

Faculty of Sciences and Technology
Département of Process Engineering
Ref :...../U.M/F.S.T/2026

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق
رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت.2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie chimique

THÈME

Etude de l'indice de colmatage (SDI) et son impact sur les
membranes d'osmose inverse dans la station de dessalement de

Présenté par

1- LAKHAL Souhir

Soutenu le 15/06/ 2026 devant le jury composé de :

Présidente :	Dr. Benalioua Bahia	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Dr. Benyekkou Nabila	MCB	Université de Mostaganem
Encadrante :	Dr. Benhouria Assia	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026



Dédicace

Je dédie ce mémoire...

À moi-même,

*À cette personne qui a souvent douté, parfois fatigué,
mais qui n'a jamais abandonné.*

*À mes nuits blanches, à mes moments de faiblesse transformés
en force...*

Aujourd'hui, je suis fière de ne pas avoir renoncé.

À mes très chers parents,

*Aucune dédicace ne pourra exprimer l'immensité de votre amour
et de vos sacrifices.*

*Vous avez été mon refuge dans les tempêtes,
ma lumière dans les moments sombres.*

Si je suis arrivée jusqu'ici, c'est grâce à vous... et pour vous.

À mon encadrante,

Pour votre patience, votre encadrement et votre confiance.

Vous avez été bien plus qu'un guide, une véritable source d'inspiration.

À mes amis,

*Pour chaque mot d'encouragement,
chaque sourire dans les moments de doute.*

Vous avez rendu ce parcours plus léger et plus beau.

Enfin,

À tous ceux qui ont cru en moi, même quand moi je doutais encore...

Ce travail est le vôtre autant que le mien.



Remerciement

Avant tout,

je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, de m'avoir donné la force et la détermination nécessaires pour mener ce travail jusqu'au bout.



Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon encadrante 'Dr. A .Benhouria', MCA, pour son accompagnement rigoureux, sa patience et ses orientations précieuses. Votre confiance m'a permis d'avancer avec assurance et d'évoluer tout au long de ce parcours.



Je remercie également les membres du jury 'Dr. B.Benalioua', MCA, et 'Dr. N.Benyekkou', MCB, pour l'honneur qu'ils me font en évaluant ce travail.

Mes remerciements les plus sincères vont à mes parents, mon pilier, ma force silencieuse.

Merci pour vos sacrifices, vos prières, votre soutien inconditionnel et votre présence dans chaque étape de ma vie.

Ce travail est avant tout le vôtre, je vous en serai éternellement reconnaissante.

À ma famille et à mes amis,

Merci d'avoir été là dans les moments de doute comme dans les moments de fierté.

Votre présence a fait toute la différence.

Enfin, je tiens à remercier toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

Ce travail représente bien plus qu'un simple projet académique...

Il est le reflet d'un parcours, de défis relevés et d'une volonté de ne jamais abandonner.



Sommaire

Sommaire

Liste des figures	9
Liste des tableaux.....	11
Chapitre I	3
I. Partie théorique	4
I.1 Généralités sur l'eau	4
I.1.1 Introduction.....	4
I.1.2 Composition et variabilité de l'eau de mer	4
I.2 Généralités sur le dessalement de l'eau	4
I.2.1 Définition du dessalement.....	4
I.2.2 L'importance du dessalement en Algérie.....	4
I.2.3 Impacts environnementaux du dessalement.....	5
I.2.3.1 Rejet de saumure.....	6
I.2.3.2 Emissions atmosphériques	6
I.2.3.3 Utilisation des produits chimiques.....	6
I.2.4 Les différents procédés de dessalement	7
I.2.4.1 Procédés thermiques	7
I.2.4.2 Procédés membranaires	7
I.2.5 Comparaison entre les procédés de dessalement de l'eau.....	12
I.3 Histoire de la station de dessalement de Mostaganem.....	13
I.4 Situation géographique et topographique de la station	14
I.5 Description et fonctionnement des unités de procès	15
I.5.1 Système de captage et pompage de l'eau de mer.....	16
I.5.2 Système de prétraitement par filtration et microfiltration.....	17
I.5.2.1 Système de filtration	18
I.5.2.2 Système de microfiltration.....	21
I.5.3 Système de déminéralisation de l'eau microfiltrée par osmose inverse	21

I.5.4	Système de reminéralisation et conditionnement de l'eau déminéralisée (osmotique)	24
I.5.4.1	Dosage de dioxyde de carbone	25
I.5.4.2	Lits de calcite	25
I.5.5	Système de stockage et impulsion de l'eau produite	26
Chapitre II		28
II.	Partie expérimentale	27
II.1	Introduction	27
II.2	Prise d'échantillon	27
II.2.1	Matériel nécessaire	27
II.2.2	Procédure de prélèvement	28
II.2.3	Conservation et transport des échantillons	28
II.3	Paramètres mesurés sur site	29
II.3.1	pH de l'eau	29
II.3.1.1	Définition	29
II.3.1.2	Mode opératoire	29
II.3.2	Température	30
II.3.2.1	Définition	30
II.3.3	Conductivité	30
II.3.3.1	Définition	30
II.3.3.2	Mode opératoire	31
II.3.4	Chlore libre	32
II.3.4.1	Définition	32
II.3.4.2	Mode opératoire	32
II.4	Analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire	33
II.4.1	Titre alcalimétrique (TA /TAC)	33
II.4.1.1	Définition	33

II.4.1.2	Mode opératoire.....	34
II.4.1.3	Calculs et résultats	36
II.4.2	La dureté totale	37
II.4.2.1	Définition.....	37
II.4.2.2	Mode opératoire.....	38
II.4.2.3	Calculs et résultats	39
II.4.3	La dureté calcique.....	40
II.4.3.1	Définition.....	40
II.4.3.2	Mode opératoire.....	40
II.4.3.3	Calculs et résultats	41
II.4.4	La turbidité	42
II.4.4.1	Définition.....	42
II.4.4.2	Mode opératoire.....	43
II.4.5	Matières totales dissoutes	46
II.4.5.1	Définition.....	46
II.4.5.2	Mode opératoire.....	46
II.4.5.3	Calculs et résultats	47
II.4.6	L'indice de Langelier	48
II.4.6.1	Définition.....	48
II.4.6.2	Calculs et résultats	48
II.4.7	Silt Density Index	52
II.4.7.1	Définition.....	52
II.4.7.2	Mode opératoire.....	52
II.4.7.3	Calculs et résultats	53
	Conclusion générale.....	59
	Références bibliographiques.....	61

Liste des figures

Liste des figures

Figure I-1 : Les procédés de dessalement.....	7
Figure I-2 : Schéma représente le procédé de dessalement par ED.....	8
Figure I-3 : Schéma représentatif du fonctionnement de la nanofiltration.....	9
Figure I-4 : Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.....	10
Figure I-5 : Les trois flux principaux de l'osmose inverse.....	11
Figure I-6 : Station de dessalement de Sonacter (Mostaganem).	13
Figure I-7 : Situation géographique de la station.	14
Figure I-8 : Schéma fonctionnel de l'usine de dessalement de Mostaganem.....	15
Figure I-9 : Système de captage de l'eau de mer.	16
Figure I-10 : Système de pompage de l'eau de mer.....	17
Figure I-11 : Supervision SCADA du procédé de captage et pompage.	17
Figure I-12 : Supervision SCADA de la 1 ^{ère} étape de filtration.	19
Figure I-13 : Supervision SCADA de la 2 ^{ème} étape de filtration.	20
Figure I-14 : Supervision SCADA de l'étape de microfiltration.	21
Figure I-15 : Supervision SCADA de système d'osmose inverse.	22
Figure I-16 : Châssis d'osmose inverse.	23
Figure I-17 : Supervision SCADA du système de reminéralisation.....	24
Figure II-1 : La méthode de la mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre.....	30
Figure II-2 : Dispositif de mesure de la conductivité.....	32
Figure II-3 : Protocole expérimental pour la détermination du titre alcalimétrique (TA).	35
Figure II-4 : Protocole expérimental pour la détermination du titre alcalimétrique complet (TAC).	36
Figure II-5 : Protocole expérimental pour la détermination de la dureté totale (TH). ..	39
Figure II-6 : Protocole expérimental pour la détermination de la dureté calcique Ca^{2+}	41
Figure II-7 : Principe optique de la mesure de la turbidité.....	42
Figure II-8 : Le dispositif de la mesure du turbidité (Turbidimètre).....	43
Figure II-9 : Protocole expérimentale de mesure des matières totales dissoutes (MTD).	47
Figure II-10 : Fiche d'analyses représente des résultats de mesures de certains paramètres en comparaison avec les valeurs de références demandés par l'OMS.	51

Liste des figures

Figure II-11 : Manomètre utilisé pour la mesure de la pression.	52
Figure II-12 : Illustration de l'évolution de l'état de la membrane avant (a) et après (b) la détermination du Silt Density Index (SDI).....	53
Figure II-13 : Courbe comparative des valeurs du SDI entre le nord et le sud.....	55

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Les grandes unités de dessalement en Algérie.	5
Tableau I-2 : Comparaison entre les procédés de dessalement de l'eau.....	12
Tableau I-3 : Caractéristiques des couches de filtration de 1 ^e étape.	18
Tableau I-4 : Caractéristiques de la couche de filtration de la 2 ^{ème} étape.	20
Tableau I-5 : Caractéristiques de Carbonates de chaux.	25
Tableau II-1 : Résultats de la mesure de la turbidité au point Nord de la station pour le mois de mars.....	44
Tableau II-2 : Résultats de la mesure de la turbidité au point Sud de la station pour le mois de mars.....	45
Tableau II-3 : Paramètres physico-chimiques analysés, méthodes d'analyse et valeurs de références utilisées lors de l'étude.....	50
Tableau II-4 : Résultats de la mesure du SDI selon les différentes étapes de filtration.	54
Tableau II-5 : Résultats du SDI au point Nord de la station pour le mois de mars (filtration 1 ^e étape, filtration 2 ^{ème} étape et microfiltration).....	57
Tableau II-6 : Résultats de la mesure de SDI au point Sud de la station pour le mois de mars (filtration 1 ^e étape, filtration 2 ^{ème} étape et microfiltration).....	58

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est indispensable pour la vie mais sa disponibilité n'est pas assurée partout. La pénurie d'eau se pose et se posera dans de nombreux pays et le monde fait face à une crise de l'eau potable majeure annoncée pour les années 2000-2020. Ce problème s'aggrave à mesure que les villes grandissent, que la population augmente et que l'agriculture, l'industrie et les ménages ont besoin d'eau en quantités toujours plus grandes [1].

L'eau est une ressource très abondante sur la terre, avec un volume total estimé à environ 1380 millions de km³. Cependant, la grande majorité de cette eau est constituée d'eau salée (97,2 %) et de glace (2,15 %), ce qui la rend difficilement exploitable pour les besoins humains. En réalité, seule une très faible proportion, environ (0,07 %) de l'eau totale soit près d'un million de km³ correspond à de l'eau douce facilement accessible, comme celle des lacs, des fleuves et de certaines nappes souterraines. De plus, cette ressource précieuse est répartie de manière très inégale à travers le monde, ce qui pose des défis importants en matière d'approvisionnement en eau [2].

Parmi les pays confrontés à la pénurie d'eau, l'Algérie et plus particulièrement la ville de Mostaganem est fortement touchée. Cette situation s'explique en partie par la position géographique du pays, caractérisée par un climat souvent sec. Elle est également aggravée par le gaspillage de l'eau, dû notamment à la vétusté des réseaux de distribution ainsi qu'au manque de civisme. À cela s'ajoutent les effets du changement climatique, notamment l'augmentation des températures.

Face à ces défis, de nombreux chercheurs à travers le monde développent des techniques de dessalement de plus en plus efficaces, permettant de produire la plus grande quantité d'eau potable possible à un coût réduit. Parmi les procédés actuellement utilisés, l'osmose inverse occupe une place prépondérante grâce à son efficacité dans l'élimination des sels dissous et à ses performances de production.

Toutefois, l'efficacité et la durabilité des systèmes d'osmose inverse dépendent fortement de la qualité de l'eau alimentant les membranes. En effet, la présence de matières en suspension, de particules colloïdales et d'autres contaminants peut entraîner le colmatage des membranes, provoquant une diminution du débit de production, une augmentation de la consommation énergétique ainsi qu'une réduction de leur durée de vie. Afin de limiter ces phénomènes, il est

indispensable d'évaluer le potentiel de colmatage de l'eau avant son passage à travers les membranes.

Dans ce contexte, l'indice de colmatage SDI (Silt Density Index) constitue l'un des paramètres les plus utilisés pour apprécier la qualité de l'eau destinée à alimenter les unités d'osmose inverse. Cet indice permet d'estimer la tendance de l'eau à provoquer un encrassement des membranes et représente ainsi un outil essentiel pour le suivi des performances du prétraitement et la protection des installations de dessalement.

Le présent travail porte sur l'étude de l'indice de colmatage SDI et son impact sur les membranes d'osmose inverse au niveau de la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem. L'objectif principal est d'évaluer la qualité de l'eau alimentant les membranes à travers la mesure du SDI et l'analyse de différents paramètres physico-chimiques, afin d'apprécier le risque de colmatage et son influence sur le fonctionnement du procédé.

Ce mémoire est structuré en deux chapitres. Le premier chapitre présente des généralités sur l'eau, le dessalement de l'eau de mer ainsi que la station de dessalement de Mostaganem et son fonctionnement. Le second chapitre est consacré à la partie expérimentale, comprenant la procédure de prélèvement des échantillons, les analyses réalisées sur site et au laboratoire, la méthodologie de détermination du SDI, ainsi que la présentation, l'interprétation et la discussion des résultats obtenus. Enfin, une conclusion générale synthétise les principaux résultats de cette étude.

Chapitre I

I. Partie théorique

I.1 Généralités sur l'eau

I.1.1 Introduction

L'eau est un composé pure chimique ubiquitaire sur terre, Il se trouve généralement à l'état liquide notamment un solvant très efficace sa formule est H_2O , il est un corps très essentiel pour tous les organismes vivants. On trouve 70% d'eau seulement sur le corps humain.

I.1.2 Composition et variabilité de l'eau de mer

L'eau de mer renferme en moyenne 35 g/L de sels, principalement des chlorures de sodium (76%) et de magnésium (11%), des sulfates de magnésium (5%), de calcium (3,5%) et de potassium (2,4%). Ces sels se présentent sous forme d'anions (chlorures et sulfates) associés à des cations (sodium, magnésium, calcium et potassium) [3].

La salinité de l'eau de mer n'est pas uniforme : elle est plus élevée dans les zones maritimes chaudes et semi-fermées, variant de 36 à 39 g/L en Méditerranée, à l'inverse, elle est plus faible dans les mers froides recevant d'importants apports fluviaux, comme en mer Baltique où elle atteint environ 7 g/L [4].

I.2 Généralités sur le dessalement de l'eau

I.2.1 Définition du dessalement

Le dessalement de l'eau, appelé également désalinisation ou parfois dessalage, désigne le procédé visant à convertir l'eau salée ou saumâtre en eau douce et potable. Ce processus peut s'appliquer à diverses sources d'eau salée, notamment l'eau de mer, les eaux souterraines saumâtres et les eaux usées épurées [5].

I.2.2 L'importance du dessalement en Algérie

L'Algérie a fait face à un stress hydrique majeur, notamment durant les années 1990, ce qui a nécessité la recherche de ressources en eau non conventionnelles face à cette situation, les pouvoirs publics ont mis en place un programme d'urgence visant à sécuriser l'alimentation en eau potable, particulièrement dans les zones côtières, via dessalement de l'eau de mer [6].

Dans ce contexte, le pays a développé plusieurs stations de dessalement, atteignant une capacité de production d'environ 1,5 million de m^3 /jour [7], réparties sur différentes régions du territoire national [6]. Afin de répondre à la demande croissante en eau potable, l'Algérie

poursuit une politique d'expansion de ses infrastructures de dessalement. Cette stratégie vise à augmenter la capacité de production et à renforcer la sécurité hydrique du pays, avec un objectif de production de 1,3 milliard de m³ d'eau dessalée à l'horizon 2024. Par ailleurs, le nombre de stations devrait ainsi passer à 19 unités, permettant une augmentation significative de la production journalière [8].

Tableau I-1 : Les grandes unités de dessalement en Algérie.

N°	Localisation	Capacité m³/J	Population à servir
1	Mactaa (Oran)	500 000	1 333 320
2	Mostaganem	200 000	1 333 320
3	BeniSaf A. Temouchent	200 000	1 333 320
4	Souk Tleta (Tlemcen)	200 000	1 333 320
5	Honaine (Tlemcen)	200 000	1 333 320
6	Ténès	200 000	999 990
7	Hamma (Alger)	200 000	-
8	Douaouda (Alger Ouest)	120 000	666 660
9	Cap Djenet (Alger Est)	100 000	666 660
10	Skikda	100 000	666 660
11	Oued Sebt (Tipaza)	100 000	-
12	Kahrama (Arzew)	90 000	540 000
13	El Taref	50 000	-

I.2.3 Impacts environnementaux du dessalement

Bien que le dessalement constitue une solution stratégique pour sécuriser l'alimentation en eau potable face au stress hydrique pour répondre à la demande croissante et résoudre les problèmes de pénurie d'eau, il est important de reconnaître les impacts environnementaux négatifs associés à cette technologie qui concernent principalement les milieux marins, l'atmosphère ainsi que l'usage des produits chimiques dans certaines opérations.

I.2.3.1 Rejet de saumure

L'impact le plus significatif du dessalement est lié à la production et au rejet de saumure concentrée. Ce rejet salin issu du processus de dessalement, entraîne une augmentation locale de la salinité et parfois de la température des eaux marines, ce qui peut affecter la faune et la flore aquatiques et provoquer un déséquilibre écologique dans les zones réceptrices [9].

En fonction des volumes rejetés, des conditions de dispersion et de l'infiltration éventuelle dans les sols, les saumures peuvent également contribuer à la salinisation des terres agricoles et des ressources en eau souterraine en cas de mauvaise gestion des rejets. Cette perturbation a des conséquences directes sur la biodiversité, la qualité des sols et des écosystèmes environnants, nécessitant une gestion adaptée pour limiter les effets négatifs du dessalement [10].

