10	233,75
24/03/2026	235,40	234,30	234,85
30/03/2026	240,35	251,35	242,55
31/03/2026	263,45	260,70	266,75

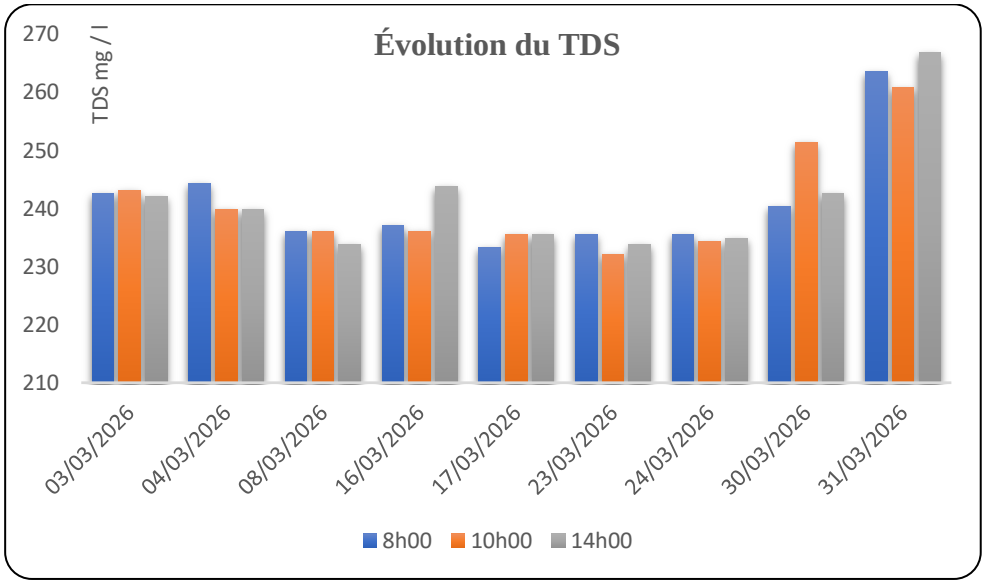

Figure 25 : Évolution du TDS à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

Les valeurs du TDS varient entre 232 et 266 mg/L, restant dans l'intervalle recommandé (150 – 500 mg/L). Cela confirme une faible minéralisation de l'eau après traitement. Les variations observées sont normales et liées à la reminéralisation. Ainsi, toutes les valeurs respectent les normes de potabilité.

II. 5 Évolution du Chlore libre

Les résultats des mesures du Chlore libre à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (6).

Tableau 6 : Évolution du Chlore libre à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

Chlore libre (mg/l)	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	0,9	0,88	0,89
04/03/2026	0,82	0,96	0,97
08/03/2026	0,81	0,88	0,89
16/03/2026	0,80	0,82	0,79
17/03/2026	0,81	0,84	0,84
23/03/2026	0,94	0,84	0,89
24/03/2026	0,90	0,89	0,84
30/03/2026	0,99	0,89	0,94
31/03/2026	0,97	0,74	0,76