I.2.3.2 Emissions atmosphériques

Les usines de dessalement, qui utilisent majoritairement des énergies fossiles tels que le gaz et le pétrole génèrent des émissions de gaz à effet de serre en produisant d'importantes quantités de CO₂ et d'autres polluants atmosphériques. Ces émissions ont un impact significatif sur le réchauffement climatique mondial, l'Algérie contribuant à hauteur de 0,36 % à ce phénomène [11].

I.2.3.3 Utilisation des produits chimiques

L'opération de prétraitement et de nettoyage des membranes dans les usines de dessalement nécessite l'utilisation de produits chimiques tels que les biocides, les antitartres, les agents antisalissures, etc. Une partie de ces substances peut se concentrer dans la saumure rejetée en mer. Cette saumure chargée chimiquement peut représenter un risque potentiel sur les écosystèmes marins récepteur, et altérer la biodiversité floristique et faunistiques, aux abords des zones de rejet. Et dans certains cas, elle peut affecter les sols et les eaux souterraines surtout lorsque les installations sont implantées à proximité du littoral [10,12, 13].

Alors, bien que cette opération constitue une solution très efficace pour répondre au stress hydrique présent à l'échelle mondiale et en Algérie spécifiquement, elle représente au même temps certains impacts environnementaux qui nécessite une gestion adaptée.

Dès lors, il est important de s'intéresser aux différentes techniques de dessalement de l'eau de mer mises en œuvre afin de mieux comprendre leur fonctionnement et leurs spécificités [14].

I.2.4 Les différents procédés de dessalement

Les techniques de dessalement de l'eau de mer se divisent principalement en deux grandes catégories :

I.2.4.1 Procédés thermiques

Les procédés thermiques sont basés sur le principe de la distillation, qui consiste à chauffer l'eau de mer afin de la transformer en vapeur, puis de la condenser pour obtenir de l'eau douce.

I.2.4.2 Procédés membranaires

Les procédés membranaires sont basés sur l'utilisation de membranes semi-perméables permettant la séparation des sels dissous, parmi ces procédés, l'osmose inverse est la plus utilisée, ce qui en fait l'axe centrale de notre étude [15]. La figure I-1 représente les principales techniques de dessalement de l'eau de mer divisées en procédés thermiques et membranaires.

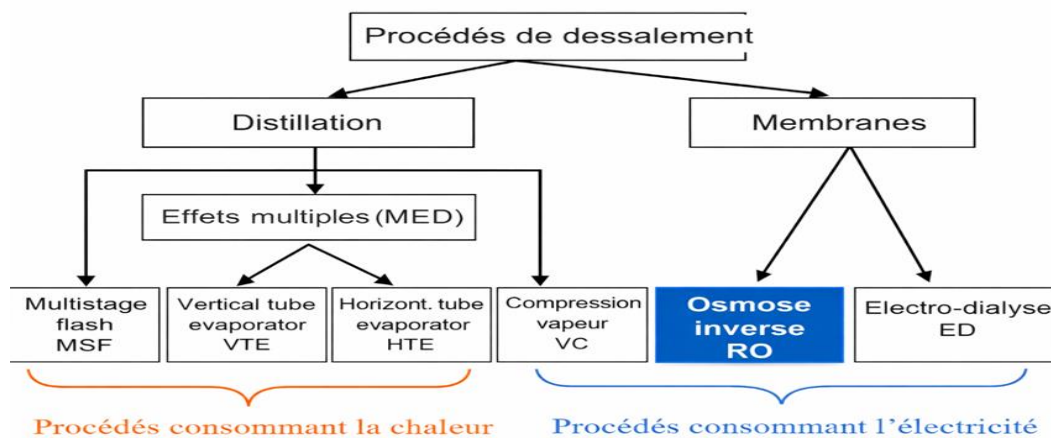


Figure I-1 : Les procédés de dessalement.

[16]

I.2.4.2.1 Dessalement par électrodialyse (ED)

L'électrodialyse est une technique électrochimique développée dans les années 60, qui exploite un courant continu pour séparer les ions à travers des membranes sélectives, permettant ainsi l'élimination du sel d'un flux d'alimentation et sa concentration dans un flux distinct. Ce procédé assure la concentration ou la déminéralisation des solutions ioniques en appliquant un gradient de potentiel électrique entre des électrodes, séparées par des membranes échangeuses

d'anions et de cations. Sous l'effet du champ électrique, les ions migrent sélectivement, s'accumulant dans un compartiment tout en appauvrissant l'autre en sels. Pour une tension de fonctionnement de 500 V aux bornes d'un empilement de membranes, la consommation électrique s'élève à $2,6 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une concentration initiale de $2,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, à $3,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ pour $3,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ et à $5,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ pour $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Bien que moins compétitive en termes de consommation énergétique par rapport à l'osmose inverse, l'électrodialyse est particulièrement adaptée au traitement des eaux saumâtres dont la teneur en sel est inférieure à $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ [16,17].

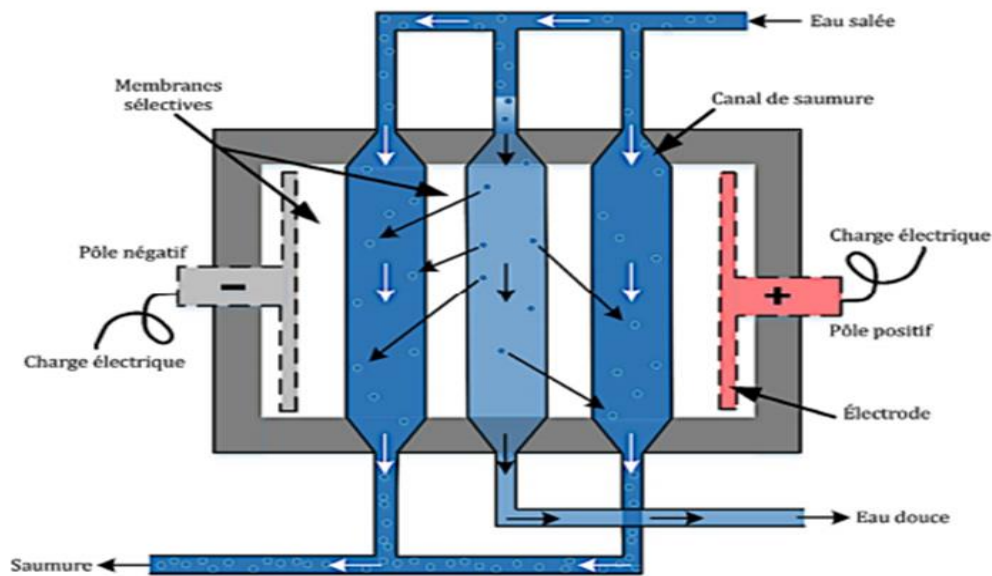


Figure I-2 : Schéma représente le procédé de dessalement par ED.

[19]

I.2.4.2.2 Dessalement par nanofiltration (NF)

La nanofiltration est une méthode de traitement de l'eau qui utilise des membranes semi-perméables pour séparer des substances dissoutes dont la taille est de l'ordre du nanomètre ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Ce procédé est similaire à l'osmose inverse, mais il opère à des pressions plus faibles et est moins restrictif pour certains solutés, notamment les ions monovalents tels que le sodium et le chlorure.

L'eau préalablement traitée est ensuite mise sous pression grâce à des pompes haute pression. Cette eau pressurisée est dirigée vers les modules de nanofiltration où elle traverse les membranes. Au passage, l'eau est divisée en deux flux : le perméat, ou filtrat, qui correspond à

l'eau purifiée ayant traversé la membrane, et le concentrât, ou rétentat, qui regroupe les substances dissoutes retenues par la membrane [20].

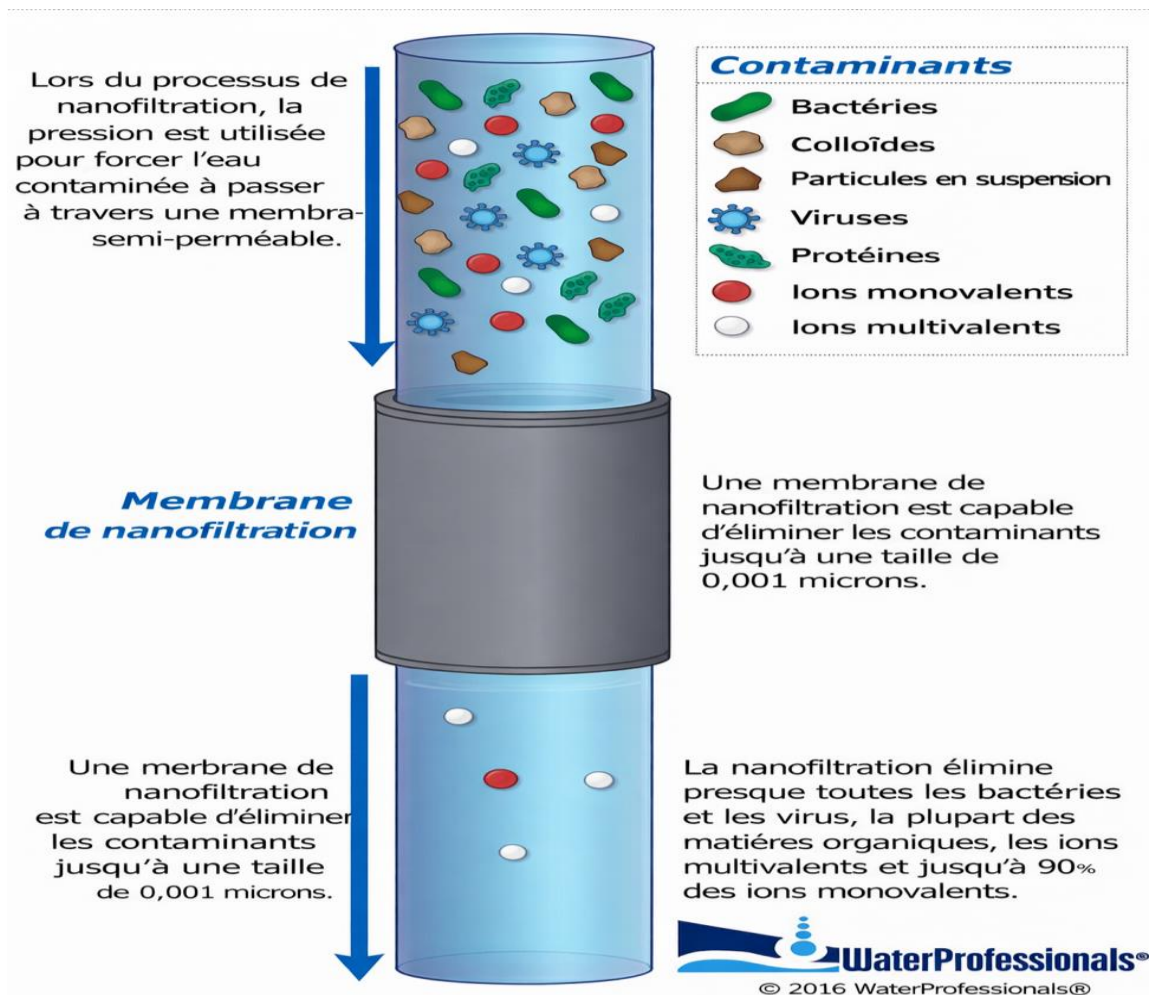


Figure I-3 : Schéma représentatif du fonctionnement de la nanofiltration.

I.2.4.2.3 Dessalement par l'osmose inverse (RO)

I.2.4.2.3.1 Définition de l'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de purification de l'eau basé sur la filtration membranaire sous pression. Il repose sur l'utilisation d'une membrane semi-perméable pour séparer l'eau des sels dissous, des matières organiques ainsi que des micro-organismes tels que les bactéries et les virus [21].

I.2.4.2.3.2 Principe de l'osmose inverse

L'osmose est un phénomène naturel correspondant au transfert de l'eau à travers une membrane semi-perméable depuis une solution diluée vers une solution plus concentrée pour atteindre un état d'équilibre appelé équilibre osmotique. Lorsqu'on sépare deux solutions de

différentes concentrations par une membrane semi-perméable, seul le solvant peut la traverser, ce qui entraîne un déplacement spontané de l'eau jusqu'à l'équilibre. Ce dernier s'établit lorsque la différence de pression entre les deux solutions équivaut à la pression osmotique. Il consiste à inverser ce phénomène naturel se fonctionne lorsqu'on applique une pression supérieure à la pression osmotique sur la solution concentrée. Dans ces conditions appliquées seule l'eau peut traverser la membrane dans le sens inverse, alors elle permette de séparer efficacement des sels dissous et des impuretés [21, 22].

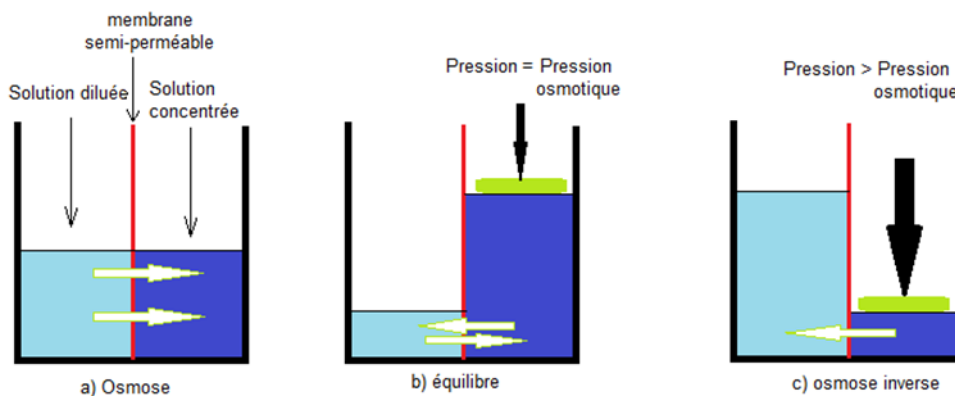


Figure I-4: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse.

[15]

Dans un système d'osmose inverse, on distingue généralement trois principaux flux :

- L'alimentation : eau à traiter.
- Le perméat : eau purifiée.
- Le concentrat : rejet chargé en sels.

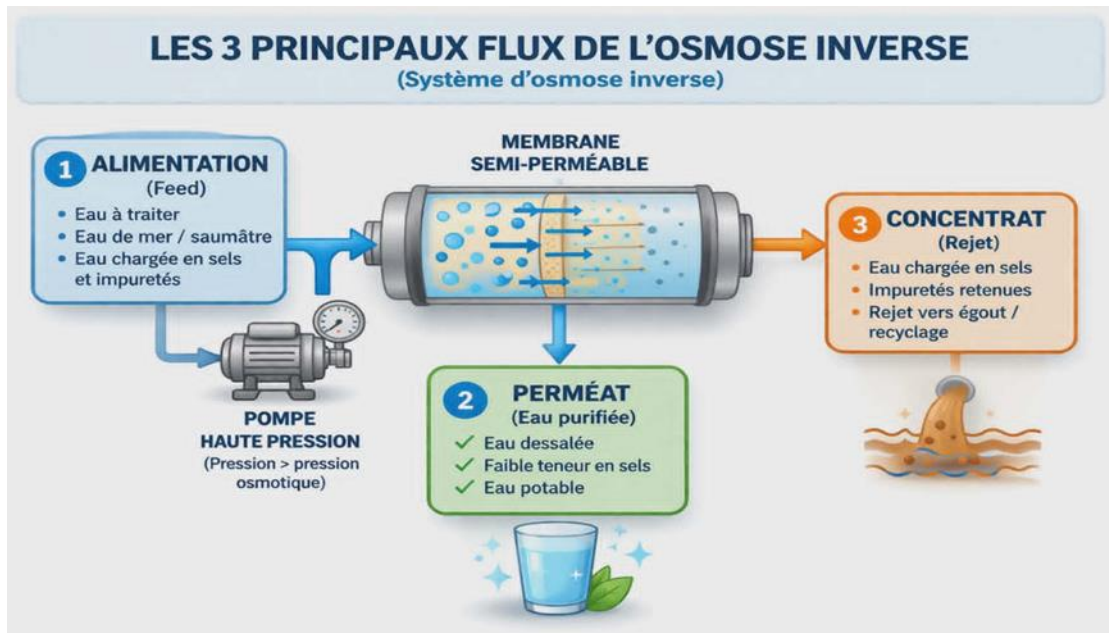


Figure I-5 : Les trois flux principaux de l'osmose inverse.

I.2.5 Comparaison entre les procédés de dessalement de l'eau

Tableau I-2 : Comparaison entre les procédés de dessalement de l'eau.

	Osmose inverse (OI)	Nanofiltration (NF)	Electrodialyse (ED)
Principe	Membrane semi-perméable Pression osmotique	Membrane semi- perméable à porosité contrôlée Gradient de pression	Migration des espèces ioniques sous l'effet d'un champ électrique
Prétraitement de l'eau	Nécessaire	Nécessaire	Nécessaire
Capacité de traitement	Faible à grande	Faible à grande	Faible à grande
Avantages	Purification poussée	Perméabilité de la membranc plus élevée qu'en osmose inverse : flux d'eau traitée 5 fois plus importants. Moins énergétique que l'osmose inverse	Consommation d'énergie électrique directement proportionnelle à la quantité de sel à extraire.
Inconvénients	Eaux agressives et peu minérales : post traitement nécessaire - si production d'eau potable.	Moins sélectif que l'osmose inverse Post-traitement nécessaire	Coût
Autres Informations		Souvent appliqué en amont d'autres techniques (osmose inverse ou MED) pour éviter les phénomènes parasites (entartrage, colmatage).	Développement limité au traitement des eaux saumâtres , Principalement pour des questions de coût.

[24]

Le tableau ci-dessus présente les principales caractéristiques des procédés membranaires de dessalement et de traitement des eaux. Le procédé d'osmose inverse se distingue par sa grande capacité de séparation, qui permet d'éliminer les sels dissous et les polluants d'une façon plus efficace ; c'est pourquoi cette technique est la plus couramment utilisée pour le dessalement

de l'eau de mer. Quant à la nanofiltration, elle se caractérise par une consommation d'énergie moindre et une perméabilité plus élevée, mais son efficacité de rétention est inférieure à celle de l'osmose inverse. Elle est souvent utilisée comme étape préliminaire pour réduire les phénomènes de colmatage et d'entartrage. L'électrodialyse repose sur un principe différent lié au transport d'ions sous l'effet d'un champ électrique. Cette technique convient principalement au traitement des eaux saumâtres, mais son utilisation dans le dessalement de l'eau de mer reste limitée pour des raisons de coût. Par conséquent, le choix du procédé dépend principalement de la qualité de l'eau à purifier, des performances requises, ainsi que des contraintes énergétiques et économiques.

I.3 Histoire de la station de dessalement de Mostaganem

La station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem s'inscrit dans la stratégie nationale de l'Algérie visant à sécuriser l'approvisionnement en eau potable face au stress hydrique croissant [25]. L'idée de développer le dessalement est apparue au début des années 2000, en raison de la diminution des ressources conventionnelles et des sécheresses répétées. Dans ce cadre, Mostaganem, en tant que wilaya côtière, a été sélectionnée pour accueillir une infrastructure stratégique [25].

La première station de dessalement a été mise en service officiellement en 2011 avec une capacité d'environ 200 000 m³/jour afin d'améliorer l'alimentation en eau potable [26]. Avec la croissance démographique et l'augmentation de la demande en eau, les autorités ont renforcé cette politique à partir des années 2020. L'objectif principal est de garantir une sécurité hydrique durable et de réduire la dépendance aux ressources naturelles traditionnelles [25].



Figure I-6 : Station de dessalement de Sonactec (Mostaganem).

[27]

Dans ce cadre, GS INIMA et AQUALIA, deux sociétés espagnoles spécialisées dans les technologies avancées de traitement de l'eau, ont partenariat avec l'Union Temporaire des Entreprises Opération & Maintenance Mostaganem (UTE O&M MTM) pour construire une station de dessalement en 2005, située à Sonacter dans la ville de Mostaganem [28].

I.4 Situation géographique et topographique de la station

La station de dessalement d'eau de mer de Sonatrach (SONACTER) est située dans la wilaya de Mostaganem, à environ 12 km à l'est du chef-lieu, au niveau de la plage de l'oued Chélif. Cette localisation sur le littoral méditerranéen permet un accès direct à l'eau de mer, ressource essentielle au fonctionnement de la station.

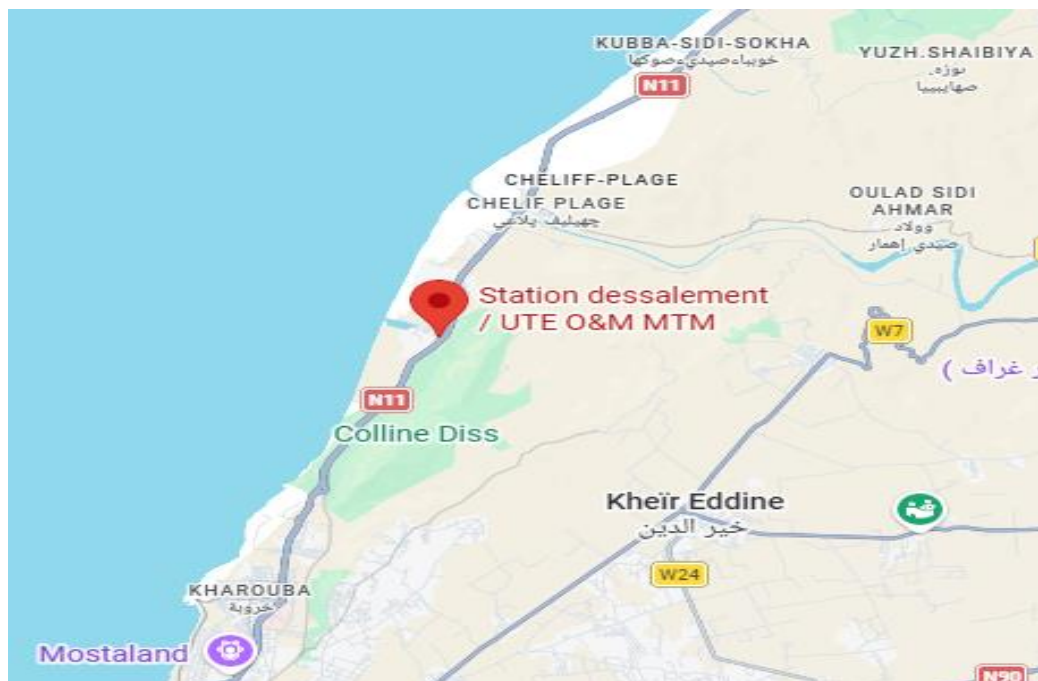


Figure I-7 : Situation géographique de la station.

Du point de vue topographique, le site est implanté sur un terrain relevant du domaine public, caractérisé par une faible altitude et une proximité immédiate du rivage. Ces conditions facilitent les opérations de captage de l'eau de mer ainsi que le rejet des eaux traitées, tout en offrant un cadre favorable à l'installation des infrastructures hydrauliques et industrielles [29].

Par ailleurs, la station bénéficie d'une position stratégique permettant d'assurer l'alimentation en eau potable d'une grande partie de la population de la wilaya de Mostaganem [30].

I.5 Description et fonctionnement des unités de procès

Le projet de la station de dessalement d'eau de mer de Mostaganem s'inscrit dans le vaste programme gouvernemental algérien de construction d'usines de dessalement. L'objectif est double : assurer l'approvisionnement en eau potable et permettre la reconstitution des nappes phréatiques. Le procédé de traitement adopté comprend les étapes suivantes :

- Système de captage et pompage de l'eau de mer.
- Système de prétraitement par filtration et microfiltration.
- Système de déminéralisation de l'eau microfiltrée par osmose inverse.
- Système de reminéralisation et conditionnement de l'eau déminéralisée.
- Système de stockage et impulsion de l'eau produite.

Le procédé d'osmose inverse de la station de Mostaganem est illustré par la figure I-4. Les paramètres opérationnels (énergie, eau brute, produits chimiques, etc.) varient selon le régime de fonctionnement, le mécanisme employé et les dimensions de l'usine. L'exploitation est entièrement automatisée via un ordinateur central et plusieurs automates programmables [28].

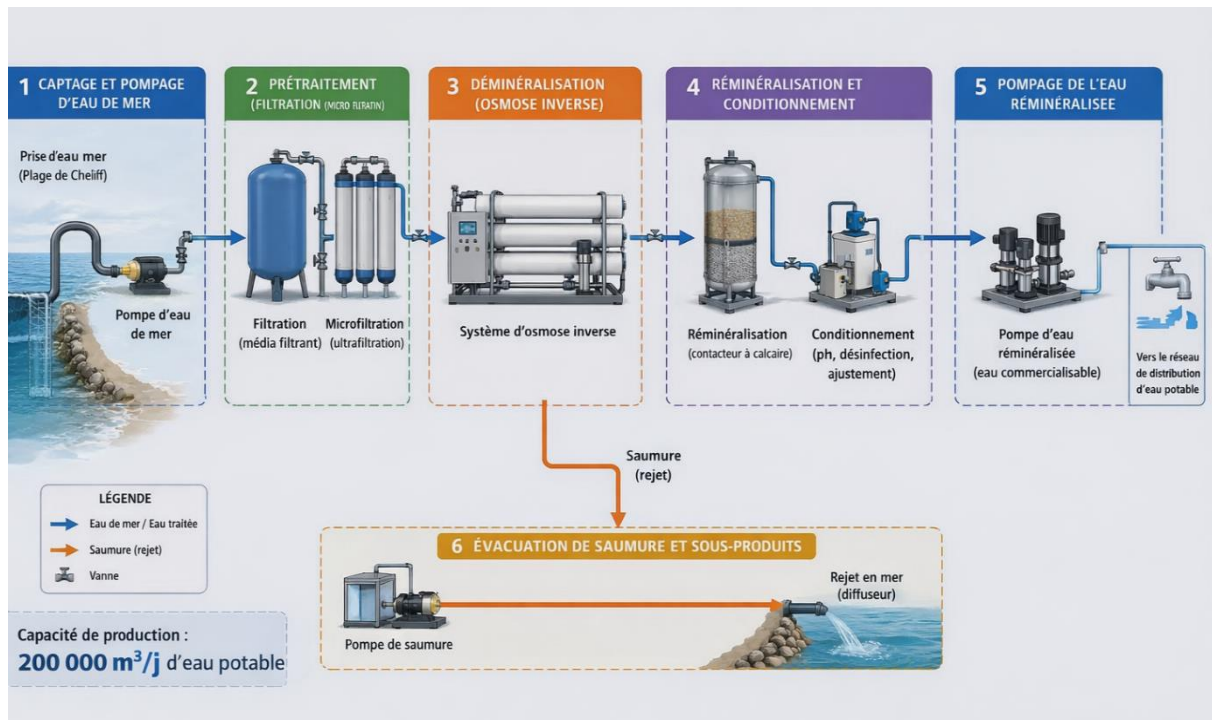


Figure I-8 : Schéma fonctionnel de l'usine de dessalement de Mostaganem.

I.5.1 Système de captage et pompage de l'eau de mer

Le captage de l'eau de mer est assuré par deux tours de prise immergées, reliées à un réservoir de pompage à travers deux conduites en polyéthylène haute densité (PEHD) de diamètre 1800 mm. L'eau y circule avec une vitesse moyenne d'environ 1 m/s. Les prises d'eau sont situées à près de 2500 m du rivage et à une profondeur d'environ 16,5 m [31].

Le niveau d'aspiration des pompes de captage est généralement supérieur au niveau d'eau du réservoir, ce qui nécessite un système d'amorçage destiné à évacuer l'air présent dans les conduites d'aspiration. Ce dispositif est constitué de deux groupes à vide, chacun équipé de deux pompes de 4 kW [31]. Le fonctionnement des pompes est contrôlé automatiquement par un détecteur de vide installé au niveau du réservoir. Lorsqu'une dépression est détectée dans la conduite de raccordement, un signal de démarrage est envoyé afin d'amorcer la pompe concernée. En fonctionnement normal, le système reste à l'arrêt et les vannes demeurent fermées. Une seule pompe peut être amorcée à la fois.



Figure I-9 : Système de captage de l'eau de mer.

Le système de pompage d'eau de mer a pour rôle d'alimenter l'unité de prétraitement avec le débit et la pression nécessaires à la production d'eau potable. Les pompes de captage sont dimensionnées pour assurer un débit de 2380 m³/h sous une pression de 6 à 7 bars. Elles sont équipées de variateurs de fréquence permettant d'ajuster le point de fonctionnement afin de maintenir une pression adéquate à l'aspiration des pompes haute pression utilisées dans le procédé d'osmose inverse [31].



Figure I-10 : Système de pompage de l'eau de mer.

[32]

La pression à l'aspiration des pompes haute pression est maintenue à environ 2,5 bars grâce au système de régulation. Des clapets anti-retours ainsi que des vannes papillon motorisées sont installés sur les conduites de refoulement. Deux pompes de secours sont également prévues et raccordées aux lignes de prétraitement afin d'assurer la continuité du fonctionnement de l'installation.

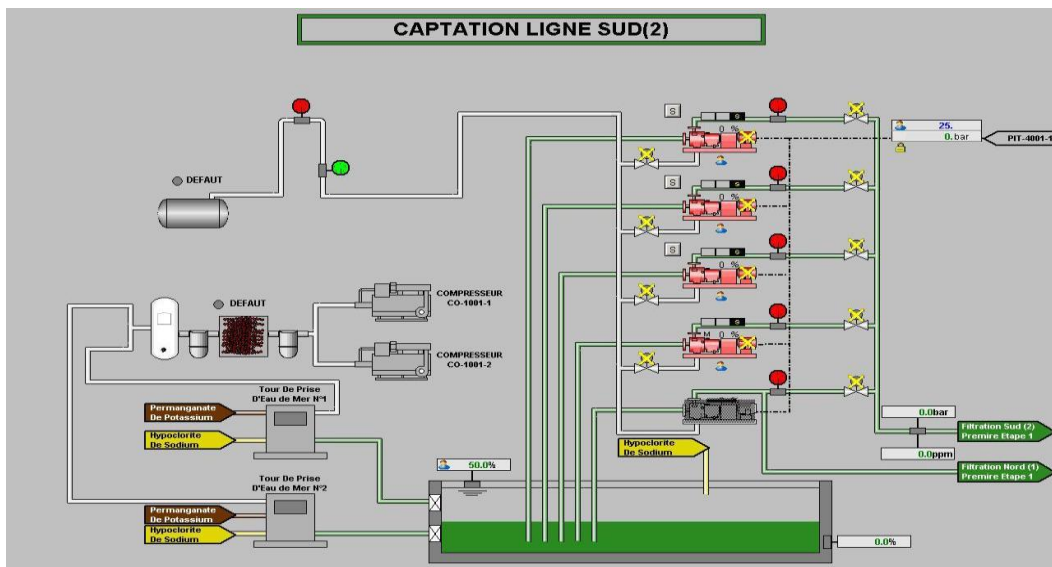


Figure I-11 : Supervision SCADA du procédé de captage et pompage.

[33]

I.5.2 Système de prétraitement par filtration et microfiltration

Le système de prétraitement comprend deux sous-systèmes à savoir un système de filtration et un système de microfiltration :

I.5.2.1 Système de filtration

Ce système joue un rôle essentiel dans l'élimination des floccs issus des matières en suspension présentes dans l'eau de mer. Cette étape permet de limiter l'encrassement des équipements en aval et d'assurer un fonctionnement optimal du procédé d'osmose inverse.

L'installation comporte deux étapes de filtration successive. La première étape repose sur des filtres bicouches composés de sable et d'anthracite, tandis que la seconde utilise des filtres à sable afin d'améliorer la qualité de l'eau traitée. Afin de préserver les membranes d'osmose inverse ainsi que les cartouches de microfiltration, il est nécessaire de maintenir l'indice de densité de colmatage (SDI) à une valeur inférieure à 3 en sortie de filtration et avant l'étape de microfiltration. Lorsque cette condition est déjà satisfaite après la première étape de filtration, la seconde étape peut être temporairement mise hors service par contournement (bypass)[34] .

I.5.2.1.1 Filtration de la 1^{ère} étape

La première étape de filtration de la station comprend deux lignes de filtration composées de douze (12) filtres horizontaux sous pression. Ces filtres fonctionnent à une vitesse de filtration de 8,45 m/h. Chaque filtre est fabriqué en acier au carbone et revêtu intérieurement d'une couche de caoutchouc naturel de 3 mm d'épaisseur. Il possède une surface moyenne de filtration de 91,39 m², un diamètre de 4,00 m et une longueur totale de 24,04 m [28].

Le nettoyage des filtres est réalisé à l'aide d'air et de saumure provenant du procédé d'osmose inverse. Afin d'assurer une distribution homogène de l'eau et de l'air lors du lavage, des crépines en polypropylène sont installées sur les faux fonds des filtres à raison de 1 m².

Tableau I-3 : Caractéristiques des couches de filtration de 1e étape.

Couche supérieure	
Nature	Anthracite
Granulométrie	0,8-1,6 mm
Coefficient d'uniformité	<1,4
Densité apparente	0,71 t/m ³
Densité réelle	1,4 t/m ³
Haut de couche	0,8 m
Volume par filtre	73,7 m ³

Couche inférieure	
Nature	Sable siliceux
Granulométrie	0,4-0,8 mm
Coefficient d'uniformité	<1,4
Densité apparente	1,5 t/m ³
Densité réelle	2,6 t/m ³
Haut de couche	0,4 m
Volume par filtre	36,67 m ³

[35]

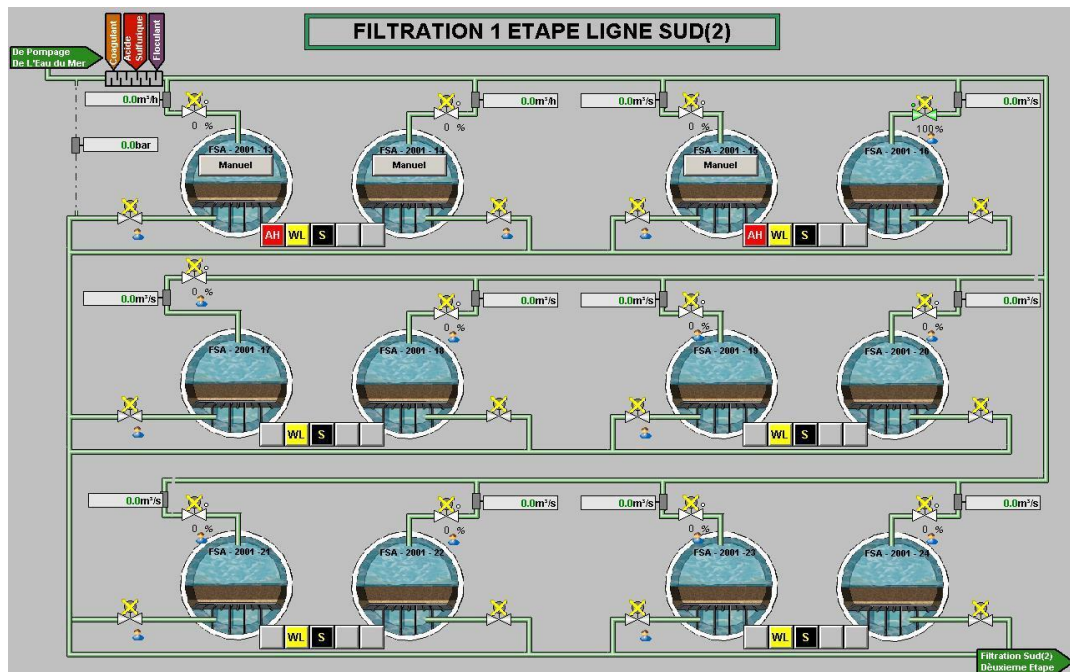


Figure I-12 : Supervision SCADA de la 1^{ère} étape de filtration.