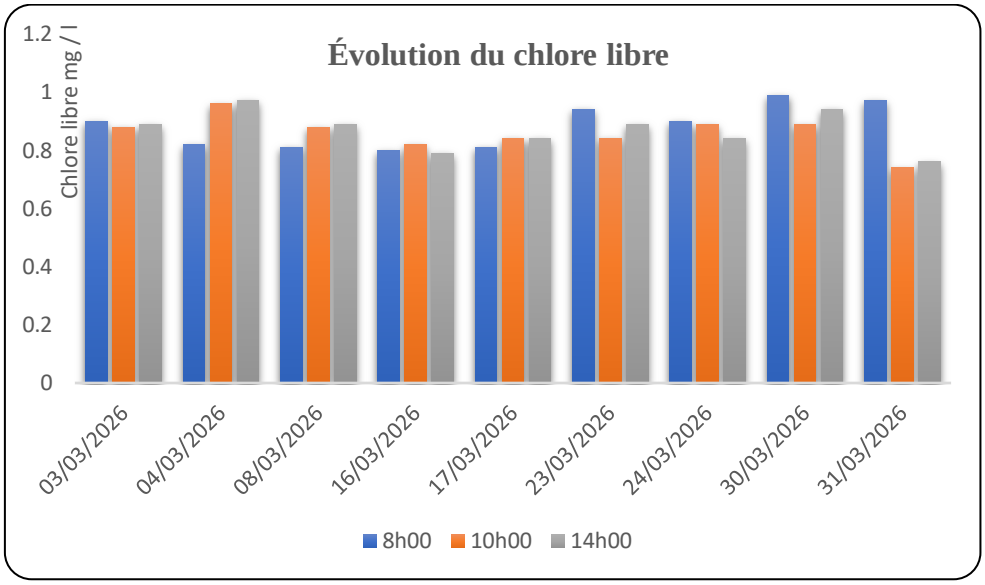

Figure 26 : Évolution du chlore libre à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

La concentration en chlore libre varie entre 0,74 et 0,99 mg/L, ce qui se situe dans l'intervalle recommandé (0,5 – 1 mg/L). Ces valeurs garantissent une désinfection efficace de l'eau. Aucun dépassement de norme n'est observé. Cela confirme le bon fonctionnement du système de post-chloration.

II. 6 Évolution de l'alcalinité

Les résultats des mesures de l'alcalinité à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (7).

Tableau 7 : Évolution de l'alcalinité à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

Alcalinité (mg/l CaCO3)	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	/	78	/
04/03/2026	/	80	/
08/03/2026	/	78	/
16/03/2026	/	70	/
17/03/2026	/	68	/
23/03/2026	/	80	/
24/03/2026	/	78	/
30/03/2026	/	78	/
31/03/2026	/	82	/

Les valeurs de l'alcalinité sont globalement supérieures à 65 mg/L, respectant ainsi la norme recommandée (> 65 mg/L) . Cela indique une bonne capacité tampon de l'eau. Cette alcalinité est due à la dissolution de la calcite lors de la reminéralisation. Ainsi, l'eau présente une bonne stabilité chimique.

II. 7 Évolution du la Dureté totale

Les résultats des mesures du la Dureté totale à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (8).

Tableau 8 : Évolution du la Dureté totale à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

Dureté TH (mg/l CaCO3)	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	/	74	/
04/03/2026	/	74	/
08/03/2026	/	70	/
16/03/2026	/	66	/
17/03/2026	/	66	/
23/03/2026	/	72	/
24/03/2026	/	66	/
30/03/2026	/	70	/
31/03/2026	/	70	/

Les valeurs de la dureté totale varient entre 66 et 74 mg/L. respectant ainsi la norme recommandée (65 – 80 mg/L), ce qui peut indiquer une reminéralisation insuffisante à certains moments. Toutefois, les valeurs restent proches de l'intervalle recommandé. Globalement, la qualité reste acceptable.

II. 8 Évolution du la dureté calcique

Les résultats des mesures du la dureté calcique à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (9).

Tableau 9 : Évolution du la dureté calcique à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

Dureté calcique (mg/l)caco3	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	/	62	/
04/03/2026	/	62	/
08/03/2026	/	62	/
16/03/2026	/	58	/
17/03/2026	/	60	/
23/03/2026	/	60	/
24/03/2026	/	52	/
30/03/2026	/	60	/
31/03/2026	/	58	/

Les valeurs de la dureté calcique varient légèrement durant le mois de mars. Ce paramètre n'est pas comparé à une norme spécifique dans les garanties opérationnelles, mais il permet d'évaluer l'apport en calcium lors de la reminéralisation. Les résultats obtenus traduisent la dissolution de la calcite. Ainsi, la dureté calcique contribue à la stabilité chimique de l'eau produite.

II. 9 Évolution du L'indice de saturation de Langelier (LSI)

Les résultats des mesures du L'indice de saturation de Langelier (LSI) à la sortie d'expédition de la station de Corso sont présentés dans le tableau suivant (9).