[36]

I.5.2.1.2 Filtration de la 2^{ème} étape

Deux batteries de filtration sont installées, chacune composée de huit (8) filtres horizontaux sous pression. Chaque unité fonctionne à une vitesse de filtration de 12,87 m/h. La surface filtrante moyenne de chaque filtre est de 90,04 m². Les dimensions de ces équipements sont identiques à celles des filtres à sable utilisés dans la première étape. Le média filtrant est constitué de sable propre, homogène et dépourvu d'argile, de poussières et de matières

organiques. Il est également exempt de fer et de manganèse en quantités ou sous formes susceptibles d'altérer la qualité de l'eau traitée.

Tableau I-4 : Caractéristiques de la couche de filtration de la 2^{ème} étape.

Nature	Sable siliceux
Granulométrie	1-2 mm
Coefficient d'uniformité	1,4
Contenu de SiO ₂	96%
Densité apparente	1,5 t/m ³
Densité réelle	2,6 t/m ³
Haut de couche	0,45 m
Volume par filtre	94 m ³

[36]

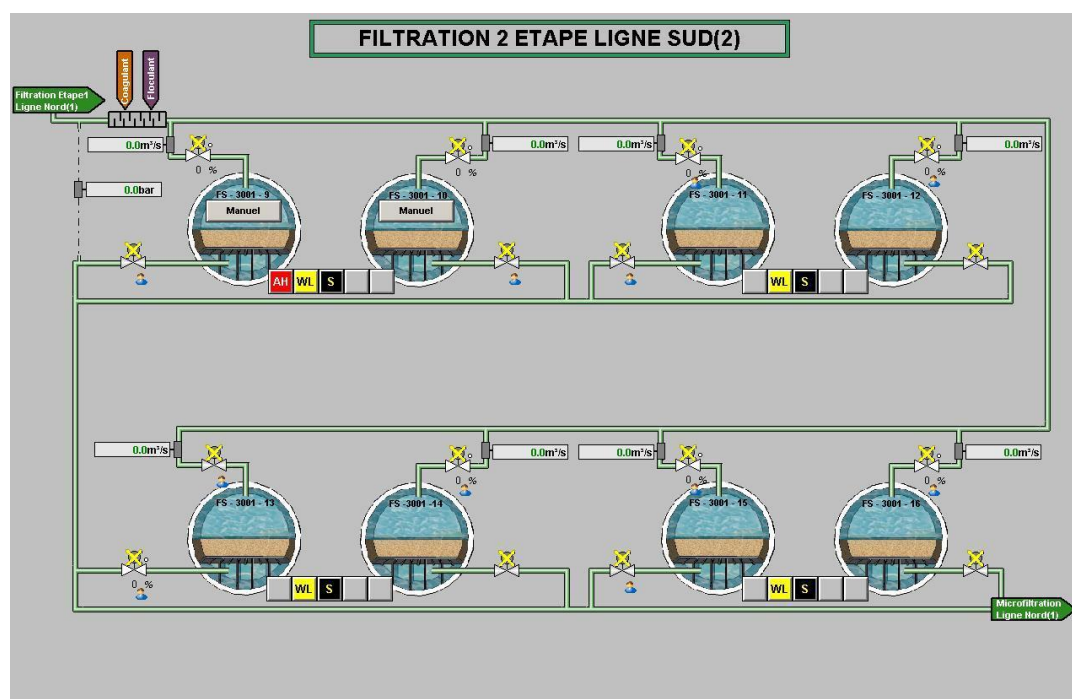


Figure I-13 : Supervision SCADA de la 2^{ème} étape de filtration.

[37]

I.5.2.2 Système de microfiltration

Le système de microfiltration joue un rôle essentiel dans la protection de l'unité d'osmose inverse. Il empêche l'acheminement des particules en suspension non éliminées par les filtres vers les pompes haute pression, afin de préserver les équipements et d'assurer un fonctionnement optimal de l'installation. Cette étape de traitement permet uniquement le passage des particules dont la taille est inférieure à 5 µm.

Chaque filtre est équipé de 360 cartouches installées dans une enveloppe en PRFV (Plastique Renforcé de Fibres de Verre) et fabriquées en polypropylène, avec une longueur de 1250 mm. Lorsque les neuf filtres sont en service, le débit unitaire de chaque cartouche est d'environ 2,85 m³/h. En cas d'arrêt de l'un des filtres pour le remplacement des cartouches, ce débit peut atteindre 3,20 m³/h [38].

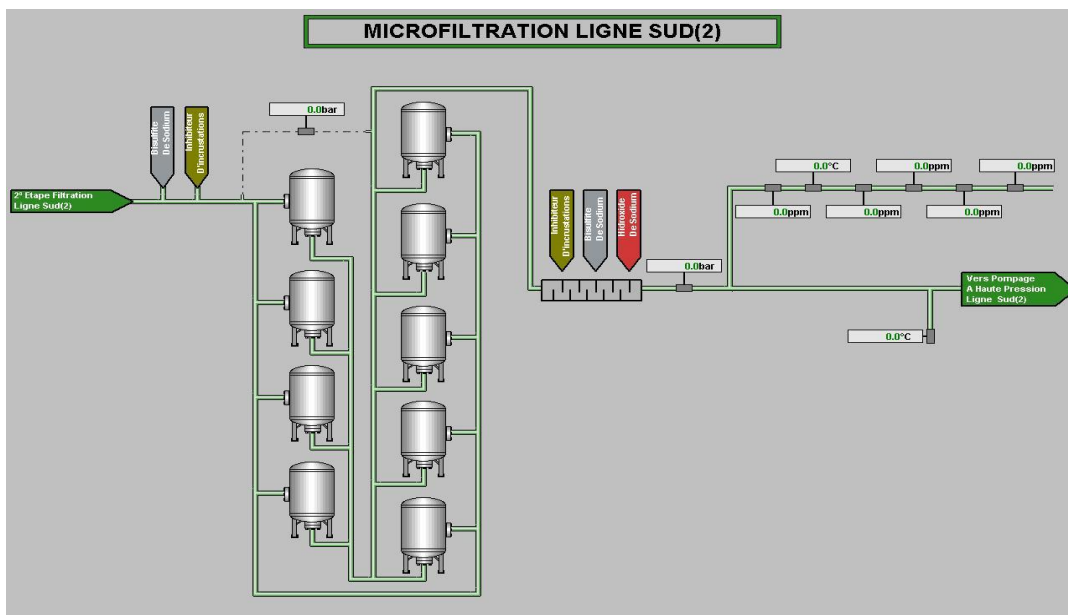


Figure I-14 : Supervision SCADA de l'étape de microfiltration.

[38]

I.5.3 Système de déminéralisation de l'eau microfiltrée par osmose inverse

Le système d'osmose inverse constitue l'élément principal de l'usine de dessalement. Sa fonction consiste à diminuer la concentration en sels dissous présents dans l'eau préalablement microfiltrée afin de produire une eau de qualité conforme aux exigences. Il regroupe plusieurs

systèmes essentiels, notamment le système de pompage haute pression associé à la récupération d'énergie, les châssis d'osmose inverse, ainsi que le système de nettoyage des membranes.

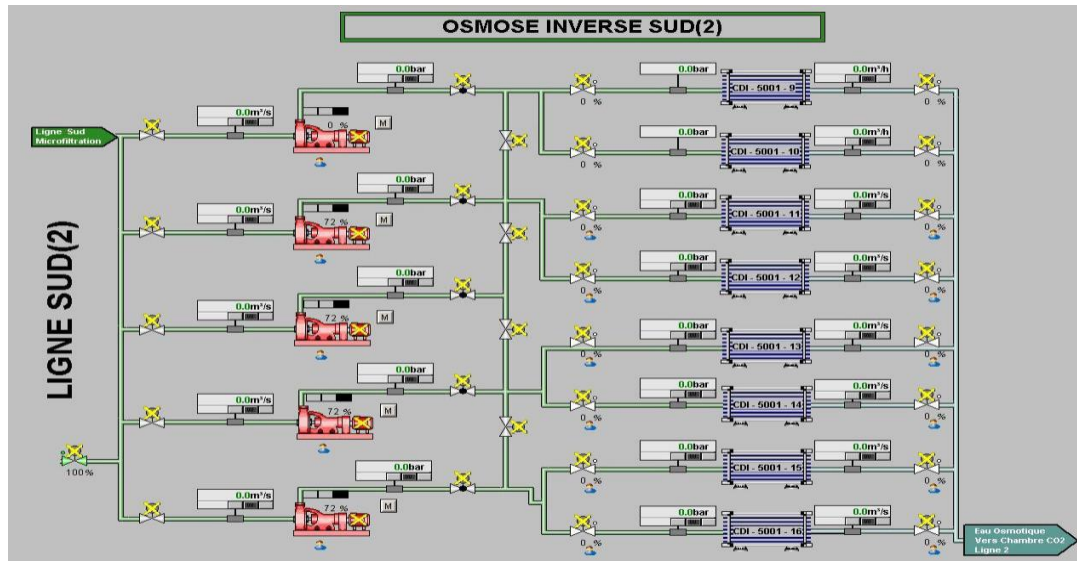


Figure I-15 : Supervision SCADA de système d'osmose inverse.

[39]

I.5.3.1.1 Système de pompage haute pression

Le système de pompage haute pression a pour rôle d'acheminer l'eau microfiltrée vers les châssis d'osmose inverse en lui appliquant une pression suffisante pour surmonter la pression osmotique des membranes et garantir ainsi la production du débit d'eau déminéralisée requis. Environ 65 % du débit total d'eau microfiltrée est directement envoyé vers les pompes haute pression puis vers les châssis d'osmose inverse [40]. Le reste du débit est pressurisé à l'aide d'échangeurs de pression et de pompes boosters afin d'atteindre la pression d'alimentation nécessaire au fonctionnement optimal des membranes [28].

Au niveau des chambres isobariques, l'énergie hydraulique résiduelle contenue dans la saumure est récupérée et transférée à l'eau microfiltrée, permettant ainsi une réduction de la consommation énergétique du procédé. Par la suite, les pompes boosters assurent l'augmentation finale de la pression avant l'alimentation des châssis de membranes d'osmose inverse.

I.5.3.1.2 Châssis d'osmose inverse

Les châssis d'osmose inverse sont équipés de membranes de grande surface de marque FILMTEC, fabriquées en polyamide aromatique et présentant une configuration spiralée. Les membranes sont disposées en série, à raison de sept éléments par tube de pression.



Figure I-16 : Châssis d'osmose inverse.

[41]

Le fonctionnement du système repose sur l'introduction axiale de l'eau brute à l'une des extrémités de la carcasse. L'eau traverse successivement les membranes, permettant ainsi la séparation entre l'eau dessalée et la saumure. L'eau produite est collectée au niveau du tube central situé sur l'axe géométrique de la carcasse, tandis que le rejet issu de chaque membrane alimente l'élément suivant jusqu'au septième module. À la sortie du dernier élément, la saumure concentrée est récupérée puis évacuée vers l'extérieur. Dans des conditions standards de fonctionnement (CSR) et avec des membranes neuves, le taux global de conversion du système atteint environ 45 % [42].

L'alimentation des châssis est contrôlée par des vannes installées au niveau du collecteur commun ainsi qu'à la sortie de la pompe Booster, assurant un mélange adéquat des débits d'entrée et de sortie des membranes. Des clapets anti-retours sont également disposés sur les conduites de refoulement des pompes Booster et haute pression afin d'éviter tout retour du fluide.

Afin d'assurer le suivi et le contrôle du bon fonctionnement des châssis, plusieurs instruments de mesure sont installés. Il s'agit notamment de transmetteurs électriques de pression permettant de mesurer les pressions de fonctionnement et de sortie des membranes, de transmetteurs de conductivité destinés au contrôle de la salinité de l'eau d'alimentation et de

l'eau produite, ainsi que de transmetteurs de pression différentielle servant à évaluer les pertes de charge et le degré d'encrassement des membranes. Le système comprend également des pressostats de sécurité, des manomètres pour la surveillance des différents circuits de pression, ainsi qu'un débitmètre électromagnétique destiné à mesurer le débit de saumure rejetée [43].

I.5.4 Système de reminéralisation et conditionnement de l'eau déminéralisée (osmotique)

À la fin du procédé d'osmose inverse, l'eau produite est soumise à une étape de reminéralisation afin de réduire son caractère agressif et d'atteindre les valeurs requises en termes d'alcalinité, de dureté, de pH, d'indice de Langelier et de MTD (Matières Totales Dissoutes) garantis. L'eau osmotique issue de chaque ligne est acheminée vers le système de reminéralisation par des collecteurs indépendants, chacun transportant le débit correspondant à sa ligne de production, soit 100 000 m³/jour [44].

L'eau est ensuite stockée dans un réservoir de 6 m de hauteur, positionné à une cote permettant son écoulement par gravité à travers des lits de calcite, avant d'être dirigée vers le réservoir d'eau produite. Ce dernier est constitué de deux compartiments assurant l'indépendance des lignes de production jusqu'à l'entrée du réservoir d'eau potable.

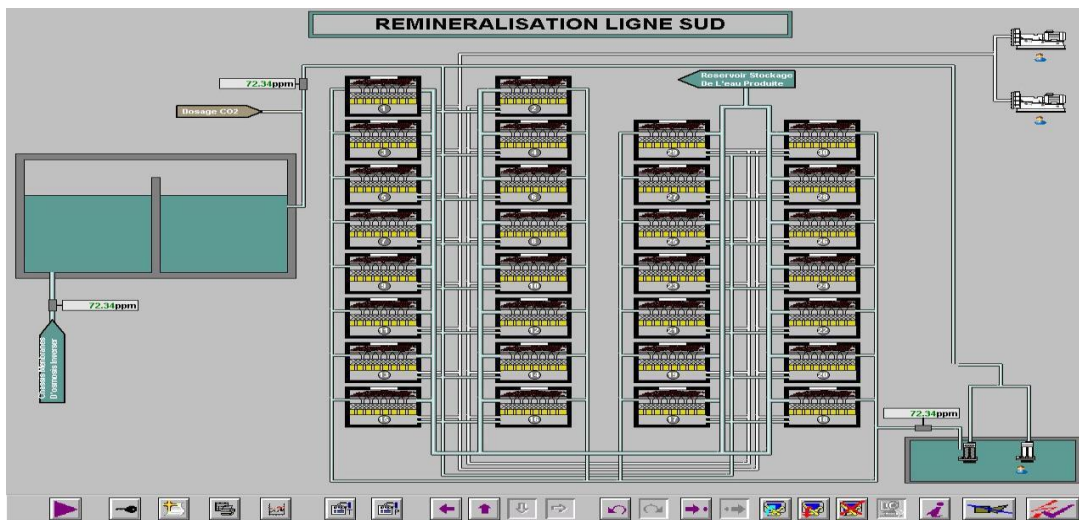


Figure I-17 : Supervision SCADA du système de reminéralisation.

[45]

I.5.4.1 Dosage de dioxyde de carbone

Le CO₂ dissous réagit avec le carbonate de calcium du lit pour former du bicarbonate de calcium soluble, ce qui améliore la dureté et l'alcalinité de l'eau traitée. Le résidu de CO₂ restant en équilibre avec les ions bicarbonates (HCO₃⁻) conditionne le pH final [28,40].

Le CO₂ est stocké à l'état liquide à 20 °C sous une pression de 20,5 kg/cm², puis vaporisé avant son injection dans la conduite de sortie de la chambre d'eau osmotique. Le système comprend deux réservoirs de 50 000 kg chacun et deux panneaux de dosage, un par ligne de 100 000 m³/jour. Le réglage du dosage est assuré par un débitmètre massique installé sur chaque panneau [44].

I.5.4.2 Lits de calcite

Le système de reminéralisation comprend deux ensembles de lits de calcite, chacun composé de 30 cellules d'une surface unitaire de 14 m², ainsi qu'un dispositif d'injection de dioxyde de carbone, ses caractéristiques sont présentées dans le tableau 1-5. Le CO₂ est injecté dans la conduite reliant le réservoir d'eau osmotique aux lits de calcite via un injecteur installé sur cette tuyauterie.

L'eau traverse le lit de calcite de bas en haut par un faux fond, favorisant le contact avec le carbonate de calcium et permettant le rééquilibrage chimique. Un silo de stockage supérieur assure l'alimentation en calcite pour plusieurs semaines, avec une recharge réalisée par pont roulant. L'alimentation en matériau se fait par gravité de manière progressive, sans turbulences, afin de maintenir la hauteur du lit et le temps de contact requis.

L'eau reminéralisée est ensuite évacuée par des ouvertures latérales vers le réservoir de stockage par gravité. La sortie des lits est régulée par des vannes murales permettant l'orientation du flux vers les canalisations de distribution ou vers le réservoir d'eau produite.

Tableau I-5 : Caractéristiques de Carbonates de chaux.

Lits de Calcite	
État physique cristallin	> 99 %
Richesse	> 99,2 %
CaO	55,6

MgO	0,2
Résidus insolubles en HCl	< 0,2
Oxyde de fer	0,05%
Norme applicable de qualité alimentaire	Calcite type EN 1018
% en poids des particules de taille < 1 mm	< 10
% en poids des particules de taille > 4 mm	< 10
% en poids des particules de taille < 0,5 mm	< 1

[45]

I.5.5 Système de stockage et impulsion de l'eau produite

Le système de stockage et d'impulsion de l'eau commercialisable a pour fonction d'assurer le pompage de l'eau produite vers le réseau de distribution, via le réseau de transport d'eau externe géré par l'Algérienne des Eaux. Il comprend principalement un réservoir d'eau reminéralisée, un système de pompage et un regard de livraison [28].

Le réservoir d'eau reminéralisée constitue l'élément principal du système. Il est réalisé en béton armé et présente une capacité de 4 000 m³ [46]. Il est équipé de capteurs et d'instruments de contrôle permettant le suivi des niveaux, ainsi que de transmetteurs de pH assurant le contrôle de la qualité de l'eau stockée.

L'eau commercialisable est ensuite refoulée vers le réseau de distribution par un ensemble de pompes assurant un débit unitaire de 1 150 m³/h sous une hauteur manométrique de 51 m. Le système de pompage est instrumenté par un débitmètre, un analyseur de chlore, un transmetteur de pH, un transmetteur de conductivité ainsi qu'un turbidimètre, garantissant un suivi continu des paramètres de qualité [28].

Le réseau de transport externe assure l'acheminement de l'eau produite depuis l'usine de dessalement de Mostaganem vers les zones de distribution. Il est constitué d'une conduite de refoulement en fonte de DN 1400 d'une longueur de 1 400,693 m, ainsi que d'un réservoir intermédiaire d'une capacité de 2 000 m³ jouant un rôle de régulation hydraulique [28].

Note :

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition (Système de Supervision, de Contrôle et d'Acquisition de Données), permet le suivi de la gestion en temps réel de l'ensemble des procédés et équipements de la station de dessalement.

Chapitre II

II. Partie expérimentale

II.1 Introduction

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'étude expérimentale réalisée au niveau de la station de Mostaganem. Cette démarche repose sur la réalisation de mesures physico-chimiques et analytiques, permettant de caractériser les paramètres influençant la performance du traitement et la qualité de l'eau. Ce travail repose sur des prélèvements effectués à différents points de la station, elle a pour objectif d'analyser les variations de ces paramètres et d'interpréter les résultats obtenus en fonction des conditions de fonctionnement de la station. Ce travail focalisé sur l'analyse du Silt Density Index (SDI) ; l'étude a été réalisée à partir des mesures effectuées au niveau de la station durant la période de stage, les résultats obtenus ont fait l'objet d'une interprétation et d'une discussion approfondies, puis ont été comparés aux résultats de mois de mars données par la station afin d'évaluer leur cohérence et leur signification. Cette démarche a permis de mettre en évidence l'influence du SDI sur le phénomène de colmatage des membranes et, par conséquent, sur la qualité de l'eau produite et distribuée aux consommateurs.

II.2 Prise d'échantillon

La quantité d'échantillon d'eau prélevée a une incidence considérable sur les résultats d'analyse et leur interprétation, qui en dépendent ; ce processus est donc relativement délicat, car il repose essentiellement sur la validité de l'analyse microbiologique et sur les conditions auxquelles l'échantillon est prélevé.

Afin de garantir que les caractéristiques des échantillons prélevés conformément aux présentes instructions ne subissent aucune altération, il convient de décrire la méthode correcte de prélèvement de ces échantillons dans les conditions spécifiques, ainsi que leur conservation et leur transport vers le laboratoire où l'analyse sera effectuée [47].

II.2.1 Matériel nécessaire

- Emballage :

On devra utiliser des emballages en verre ou en plastique parfaitement propres, On recommande l'utilisation de flacons stériles de 500 mL, pour des déterminations spéciales (métaux, hydrocarbures, etc.).

- Glacière portable
- Thermomètre.

II.2.2 Procédure de prélèvement

- On s'assure d'abord de la propreté du point de prélèvement (robinet). En cas de salissure, on procède au nettoyage adéquat de l'orifice.
- On ouvre ensuite le robinet et on laisse couler l'eau à débit élevé pendant 5 à 10 secondes, puis à débit modéré durant 2 à 5 minutes afin d'éliminer l'eau stagnante dans les tuyauteries.
- On déballe les flacons destinés au prélèvement, puis on les rince soigneusement avec l'eau à analyser avant de les remplir jusqu'au niveau requis.
- On homogénéise délicatement l'échantillon par une légère agitation, tout en évitant l'introduction d'air ou la perte du dioxyde de carbone (CO_2), puis on ferme immédiatement les flacons de manière hermétique.
- On identifie chaque échantillon à l'aide d'une étiquette ou d'un registre en mentionnant :
 - Le lieu de prélèvement ;
 - La date et l'heure du prélèvement ;
 - Le type d'analyse à réaliser (optionnel) ;
 - L'identité de la personne ayant effectué le prélèvement ;
 - Les éventuelles observations.
- Enfin, on conserve les échantillons dans une glacière portable afin d'assurer leur transport dans des conditions appropriées jusqu'au laboratoire [47].

II.2.3 Conservation et transport des échantillons

En tous les cas, le délai entre le prélèvement des échantillons et leur remise ne doit pas dépasser 24 heures. Les échantillons dont leur délai de prélèvement soit supérieur à 4 heures doivent être conservés au réfrigérateur jusqu'à leur arrivée au laboratoire et transportés dans des glacières contenant un moyen de réfrigération quelconque [48].

II.3 Paramètres mesurés sur site

II.3.1 pH de l'eau

II.3.1.1 Définition

Le pH est un paramètre permettant de déterminer le caractère acide, neutre ou basique d'eau selon la concentration en ions hydrogènes H^+ , il est défini par la relation :

$$pH = -\log[H^+] \quad (\text{Équation II-1}).$$

Une solution est :

- Neutre si $\rightarrow pH \approx 7$;
- Acide si $\rightarrow pH < 7$;
- Basique si $\rightarrow pH > 7$.

La mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH-mètre muni d'une électrode sensible aux ions H^+ . Le contrôle de pH est essentiel dans le traitement des eaux afin d'assurer l'efficacité des procédés chimiques. Cette analyse peut être effectuée sur différents types d'eaux tels que l'eau de mer, l'eau prétraitée, l'eau produite, le perméat, la saumure et les rejets.

Durant notre stage, la mesure du pH a été effectuée sur l'eau produite [49].

II.3.1.2 Mode opératoire

- ✓ On étalonne le pH-mètre à l'aide de solutions tampons de pH 4 et de pH 7.
- ✓ On rince ensuite l'électrode à l'eau distillée avant de l'introduire dans l'échantillon à analyser.
- ✓ On agite légèrement l'échantillon afin d'assurer son homogénéité, tout en évitant l'incorporation du dioxyde de carbone (CO_2).
- ✓ Après stabilisation de la mesure, on relève la valeur du pH affichée par l'appareil.
- ✓ Il est recommandé d'utiliser un échantillon frais afin de garantir la fiabilité des résultats (voir Figure II.1).

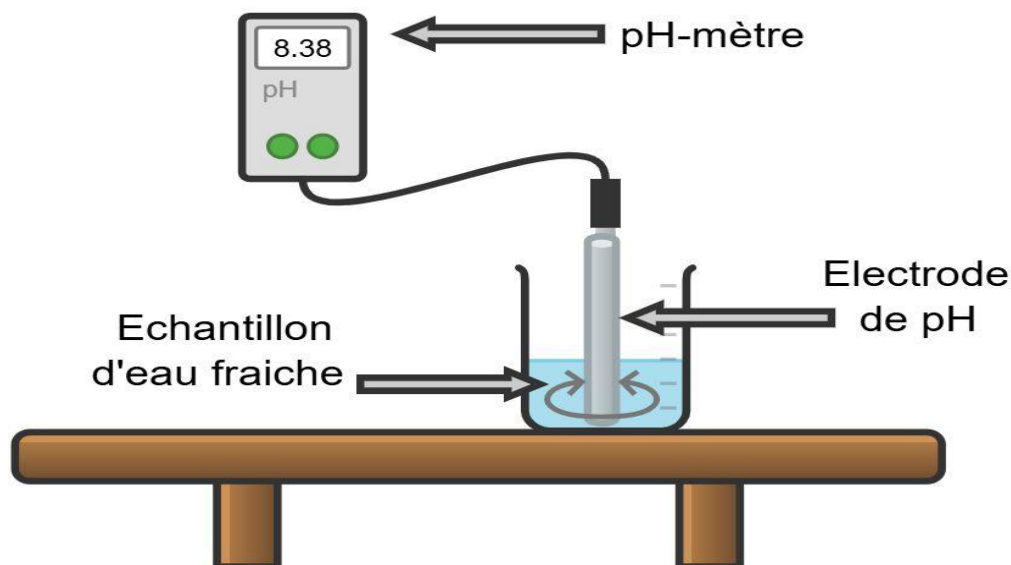


Figure II-1 : La méthode de la mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre.

La valeur du pH mesurée pour l'eau produite est de 8,38 ; Selon l'intervalle recommandé du pH pour l'eau traitée qui est compris entre 7,5 et 8,5 ; notre valeur obtenue est acceptable, ce qui indique que l'eau analysée présente un caractère légèrement basique et conforme aux valeurs de référence (voir Tableau II-3).

II.3.2 Température

II.3.2.1 Définition

La température est un paramètre physico-chimique important influençant la qualité de l'eau ainsi que certains paramètres tels que le pH et la conductivité. Elle est mesurée à l'aide d'un appareil multi-paramètre muni d'une sonde thermique [50].

Durant notre stage, la mesure de la température a été réalisée sur l'eau produite et la valeur obtenue était de $T = 16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; D'après les anciennes mesures enregistrées au laboratoire, les valeurs sont comprises entre $15,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $17,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, et la valeur obtenue lors de notre mesure est donc conforme et reste inférieur à la valeur recommandée pour une eau potable, généralement inférieure à 20°C .

II.3.3 Conductivité

II.3.3.1 Définition

La conductivité est un paramètre physico-chimique mesurée à l'aide d'un conductimètre et exprimé en $\mu\text{S/cm}$, elle permette d'évaluer la minéralisation de l'eau ainsi que la quantité de

sels dissous. Elle dépend de la présence des ions dissous capables de conduire le courant électrique, tels que le sodium[Na⁺], le chlorure[Cl⁻], le calcium [Ca²⁺] et les sulfates[SO₄²⁻]. Plus la concentration en ions est élevée, plus la conductivité augmente.

Cette analyse peut être réalisée sur différents types d'eaux tels que l'eau de mer, l'eau prétraitée, l'eau produite, le perméat et les rejets [51].

Dans notre travail on a mesuré uniquement l'eau produite.

II.3.3.2 Mode opératoire

- ✓ On prélève une quantité représentative de l'échantillon dans un bécher propre ou dans le récipient destiné à l'analyse.
- ✓ Ensuite, on homogénéise doucement la solution par une légère agitation afin d'assurer une bonne répartition des ions, tout en évitant l'absorption du dioxyde de carbone (CO₂).
- ✓ On rince la cellule de conductivité à l'eau distillée, puis on la sèche délicatement à l'aide d'un papier de cellulose.
- ✓ Puis, on immerge la cellule dans l'échantillon à analyser.
- ✓ Après stabilisation de la mesure et obtention d'une valeur constante, on relève et on enregistre la valeur de la conductivité affichée par l'appareil.
- ✓ Après la mesure, on retire la cellule, puis on la rince de nouveau à l'eau distillée avant de la sécher soigneusement.
- ✓ Enfin, on conserve la cellule dans l'eau distillée si d'autres analyses sont prévues (voir Figure II-2).



Figure II-2 : Dispositif de mesure de la conductivité.

Dans notre expérience, lors de la mesure de la conductivité électrique de l'échantillon d'eau produite à l'aide d'un conductimètre, une valeur de $413 \mu\text{S}/\text{cm}$ a été obtenue. Ce résultat indique une minéralisation modérée de l'eau. En comparaison avec les valeurs guides de qualité des eaux potables selon l'OMS, ce résultat reste généralement dans les limites acceptables pour une eau destinée à la consommation, ce qui traduit une teneur en sels dissous maîtrisée (Voir figure II-10).

La conductivité obtenue reflète la présence normale d'ions dissous tels que le sodium $[\text{Na}^+]$, le chlorure $[\text{Cl}^-]$, le calcium $[\text{Ca}^{2+}]$ et les sulfates $[\text{SO}_4^{2-}]$ issus à la fois de la nature de la ressource et des traitements appliqués au niveau de la station.

II.3.4 Chlore libre

II.3.4.1 Définition

Le chlore libre correspond à la fraction de chlore dans l'eau après réaction avec les matières organiques et l'azote présents. Il constitue l'élément actif assurant la désinfection de l'eau et la protection microbiologique du réseau de distribution. Sa concentration résiduelle est généralement maintenue autour de $0,1 \text{ mg}/\text{L}$ dans le réseau [52].

II.3.4.2 Mode opératoire

- ✓ On introduit 10 mL de l'échantillon dans la cellule de mesure.
- ✓ On effectue ensuite la lecture du zéro à l'aide de l'échantillon seul.
- ✓ On ajoute par la suite une pastille de DPD (N, N Diethyl-P-phenylene Diamine) dans la cellule afin de déclencher la réaction.

- ✓ On place ensuite l'échantillon dans l'appareil et on lance le temps de réaction pendant environ 3 minutes.
- ✓ Après stabilisation de la mesure, on relève et on enregistre la valeur du chlore affichée par l'appareil [52].

La mesure du chlore libre n'a pas été effectuée expérimentalement durant notre stage ; la valeur exploitée est 0,31 ppm a été obtenue à partir des analyses réalisées par la station de dessalement. Elle est largement inférieure à la limite de mentionnée ($0,31 \text{ ppm} < 5 \text{ ppm}$) ; ce qui indique une teneur conforme aux normes (Voir Tableau II-3).

Cette concentration assure une désinfection efficace de l'eau tout en restant sans risque pour la qualité organoleptique et la sécurité des usages.

II.4 Analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire

II.4.1 Titre alcalimétrique (TA /TAC)

II.4.1.1 Définition

Le titre alcalin (TA) est un indicateur de l'alcalinité de l'eau, il exprime la quantité d'hydroxydes (OH^-) et une partie des carbonates (CO_3^{2-}) présents dans l'eau comme indiqué dans l'équation (II.1), et donne ainsi une idée partielle de l'alcalinité. Par ailleurs, le titre d'alcalinité complet (TAC) représente l'alcalinité totale de l'eau, puisqu'il mesure la somme des hydroxydes, des carbonates et des bicarbonates (HCO_3^-) comme présenté dans les équations II.2a et II.2b.

$$\text{TA} = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad (\text{Équation II-2})$$

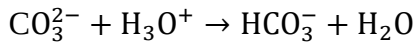
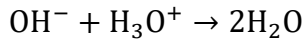
$$\text{TAC} = \text{TA} + [\text{HCO}_3^-] \quad (\text{Équation II-3a})$$

$$\text{TAC} = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] \quad (\text{Equation II-3b})$$

L'alcalinité est mesurée en titrant un volume donné d'eau à l'aide d'une solution diluée d'un acide minéral fort, le point d'équivalence étant déterminé à l'aide d'indicateurs colorés appropriés [53].

Dans ce contexte, on utilise la phénolphthaléine pour mesurer le (TA), dont la couleur passe du rose à l'incolore à un $\text{pH} \approx 8,3$, tandis que le méthylorange est utilisé pour mesurer le (TAC), dont la couleur passe du jaune à l'orange à un $\text{pH} \approx 4,3$; On va donc avoir :

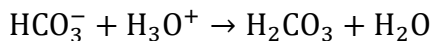
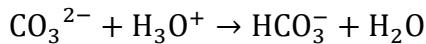
- En présence de phénolphthaléine (TA) :



➤ A ce stade, on dose l'ensemble des ions : OH^- et CO_3^{2-} .

Si $\text{pH} < 8,3$ alors $\text{TA} = 0$ (absence de OH^- et CO_3^{2-})

• En présence de méthylorange (TAC) :



➤ A ce stade on dose l'ensemble des ions : OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- .

Les résultats sont généralement exprimés en mg/L de CaCO_3 , puis convertis en concentrations réelles des ions en suivant ces relations :

$$C = \left[\frac{\text{Alcalinité en } \text{CaCO}_3}{50,044} \right] \times M \quad (\text{Équation II-4})$$

où C présente la concentration massique des ions (mg/L) et M la masse molaire (g/mol) et 50,044 présente la masse équivalente du CaCO_3 exprimé en (mg/meq) [53].

II.4.1.2 Mode opératoire

Pour déterminer le titre alcalimétrique on suit cette procédure :

- ✓ On introduit un volume de 50 mL de l'échantillon d'eau dans un erlenmeyer de 250 mL.
- ✓ On ajoute ensuite 1 à 2 gouttes de Phénolphthaléine, l'apparition d'une coloration rose indique la présence d'alcalinité partielle.
- ✓ On titre la solution à l'aide d'une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) de normalité 0,01N jusqu'à disparition de la coloration rose, correspondant au point d'équivalence.
- ✓ En absence de coloration, le (TA) est considéré nul, cela indique que le pH de l'échantillon est inférieur à 8,3 ; ce qui traduit l'absence d'hydroxyde (OH^-) et de carbonates (CO_3^{2-}), l'alcalinité éventuelle est alors due uniquement à la présence d'hydrogénocarbonates (HCO_3^-).
- ✓ On note V_1 , le volume d'acide utilisé lors du titrage est exprimé en (mL).

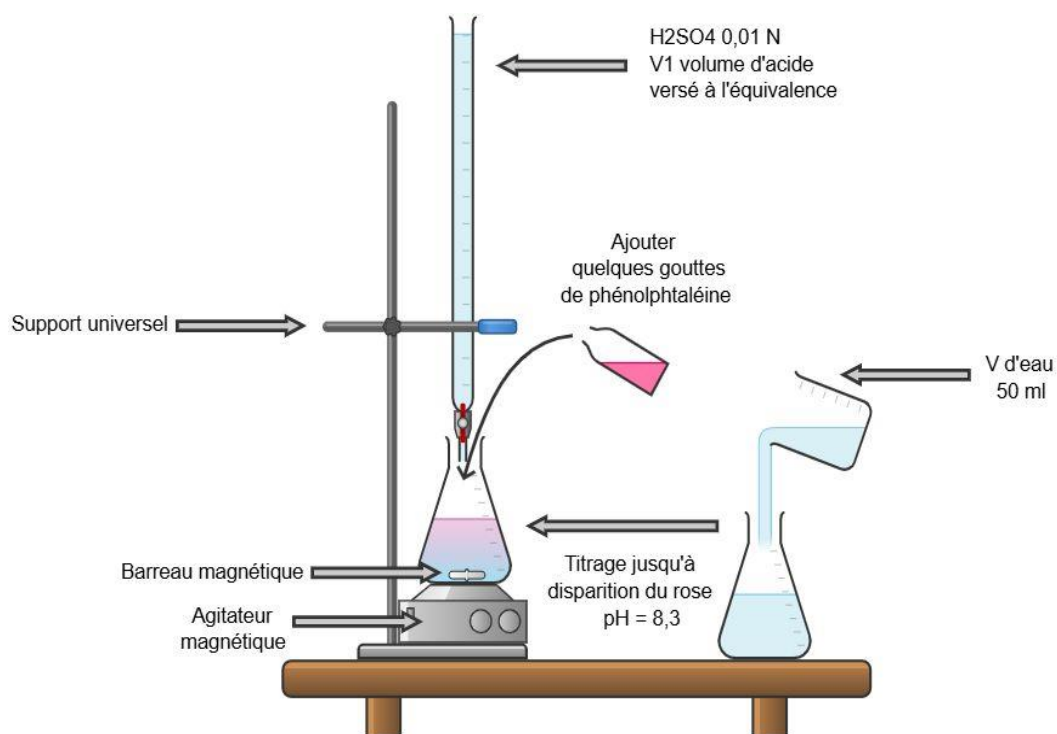


Figure II-3 : Protocole expérimental pour la détermination du titre alcalimétrique (TA).