Tableau 10 : Évolution du la L'indice de saturation de Langelier (LSI) à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026

LSI	À 8h00	À 10h00	À 14h00
03/03/2026	/	0	/
04/03/2026	/	0	/
08/03/2026	/	0,03	/
16/03/2026	/	0	/
17/03/2026	/	0	/
23/03/2026	/	0,10	/
24/03/2026	/	0	/
30/03/2026	/	0,07	/
31/03/2026	/	0,07	/

Les valeurs du LSI varient entre 0 et 0,10, ce qui reste dans l'intervalle recommandé (0 – 0,4). Cela indique une eau équilibrée, ni corrosive ni entartrante. Aucun dépassement critique n'est observé. Le contrôle du processus de reminéralisation est donc satisfaisant

III. Discussion générale

L'analyse des résultats obtenus à la sortie d'expédition montre que la qualité de l'eau produite par la station de dessalement de Corso est globalement satisfaisante. La majorité des paramètres étudiés respectent les garanties opérationnelles fixées pour l'eau traitée.

Le pH varie entre 8,27 et 8,67. Les valeurs sont généralement comprises dans l'intervalle recommandé de 7,5 à 8,5, avec quelques dépassements ponctuels légèrement supérieurs à la limite maximale. Ces dépassements peuvent être liés à l'ajustement du pH lors de la reminéralisation ou à une variation temporaire du dosage de la soude.

La turbidité reste globalement inférieure à la limite recommandée de 1 NTU, ce qui traduit une bonne efficacité de la filtration. Cependant, certaines valeurs dépassent cette limite en fin de période, notamment à 14 h. Ces dépassements peuvent être dus à une perturbation ponctuelle du système de filtration ou à une variation momentanée de la qualité de l'eau avant expédition.

La conductivité varie entre 422 et 485 µS/cm, restant largement inférieure à la norme maximale fixée à 2800 µS/cm. Ces valeurs indiquent une faible teneur en sels dissous, ce qui confirme l'efficacité du procédé d'osmose inverse. Les légères variations observées sont liées aux ajustements de la reminéralisation. Ainsi, la qualité minérale de l'eau reste stable et conforme aux exigences

Les valeurs du TDS restent comprises entre 232 et 266 mg/L, donc dans la plage recommandée de 150 à 500 mg/L. Cela confirme que l'eau produite présente une minéralisation modérée et adaptée à la distribution. La conductivité suit la même tendance et traduit une qualité minérale globalement stable.

Les valeurs du chlore libre varient entre 0,74 et 0,99 mg/L, respectant la plage recommandée de 0,5 à 1 mg/L. Cela confirme l'efficacité de la post-chloration et garantit une protection microbiologique suffisante avant l'expédition de l'eau.

L'alcalinité reste supérieure à 65 mg/L, ce qui indique une bonne capacité tampon de l'eau. Cette stabilité est liée à la présence de bicarbonates issus de la dissolution de la calcite. Elle contribue à limiter les variations du pH et à améliorer l'équilibre calco-carbonique.

Concernant la dureté totale, certaines valeurs sont légèrement inférieures à la plage recommandée de 65 à 80 mg/L de $CaCO_3$. Cela peut indiquer une reminéralisation légèrement

insuffisante à certains moments. Toutefois, les valeurs restent proches de la norme, ce qui montre que l'apport en calcium reste globalement satisfaisant. La dureté calcique, liée à la dissolution de la calcite, montre également des variations cohérentes avec le processus de reminéralisation. Elle contribue à l'enrichissement de l'eau en calcium et participe à l'amélioration de la stabilité chimique.

Enfin, le LSI varie entre 0 et 0,10, restant dans la plage recommandée de 0 à 0,4. Ces valeurs indiquent que l'eau est globalement équilibrée, avec un faible risque de corrosion ou d'entartrage. Ainsi, malgré quelques dépassements ponctuels du pH et de la turbidité, l'eau produite reste globalement conforme, stable et adaptée à la distribution.

Conclusion

Ce chapitre a permis d'analyser les résultats des paramètres physico-chimiques mesurés à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026, afin d'évaluer la qualité finale de l'eau produite. L'étude des différents paramètres, notamment le pH, la turbidité, la conductivité, le TDS, le chlore libre, l'alcalinité, la dureté et l'indice de Langelier, a montré que la majorité des valeurs obtenues sont conformes aux normes et garanties opérationnelles de la station. Cependant, quelques dépassements ponctuels ont été observés, notamment pour le pH et la turbidité, ainsi que des valeurs légèrement faibles de la dureté totale. Ces écarts restent limités et n'affectent pas de manière significative la qualité globale de l'eau. Ainsi, les résultats confirment que le procédé de traitement, en particulier la reminéralisation et la désinfection, permet d'obtenir une eau stable, équilibrée et adaptée à la distribution.