Pour déterminer le titre alcalimétrique complet on suit cette procédure :

- ✓ On passe à cette étape en utilisant l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas de coloration.
- ✓ On complète ensuite par l'ajout de 2 gouttes de méthylorange à la solution.
- ✓ Puis, on poursuit le titrage à l'aide de la même solution acide jusqu'au changement de coloration du jaune vers jaune-orangé, correspondant à un pH d'environ 4,3.
- ✓ On note V_2 , le volume d'acide consommé au point d'équivalence est exprimé en (mL).

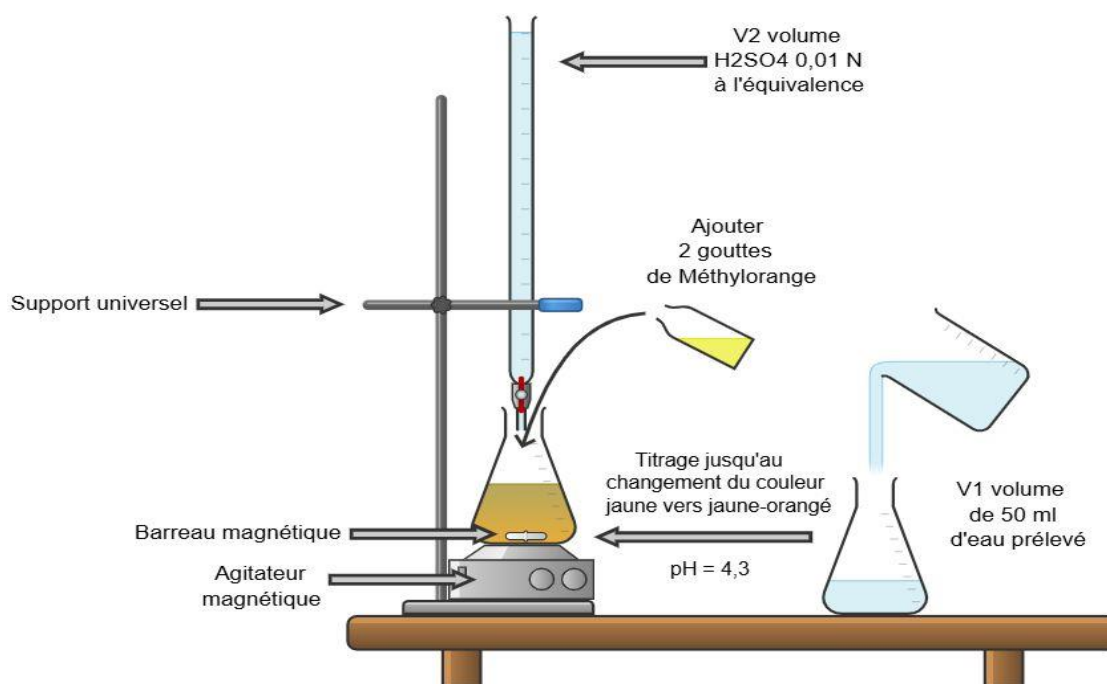


Figure II-4 : Protocole expérimental pour la détermination du titre alcalimétrique complet (TAC).

II.4.1.3 Calculs et résultats

On calcule le titre d'alcalinité par l'équation (II.4) présentée ci-dessous :

$$TA = \frac{N(H_2SO_4) \times V_1 \times 50,044 \times 1000}{V \text{ d'eau}} \quad (\text{Équation II-5})$$

où :

TA : titre d'alcalinité exprimé en (mg/L) de $CaCO_3$;

$N(H_2SO_4)$: la normalité de l'acide sulfurique exprimée en (eq/L) ;

V_1 : le volume d'acide utilisé lors du titrage exprimé en (mL) ;

V d'eau : le volume de l'échantillon d'eau analysé exprimé en (mL) ;

50,044 : la masse équivalente du $CaCO_3$ exprimé en (mg/meq).

$$TA = \frac{0,01 \times 6,01 \times 50,044 \times 1000}{50}$$

$$TA = 60,15 \text{ mg/L}(CaCO_3)$$

On trouve le titre d'alcalinité complet directement par l'équation (II.5) comme suit :

$$TAC = \frac{N(H_2SO_4) \times V_2 \times 50,044 \times 1000}{V \text{ d'eau}} \quad (\text{Équation II-6})$$

où :

TAC : titre d'alcalinité complet, exprimé en (ppm $CaCO_3$) ;

$N(H_2SO_4)$: la normalité de l'acide sulfurique exprimée en (eq/L) ;

V_2 : le volume d'acide consommé au point d'équivalence exprimé en (mL) ;

$V \text{ d'eau}$: le volume de l'échantillon d'eau analysé exprimé en (mL) ;

50,044 : la masse équivalente du $CaCO_3$ exprimé en (mg/meq).

$$TAC = \frac{0,01 \times 6,05 \times 50,044 \times 1000}{50}$$

$$TAC = 60,55 \text{ ppm}(CaCO_3)$$

Après le calcul du TA et TAC, on a trouvé des résultats avec une faible différence entre eux, indiquant que l'alcalinité de l'eau est principalement due aux ions bicarbonates (HCO_3^-), la valeur 60,55 ppm ($CaCO_3$) du TAC mesurée appartient à l'intervalle des valeurs admissibles par l'OMS ; ($50 < TAC < 65 \text{ ppm}(CaCO_3)$), comme indiqué dans le tableau (II-3) et la Figure (II-10), traduisant ainsi une alcalinité équilibrée, une bonne stabilité chimique et une capacité tampon du milieu, ce qui signifie que l'eau possède une aptitude à résister aux variations du pH.

II.4.2 La dureté totale

II.4.2.1 Définition

La dureté de l'eau est considérée comme un indicateur du degré de minéralisation, et elle dépend principalement de la concentration des ions calcium [Ca^{2+}] et magnésium [Mg^{2+}] présents. La méthode utilisée dans ce travail repose sur une méthode volumétrique permettant de déterminer la dureté totale de l'eau, connue sous l'abréviation (TH) titre hydrométrique.

Cette méthode repose sur la titration complexe utilisant un agent chélatant puissant, l'EDTA (Acide Ethylène Diamine Tétra-acétique), qui forme des complexes stables avec les cations métalliques présents dans l'échantillon. En pratique, certains autres ions bivalents comme le fer peuvent interagir avec l'EDTA et provoquer des interférences analytiques, mais leur concentration est faible par rapport à celle du calcium et du magnésium, et n'affecte donc pas de manière significative les résultats [54].

On peut également déterminer la dureté totale en suivant l'équation (II.6) montrée ci-dessous, de manière indirecte en additionnant les concentrations de calcium et de magnésium, qui sont mesurées par d'autres méthodes analytiques telles que la spectroscopie d'absorption atomique [54].

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \quad (\text{Équation II-7})$$

où :

$[Ca^{2+}]$: la concentration des ions du calcium mesurés par spectrophotomètre (mg/L) ;

$[Mg^{2+}]$: la concentration des ions du magnésium mesurés par spectrophotomètre (mg/L).

II.4.2.2 Mode opératoire

- ✓ On prélève un volume V_1 de 100 mL de l'échantillon à l'aide d'une pipette jaugée.
- ✓ On effectue une dilution préalable dans le cas où l'alcalinité dépasse 300 mg/L, afin de ramener cette valeur en dessous de seuil recommandé pour l'analyse.
- ✓ Ensuite, on ajoute 8 mL de solution tampon à pH=10, suivis de quelques gouttes de l'indicateur coloré noir d'Eriochrome T (NET).
- ✓ On réalise le dosage par titrage avec une solution d'EDTA à 0,02M, sous agitation continue, jusqu'à l'apparition du changement de couleur caractéristique, passant du mauve au bleu à la dernière goutte V_2 , indiquant le point d'équivalence.

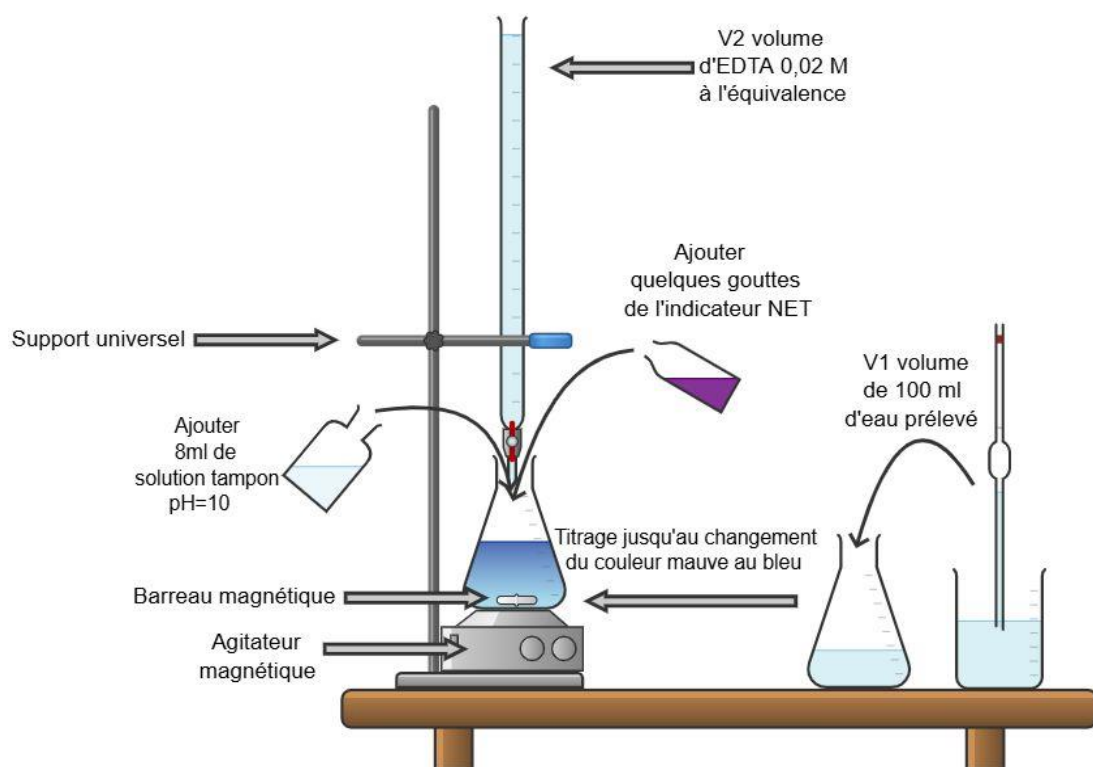


Figure II-5 : Protocole expérimental pour la détermination de la dureté totale (TH).

II.4.2.3 Calculs et résultats

On peut déterminer la dureté totale à partir de la relation suivante :

$$TH = \frac{[N(EDTA) \times V_2 \times 50,044 \times 10^3]}{V_1} \quad (\text{Équation II-8})$$

où :

TH : le titre hydrométrique exprimée en (ppm CaCO_3) ;

N(EDTA) : la normalité de la solution d'EDTA, déterminée par étalonnage en (eq/L) ;

V_1 : le volume de l'échantillon prélevé, exprimé en (mL) ;

V_2 : le volume d'EDTA consommé à l'équivalence, exprimé en (mL) ;

50,044 : la masse équivalente du carbonate de calcium (CaCO_3), exprimée en (mg/meq).

Et on trouve :

$$TH = \frac{[0,02 \times 6,55 \times 50,044 \times 10^3]}{100}$$

$$TH = 65,5 \text{ ppm } \text{CaCO}_3$$

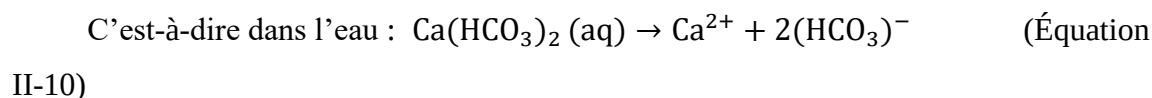
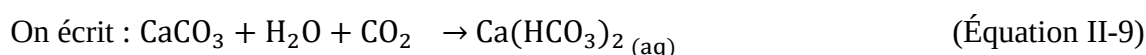
La valeur obtenue lors de notre mesure est égale à 65,5 ppm CaCO_3 , est très proche de la valeur de référence (65 ppm CaCO_3) recommandé par la station suivis des valeurs guides de l'OMS indiqués dans le tableau (II-2), avec un écart de 0,5 ppm considérée comme négligeable, ce résultat peut traduire que l'eau présente une dureté acceptable et équilibrée, avec une bonne qualité pour la consommation et une faible tendance à l'entartrage et la corrosion.

II.4.3 La dureté calcique

II.4.3.1 Définition

La dureté calcique fait référence aux ions calcium (Ca^{2+}). Cette analyse vise à déterminer la concentration de calcium en mg/L (ppm), nous allons donc réaliser une titration en suivant la méthode de détermination de la dureté calcique [55].

L'eau (H_2O) dans laquelle est dissous du dioxyde de carbone (CO_2) réagit avec le carbonate de calcium (CaCO_3) pour former le bicarbonate de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ [55], suivant ces deux équations II.8 et II.9 :



II.4.3.2 Mode opératoire

- ✓ On introduit une prise d'essai de 100 mL de l'échantillon dans un erlenmeyer de 250 mL.
- ✓ Lorsque l'alcalinité dépasse 300 mg/L, on dilue l'échantillon préalablement afin d'obtenir une valeur inférieure à ce seuil.
- ✓ Ensuite, on ajoute environ 2 mL de solution NaOH (1N), ou une quantité suffisante, de manière ajuster le pH entre 12 et 13.
- ✓ Puis, on ajoute une pointe de spatule de murexide à (0,2%) comme indicateur.
- ✓ On réalise finalement le dosage par titrage à l'aide de l'EDTA 0,02N jusqu'au virage de couleur, donc le point d'équivalence est atteint lorsque le couleur change du rose au pourpre, indiquant la fin de la réaction de complexation de calcium.
- ✓ On note V_2 , le volume d'EDTA ajouté à l'équivalence est exprimé en mL.

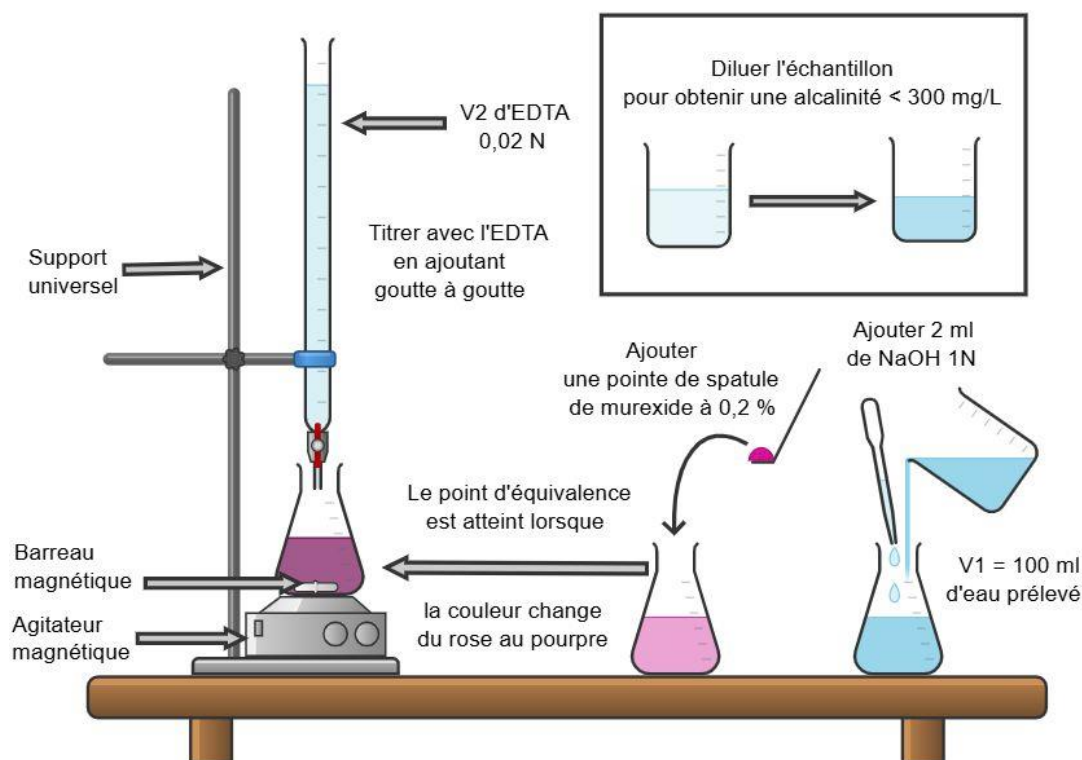


Figure II-6 : Protocole expérimental pour la détermination de la dureté calcique Ca^{2+} .

II.4.3.3 Calculs et résultats

Le calcul de la dureté calcique s'effectue à l'aide de l'équation (II.10) suivante :

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{[\text{N(EDTA)} \times V_2 \times 20,04 \times 10^3]}{V_1} \quad (\text{Équation II-11})$$

où :

Ca^{2+} : Concentration en calcium exprimée en (mg/L) ;

N(EDTA) : la normalité de l'EDTA exprimé en (eq/L) ou en (N) ;

V_1 : le volume de l'échantillon exprimé en (mL) ;

V_2 : le volume d'EDTA consommé à l'équivalence exprimé en (mL) ;

20,04 : masse équivalente du calcium Ca^{2+} exprimée en g/eq (ou en mg/meq) ;

10^3 : facteur de conversion permettant d'exprimer le résultat en mg/L.

Et on obtient :

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{[0,02 \times 5,34 \times 20,04 \times 10^3]}{100}$$

$$\text{Ca}^{2+} = 21,4 \text{ mg/L}$$

La valeur obtenue égale à 21,4 mg/L est faible, indiquant une eau douce. Bien évidemment qu'aucune valeur guide de l'OMS n'est définie pour la dureté calcique, mais les classifications internationales [56] considèrent cette valeur comme largement acceptable et sans risque de formation de tartre.

Selon les classifications généralement admises de la dureté de l'eau exprimée en carbonate de calcium (CaCO_3), les eaux sont classées comme suit [56] :

- De 0 à 60 mg/L est considérée comme « douce » ;
- Entre 61 et 120 mg/L comme « moyennement dure » ;
- Entre 121 et 180 mg/L comme « dure » ;
- Et au-delà de 180 mg/L comme « très dure ».

II.4.4 La turbidité

II.4.4.1 Définition

La turbidité, exprimée en (NTU), correspond à la présence de particules en suspensions dans l'eau (organiques ou inorganiques) telles que les argiles, les planctons, les limons et les micro-organismes. Elle traduit le degré de transparence de l'eau. Sa mesure est réalisée par néphélométrie, basée sur la diffusion de la lumière par les particules en suspension, généralement à un angle de 90° , où l'intensité de la lumière diffusée est proportionnelle à la concentration des particules [57].

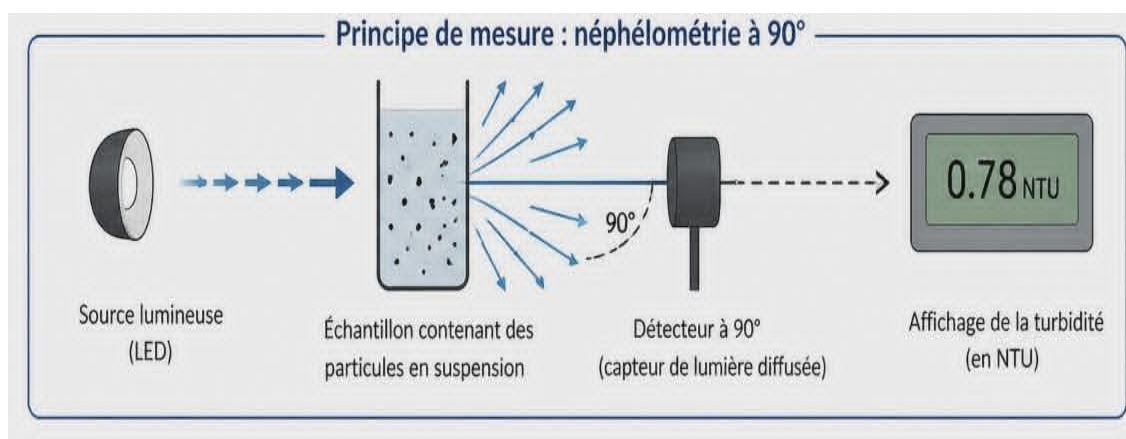


Figure II-7 : Principe optique de la mesure de la turbidité.

II.4.4.2 Mode opératoire

- ✓ On met l'appareil sous tension et on le laisse en stabilisation pendant environ 30 minutes avant toute mesure afin d'assurer sa précision.
- ✓ On introduit ensuite l'échantillon dans une cuvette propre, en veillant à éviter la présence de bulles d'air.
- ✓ On nettoie la cuvette soigneusement et on sèche son extérieur.
- ✓ On applique une fine couche d'huile sur les parois externes afin de limiter les interférences optiques.
- ✓ On place la cuvette dans le turbidimètre, puis on ferme le couvercle pour éviter toute lumière parasite.
- ✓ Après quelques instants nécessaires à la stabilisation de la mesure, on lit et on enregistre la valeur de la turbidité.



Figure II-8 : Le dispositif de la mesure du turbidité (Turbidimètre).

Lors de la mesure de la turbidité de l'échantillon analysé à l'aide du turbidimètre, une valeur de 0,81 NTU a été effectuée. Cette valeur est nettement inférieure à la limite recommandée (<5 NTU) mentionnée dans le tableau (II-3), ce résultat témoigne d'une bonne efficacité des étapes de traitement, bien que ce résultat indique une faible teneur en matières en suspension dans l'eau, et qu'elle peut donc être considérée comme claire du point de vue de la turbidité. Ce qui constitue un indicateur positif de sa qualité physico-chimique, (voir les résultats de mois de mars dans les tableaux (II-1) et (II-2)).

Chapitre II : Partie expérimentale

Tableau II-1 : Résultats de la mesure de la turbidité au point Nord de la station pour le mois de mars.

DATE	HEURE	QUART	DEBIT EAU DE MER m3/h	NTU EAU DE MER	NTU N.F.S 1 ETAPE	NTU N.F.S 2 ETAPE	NTU N.F.C
1-mar.-26							
2-mar.-26	7 :45	A	10 336	4,9	0,5	0,4	0,3
3-mar.-26	7 :35	C	10 265,00	3,89	0,98	0,66	0,27
4-mar.-26	7 :30	C	10 223,00	4,59	1,04	0,67	0,45
5-mar.-26	11 :00	D	10 448,00	2,72	1,00	0,89	0,63
6-mar.-26	11 :00	D	10 462,00	4,13	2,56	1,43	0,82
7-mar.-26	7 :30	B	10 265,00	3,90	1,20	0,50	0,40
8-mar.-26	7 :30						
9-mar.-26	7 :30	A	10 265,00	2,46	1,11	0,74	0,61
10-mar.-26	7 :45	A	10 322,00	1,13	0,41	0,36	0,21
11-mar.-26	7 :30	C	10 321,00	1,48	0,81	0,47	0,33
12-mar.-26	7 :30	C	10 335,00	3,69	0,75	0,47	0,20
13-mar.-26	7 :40	D	2 480,00	25,40			
14-mar.-26	7 :35	D	10 058,00	2,29	1,16	0,83	0,57
15-mar.-26	7 :30	B	10 532,00	12,70	0,47	0,36	0,32
16-mar.-26	7 :45	B	10 364,00	3,38	0,71	0,63	0,41
17-mar.-26	7 :30	A	10 110,00	8,05	1,24	0,73	0,49
18-mar.-26	7 :20	A	10 307,00	15,30	2,27	1,45	0,66
19-mar.-26							
20-mar.-26							
21-mar.-26							
22-mar.-26	7 :45	D	10 237,00	2,02	0,85	0,53	0,39
23-mar.-26	7 :30	B	10 223,00	1,20	0,60	0,60	0,50
24-mar.-26	7 :30	B	10 195,00	1,88	0,66	0,46	0,27
25-mar.-26	7 :30	A		3,45			
26-mar.-26	7 :40	A	10 040,00	4,05	1,18	0,80	0,57
27-mar.-26							
28-mar.-26							
29-mar.-26							
30-mar.-26							
31-mar.-26	7 :30	B	5 000,00	38,70	1,47	1,50	0,60

Chapitre II : Partie expérimentale

Tableau II-2 : Résultats de la mesure de la turbidité au point Sud de la station pour le mois de mars.

DATE	HEURE	QUART	DEBIT EAU DE MER m3/h	NTU EAU DE MER	NTU N.F.S 1 ETAPE	NTU N.F.S 2 ETAPE	NTU N.F.C
1-mar.-26							
2-mar.-26	7 :25	A	10 266	4,8	0,6	0,3	0,2
3-mar.-26	7 :35	C	10 181	2,32	0,78	0,49	0,24
4-mar.-26	7 :30	C	10 110	4,61	1,45	0,87	0,46
5-mar.-26	11 :00	D	10 223	2,45	0,87	0,81	0,61
6-mar.-26	7 :30	D	10 504	3,19	2,01	1,29	0,73
7-mar.-26	7 :30	B	10 280	3,00	0,70	0,40	0,40
8-mar.-26							
9-mar.-26	7 :30	A	10 209	2,48	0,92	0,78	0,66
10-mar.-26	7 :45	A	10 304	1,66	0,45	0,34	0,23
11-mar.-26	7 :30	C	10 293	1,77	0,41	0,43	0,19
12-mar.-26	7 :30	C	10 364	3,22	0,56	0,54	0,31
13-mar.-26	7 :40	D	2 470	24,40			
14-mar.-26	7 :35	D	10 068	2,46	1,04	0,79	0,59
15-mar.-26	7 :30	B	10 631	13,50	0,56	0,37	0,39
16-mar.-26	7 :45	B	10 420	3,97	0,83	0,57	0,35
17-mar.-26	7 :30	A	10 431	9,17	1,29	0,93	0,60
18-mar.-26	7 :20	A	10 460	18,20	1,57	1,48	0,50
19-mar.-26							
20-mar.-26							
21-mar.-26							
22-mar.-26	7 :45	D	10 223	1,84	0,66	0,52	0,27
23-mar.-26	7 :30	B	10 350	1,00	0,50	0,50	0,40
24-mar.-26	7 :30	B	10 251	1,85	0,65	0,67	0,41
25-mar.-26	7 :30	A		4,11			
26-mar.-26	7 :40	A		4,22	1,22	0,77	0,60
27-mar.-26							
28-mar.-26							
29-mar.-26							
30-mar.-26							
31-mar.-26	7 :30	B	5 000	38,70	1,47	1,35	0,63

II.4.5 Matières totales dissoutes

II.4.5.1 Définition

Les matières totales dissoutes (MTD) représentent l'ensemble des substances minérales et de faibles quantités de composés organiques dissous dans l'eau. Elles sont principalement constituées de cations tels que le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^{2+}) et le potassium (K^{+}), ainsi que les anions comme les chlorures (Cl^{-}), les sulfates (SO_4^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^{-}) et les nitrates (NO_3^{-}). La détermination des (MTD) est appliquée aux eaux produites et à l'eau de mer afin d'évaluer la charge minérale globale et la qualité de l'eau. Une concentration élevée en matières dissoutes peut provoquer une augmentation de la dureté, un goût désagréable ainsi que des phénomènes de corrosions et d'entartrage des installations, tandis qu'une faible teneur contribue généralement à améliorer les propriétés organoleptiques de l'eau [58].

II.4.5.2 Mode opératoire

- ✓ On introduit un volume de 100 mL d'échantillon dans un bol préalablement séché et pesé (P_1).
- ✓ Ensuite, on place l'échantillon dans une étuve à 105°C pendant 4 heures afin d'éliminer toute l'eau par évaporation.
- ✓ Après refroidissement dans un dessiccateur, on pèse le bol à nouveau et on note (P_2).
- ✓ Le résidu correspond aux matières dissoutes totales.

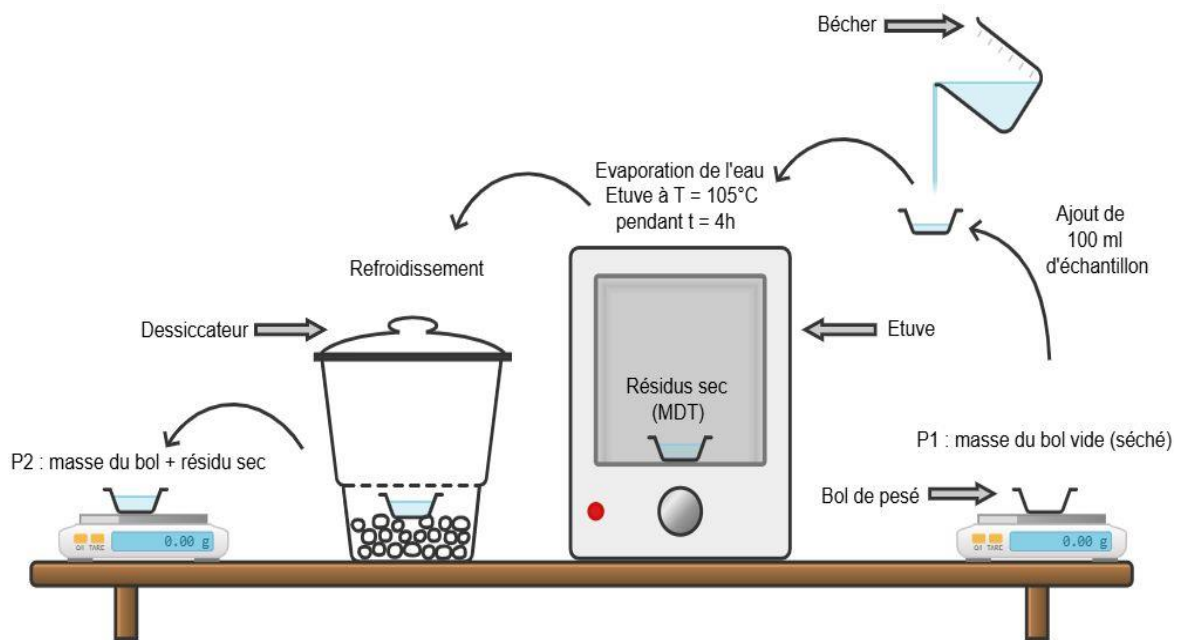


Figure II-9 : Protocole expérimentale de mesure des matières totales dissoutes (MTD).

II.4.5.3 Calculs et résultats

On utilise l'équation (II.11) présentée ci-dessous pour obtenir la valeur des matières totales dissoutes :

$$\text{MTD} = \frac{P_2 - P_1}{10} \quad (\text{Équation II-12})$$

où :

MTD : Matières totales dissoutes, exprimées en (mg/L) ;

P_2 : La masse du bol de céramique sec avant évaporation, exprimée en (g) ;

P_1 : La masse du bol de céramique après évaporation et séchage, exprimée en (g) ;

10 : Facteur de conversion correspondant au volume de l'échantillon ($100\text{ mL} = 0,1\text{ L}$).

Les résultats sont exprimés en (mg/L) et permettent d'évaluer la minéralisation globale de l'eau analysée. La mesure de MTD n'a pas été déterminée expérimentalement durant notre stage, la valeur exploitée $\text{MTD} = 200\text{ mg/L}$ provient des analyses réalisées par la station de dessalement. Le résultat obtenu est compris entre 150 et 500 mg/L, donc elle se situe dans l'intervalle de référence recommandé par l'OMS indiqué dans le tableau (II-3), traduisant une minéralisation modérée et un bon équilibre de l'eau après reminéralisation.

II.4.6 L'indice de Langelier

II.4.6.1 Définition

L'indice de Langelier (LSI) est un paramètre de stabilité de l'eau produite permettant d'évaluer son équilibre vis-à-vis du carbonate de calcium. Il est défini comme la différence entre le pH mesuré et le pH de saturation (pH_s), ce dernier dépendant de plusieurs paramètres physico-chimiques tels que la température, la conductivité, l'alcalinité et la concentration en calcium [59].

II.4.6.2 Calculs et résultats

- Le LSI est défini par la relation suivante :

$$LSI = pH - pH_s$$

où :

LSI : Indice de Langelier, sans unité (adimensionnel) ;

pH : Potentiel hydrogène de l'eau, (adimensionnel) ;

pH_s : Potentiel hydrogène de saturation de l'eau, (adimensionnel).

- Le pH_s est déterminé à partir d'une relation intégrant plusieurs paramètres physico-chimiques :

$$pH_s = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

où :

L₁ : terme lié à la conductivité et la force ionique ;

L₂ : terme dépend des constantes thermodynamiques (K_c et K₂) ;

L₃ : terme lié à l'alcalinité totale ;

L₄ : terme lié à la concentration en calcium.

Cet indice permet de prédire le comportement de l'eau dans les réseaux de distribution, il devra situer entre 0 et 0,4 selon la valeur guide recommandé par l'OMS comme présenté dans les valeurs des références indiquées dans le tableau (II-3) :

- Un LSI négatif (LSI < 0) indique une eau corrosive.
- Un LSI nul (LSI ≈ 0) correspond à une eau à l'équilibre.

- In LSI positif ($LSI > 0$) traduit une tendance à l'entartrage.

Le LSI n'a pas été déterminé expérimentalement durant notre stage, la valeur exploitée $LSI = 0,03$ a été obtenue à partir des analyses fournies par la station de dessalement. Le résultat obtenu est compris entre 0 et 0,4 donc il situe dans l'intervalle recommandé par l'OMS. Ce dernier indique que l'eau est globalement à l'équilibre vis-à-vis du carbonate de calcium, avec une très faible tendance à l'entartrage, sans impact significatif sur les installations (voir tableau (II-3) et figure (II-10)).

Chapitre II : Partie expérimentale

Tableau II-3 : Paramètres physico-chimiques analysés, méthodes d'analyse et valeurs de références utilisées lors de l'étude.