Conclusion générale

Le présent travail a permis d'étudier le procédé de dessalement spécialement l'étape de la reminéralisation de l'eau de mer par osmose inverse au niveau de la station de Corso, ainsi que le rôle essentiel de la reminéralisation dans l'amélioration de la qualité de l'eau produite. Dans un contexte de stress hydrique croissant, le dessalement constitue une solution stratégique pour assurer l'alimentation en eau potable. Toutefois, l'eau issue de l'osmose inverse, bien qu'elle est très faiblement minéralisée et exempte de la majorité des polluants, présente une instabilité chimique qui nécessite une correction adaptée avant sa distribution. L'analyse du procédé a montré que la reminéralisation, basée sur l'injection de CO_2, la filtration sur calcite, le mélange des flux et l'ajustement du pH, permet d'enrichir l'eau en calcium et en bicarbonates, d'augmenter sa dureté et son alcalinité, et d'assurer son équilibre calco-carbonique. L'étude expérimentale, basée sur les analyses physico-chimiques réalisées à la sortie d'expédition durant le mois de mars 2026, a permis d'évaluer la qualité finale de l'eau. Les résultats obtenus montrent que la majorité des paramètres étudiés, notamment le pH, TDS, la conductivité, l'alcalinité, la dureté totale, le chlore libre et l'indice de Langelier, respectent les normes. Quelques dépassements ponctuels ont été observés, notamment pour le pH et la turbidité. Ces écarts restent limités et peuvent être expliqués par des variations des conditions d'exploitation ou des ajustements du procédé de traitement. Globalement, les résultats confirment que la station de dessalement de Corso assure une production d'eau de bonne qualité, stable, non corrosive et conforme aux exigences de distribution. Le contrôle du LSI, ainsi que l'équilibre entre alcalinité et dureté, témoignent d'une reminéralisation maîtrisée. En perspective, un suivi rigoureux et continu des paramètres clés, ainsi qu'une optimisation des conditions de fonctionnement, permettront d'améliorer davantage les performances du système et de garantir une qualité d'eau constante face aux variations d'exploitation. Ainsi, la reminéralisation apparaît comme une étape indispensable du traitement, assurant la stabilité chimique de l'eau dessalée et sa conformité aux exigences de potabilité.

Références bibliographiques

[1] American Water Works Association, Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water, McGraw-Hill.

[2] Degremont, Mémento technique de l'eau, Lavoisier.

[3] Elimelech M., Phillip W. A., The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment, Science, 2011.

[4] Fritzmann C., Löwenberg J., Wintgens T., Melin T., State-of-the-art of reverse osmosis desalination, Desalination, 2007.

[5] Greenlee L. F., Lawler D. F., Freeman B. D., Marrot B., Moulin P., Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges, Water Research, 2009.

[6] Lahav O., Birnhack L., Quality criteria for desalinated water following post-treatment, Desalination, 2007.

[7] Malouadjmi A., Rapport de stage au sein de la station de dessalement de Corso, ENP Oran, 2025/2026.

[8] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, McGraw-Hill.

[9] Metito & GCB, Description du processus de la station de dessalement SWRO de Corso 80 000 m³/j, Document technique, 2022.

[10] Ministère des Ressources en Eau, Normes algériennes relatives à la qualité de l'eau potable.

[11] Nechaf A., La maintenance des équipements hydromécaniques de la station de dessalement de Corso, Rapport de soutenance, 2024/2025.

[12] Neche D., Benkadi I., Évaluation du système de récupération d'énergie dans la station de dessalement d'eau de mer : CORSO SWRO, Mémoire de Master, USTHB, 2024/2025.

[13] Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Directives de qualité pour l'eau de boisson, 4e édition.

[14] Rodier J., L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer, Dunod.