Test lab.	PROCEDURE	Méthodes d'Analyse	Norme ISO	Temps d'analyse en min	Temps limite de conservation	NORME OMS 2003	OBSERVATIONS
pH	Pro006lab	Potentiométriques	NF T 90-008. Février 2001.	5	Mesure in situ de préférence	PAS DE VALEUR GUIDE	7,5 à 8,5 pour l'eau produite 12 à 13 pour la mesure de dureté calcique.
ALCALINITE	Pro001lab	Méthodes volumétriques	NF EN ISO 9963- 1février 1996.	10	24 heures	50 à 65 ppm CaCO3	Cette valeur correspond précisément pour la TAC.
MTD	Pro007lab	Calcul par la conductivité ou Gravimétrie	Norme NF T 90-029 Août 2002.	5	48 heures	150 <MTD< 500	Il est dangereux de dépasser 500
LSI	Pro017lab	calcule		5		PAS DE VALEUR GUIDE	Une valeur de 0 à 0,4 est acceptable pour les consommateurs.
DURETE TOTAL	Pro003lab	Méthodes volumétriques	NF T90-003 (août 1984).	5	1 mois	65 ppm CaCO3	
CALCIUM	Pro005lab	Méthodes volumétriques	NF T90-016 (août 1984).	5	Mesure in situ de préférence	PAS DE VALEUR GUIDE	
CHLORE LIBRE	Pro016lab	chloromètre +DPD		3	Effectuer l'analyse immédiatement	<5	Nécessite le suivi continue.
TURBIDITE	Pro018lab	Potentiométriques	Norme NF EN ISO 7027 (mars 2007).	5	24 heures	PAS DE VALEUR GUIDE	< 5 NTU est généralement acceptable pour les consommateurs, < 0,1 NTU turbidité médiane, idéale pour désinfection efficace.

[60]

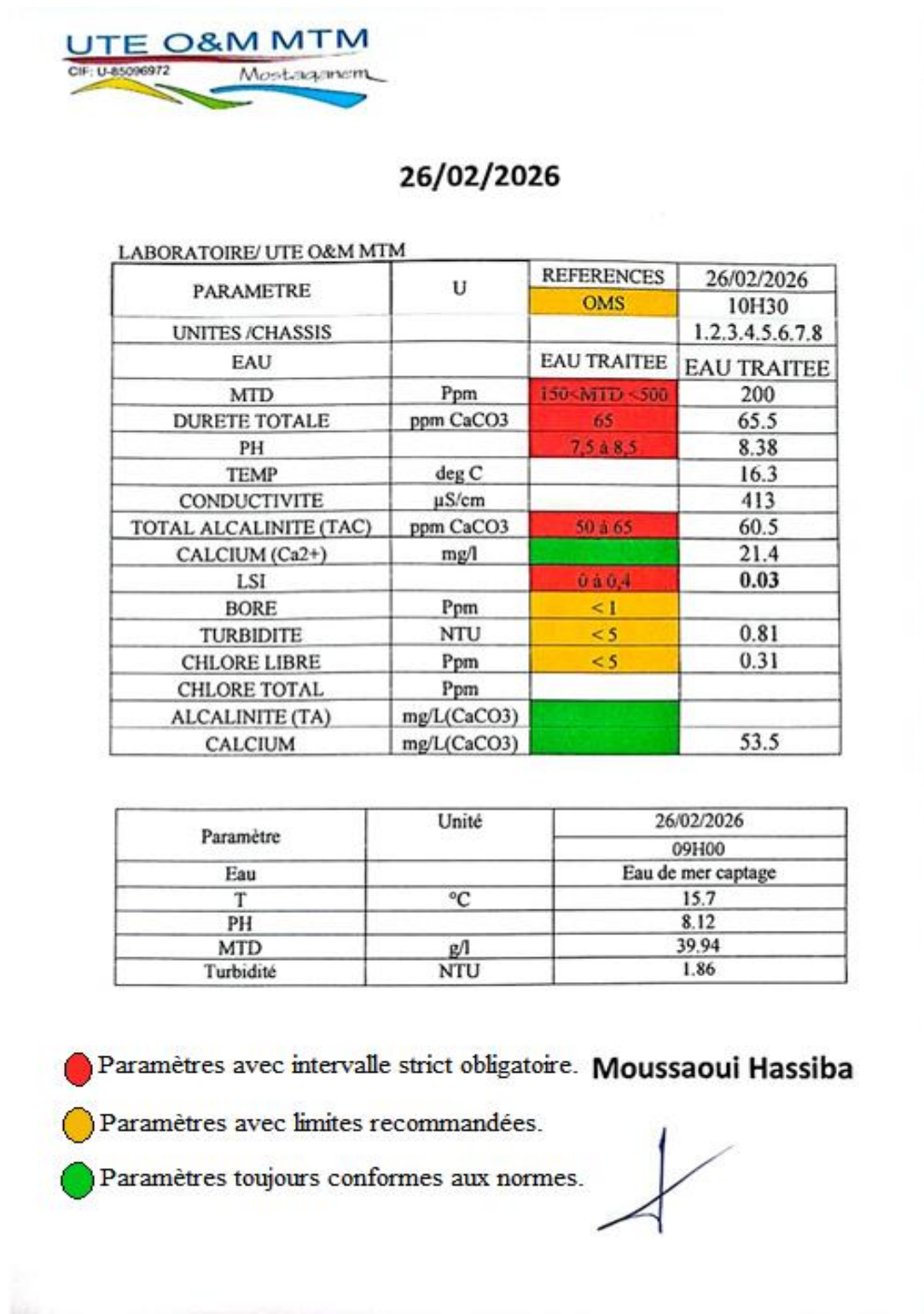


Figure II-10 : Fiche d'analyses représente des résultats de mesures de certains paramètres en comparaison avec les valeurs de références demandés par l'OMS.

Durant notre stage, nous nous sommes particulièrement intéressés à la mesure de l'indice de colmatage (SDI, Silt Density Index)

II.4.7 Silt Density Index

II.4.7.1 Définition

Le SDI (Silt Density Index), ou l'indice du colmatage, est un paramètre utilisé pour caractériser le pouvoir colmatant de l'eau prétraitée, il permet d'évaluer la capacité de l'eau à obstruer les membranes de filtration et ainsi d'ajuster les paramètres du procédé et préfiltration [61].



Figure II-11 : Manomètre utilisé pour la mesure de la pression.

II.4.7.2 Mode opératoire

- ✓ On place une membrane filtrante préalablement humidifiée sur son support de manière à être parfaitement horizontale, puis correctement fixée.
- ✓ On purge ensuite le système afin d'éliminer toute présence d'air, puis on ajuste la pression à 2.1 bar à l'aide d'un dispositif de régulation. Cette pression doit être maintenue constante durant toute la durée de l'essai, avec des ajustements si nécessaire.
- ✓ On filtre un volume déterminé d'échantillon, généralement de 500 mL à travers une membrane propre, tout en mesurant le temps nécessaire à son passage.

- ✓ Cette première mesure permet de déterminer le temps initial t_1 .
- ✓ Après une durée de filtration continue de 15 minutes (ou éventuellement 5 ou 10 minutes selon le protocole adopté), on réalise une seconde mesure dans les mêmes conditions expérimentales.
- ✓ On note t_2 , le temps requis pour filtrer un second volume identique.
- ✓ Ces deux valeurs permettent ensuite d'évaluer le pouvoir colmatant de l'eau analysée [61].

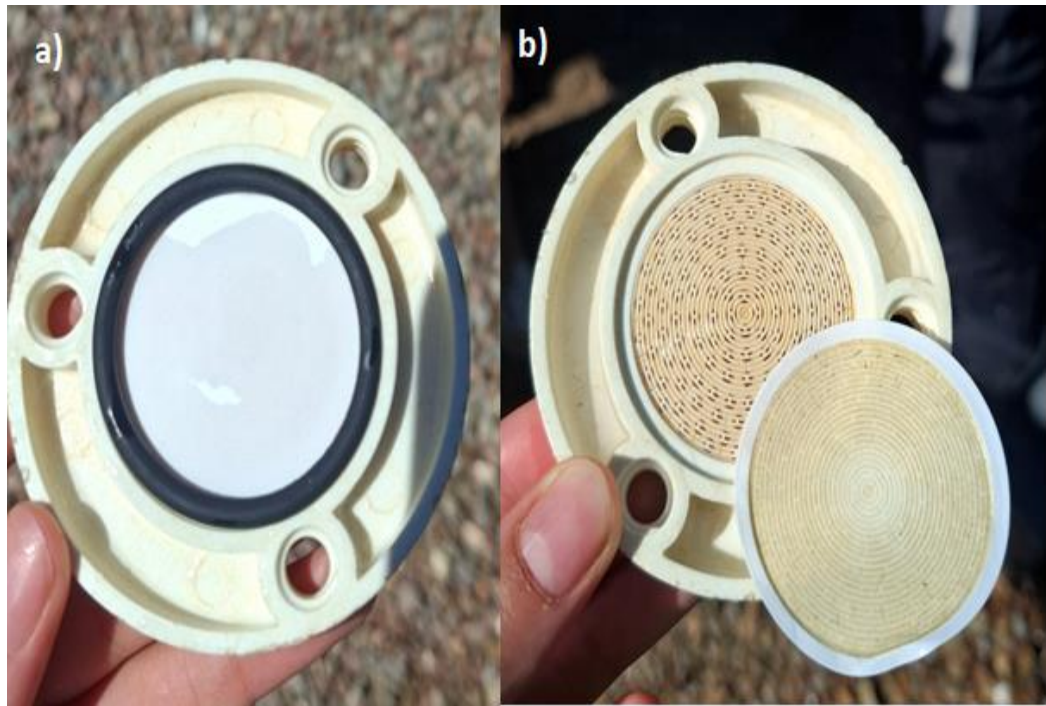


Figure II-12 : Illustration de l'évolution de l'état de la membrane avant (a) et après (b) la détermination du Silt Density Index (SDI).

II.4.7.3 Calculs et résultats

On calcule la valeur de SDI en utilisant l'équation suivante :

$$SDI(\%) = \left[\frac{\left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right)}{15} \right] \times 100 \quad (\text{Équation II-13})$$

où :

SDI : Indice de colmatage, exprimé en (% /min) ;

t_1 : Le temps initial de filtration, exprimé en secondes (s) ;

t_2 : Le temps de filtration après 15 minutes, exprimé en secondes (s) ;

15 : La durée de l'essai, exprimée en minutes (min) ;

100 : Facteur de conversion pour exprimer le résultat en pourcentage.

Dans le cadre de cette étude, des mesures de l'indice de colmatage (SDI) ont été réalisées sur site, au niveau de trois étapes de filtration :

- Filtration de la première étape.
- Filtration de la deuxième étape.
- Étape de microfiltration.

Les mesures ont été effectuées au niveau de deux points :

- Point Sud de la station de dessalement.
- Point Nord de la station dessalement.

Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-4 : Résultats de la mesure du SDI selon les différentes étapes de filtration.

	Filtration 1 ^{ère} étape		Filtration 2 ^{ème} étape		Microfiltration	
Point de mesure	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud
t_1 (Sec)	17	20	15	14	14	16
t_2 (Sec)	41	35	22	22	19	24
SDI (%)	3,9	2,86	2,42	2,12	2,22	1,75

Les résultats présentés dans le tableau (II-4) montrent une diminution progressive des valeurs du SDI à mesure de l'avancement de l'eau dans les différentes étapes de filtration. Au niveau de la 1^{ère} étape de filtration, la valeur indiquée au Nord (SDI Nord = 3,9 %) dépasse la valeur de référence recommandée (SDI < 3%), traduisant une charge relativement élevée en particules susceptibles de provoquer le colmatage des membranes. En revanche, la valeur mesurée au Sud (SDI = 2,86 %) est inférieure à la limite, indiquant une meilleure qualité de l'eau vis-à-vis du risque de colmatage.

Après la 2^{ème} étape de filtration, les valeurs du SDI commencent à diminuer respectivement à 2,42% au Nord et 2,12% au Sud, cette réduction met en évidence l'efficacité

de cette étape dans l'élimination d'une partie significative des matières en suspension et des particules fines responsables de l'encrassement des membranes. En outre, au niveau de la microfiltration, les valeurs obtenues atteignent 2,22% au Nord et 1,75% au Sud, confirmant l'amélioration continue de la qualité de l'eau. Ces résultats témoignent de la performance du prétraitement mis en œuvre au sein de la station pour réduire le potentiel colmatant de l'eau avant son introduction dans les modules d'osmose inverse.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure II-12 :

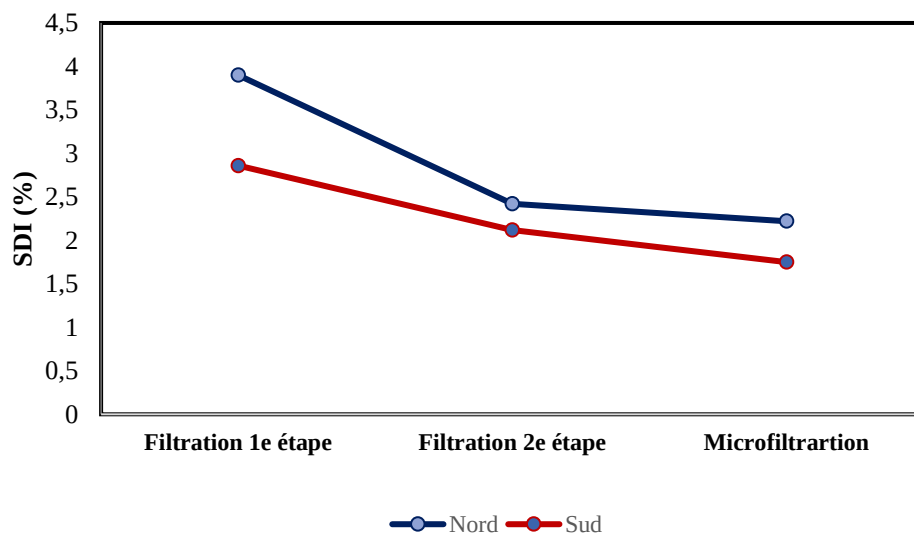


Figure II-13 : Courbe comparative des valeurs du SDI entre le nord et le sud.

Comme présenté dans la figure II-13, on constate que les valeurs mesurées au Nord restent systématiquement plus élevées que celles du Sud, cela peut être s'expliquer par plusieurs raisons notamment, la zone Nord peut être plus exposée aux courants marins et éventuellement aux rejets côtiers, ce qui favorise la remise en suspension des particules fines et des colloïdes, ou bien ce phénomène peut être lié à une répartition non homogène des débits, à des conditions d'exploitation différentes entre les deux lignes influençant l'efficacité d'élimination des particules. En revanche, la zone Sud peut être relativement plus stable, avec une charge en matières en suspension plus faible. Même pour les résultats de SDI pour le mois de mars indiqués dans les tableaux (II-5) et (II-6), on remarque que majoritairement le SDI au point Nord est plus élevé que celui du Sud, surtout pour :

- L'eau de mer.
- La filtration de la 1^{ère} étape.

➤ Parfois même pour la seconde étape.

Par contre, au niveau de la microfiltration, les valeurs deviennent très proches entre Nord et Sud, Ce qui indique une homogénéité globale de la qualité de l'eau entre les deux points de prélèvement et confirme l'efficacité du procédé de filtration appliqué dans la station.

Chapitre II : Partie expérimentale

Tableau II-5 : Résultats du SDI au point Nord de la station pour le mois de mars (filtration 1^e étape, filtration 2^{ème} étape et microfiltration).

DATE	HEURE	QUART	DEBIT m3/h	EAU DE MER			PREMIERE ETAPE			SECONDE ETAPE			Microfiltration		
				T1 (sec)	T2 (sec)	S.D. I	T1 (sec)	T2 (sec)	S.D. I	T1 (sec)	T2 (sec)	S.D. I	T1 (sec)	T1(sec)	S.D. I
10-mar.-26	8 :30	A	10322,00	19	157	5,86	16	31	3,23	18	28	2,38	20	26	1,54
						#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !
12-mar.-26	5 :00	A	10322,00	21	120	5,50	18	29	2,53	20	29	2,07	16	21	1,59
						#DIV/0 !						#DIV/0 !			#DIV/0 !
						#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !
15-mar.-26	12 :00	B	10518,00			#DIV/0 !	20	42	3,49	16	25	2,40	16	22	1,82
16-mar.-26	9 :30	B	10364,00			#DIV/0 !	19	36	3,15	19	31	2,58	19	27	1,98
18-mar.-26	21 :05	B	10181,00	24	257	6,04	18	32	2,92	20	30	2,22	17	23	1,74
22-mar.-26	10 :15	D	10434,00			#DIV/0 !	19	29	2,30	18	27	2,22	18	24	1,67
24-mar.-26	12 :00	B	10195,00	19	210	6,06	17	27	2,47	18	26	2,05	18	22	1,21
26-mar.-26	8 :40	A	10040,00	20	287	6,20	19	44	3,79	17	25	2,13	18	25	1,87
31-mar.-26	8 :00	B	5000,00	144		#DIV/0 !	17	29	2,76	16	24	2,22	19	26	1,79

Chapitre II : Partie expérimentale

Tableau II-6 : Résultats de la mesure de SDI au point Sud de la station pour le mois de mars (filtration 1^e étape, filtration 2^{ème} étape et microfiltration).

DATE	HEURE	QUART	DEBIT m3/h	EAU DE MER			PREMIERE ETAPE			SECONDE ETAPE			Microfiltration		
				T1 (sec)	T2 (sec)	S.D. I	T1 (sec)	T2 (sec)	S.D. I	T1 (sec)	T2 (sec)	S.D. I	T1 (sec)	T1 (sec)	S.D. I
10-mar.-26	8 :30	A	10304,00			#DIV/0 !	17	32	3,13	18	26	2,05	22	26	1,03
						#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !
12-mar.-26	5 :00	A	10308,00	21	120	5,50	17	29	2,76	16	24	2,22	16	22	1,82
						#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !
						#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !			#DIV/0 !
15-mar.-26	12 :00	B	10546,00	41	513	6,13	22	47	3,55	17	28	2,62	18	27	2,22
16-mar.-26	9 :30	B	10420,00	38	480	6,14	20	41	3,41	20	30	2,22	19	25	1,60
18-mar.-26	21 :50	B	10335,00	24	257	6,04	21	38	2,98	18	28	2,38	21	29	1,84
22-mar.-26	10 :15	D	10533,00	18	181	6,00	17	29	2,76	17	27	2,47	18	24	1,67
24-mar.-26	12 :00	B	10251,00			#DIV/0 !	18	29	2,53	18	27	2,22	18	24	1,67
26-mar.-26	7 :40	A	10000,00			#DIV/0 !	19	46	3,91	16	25	2,40	17	24	1,94
31-mar.-26	8 :00	B	5000,00	144		#DIV/0 !	17	29	2,76	17	25	2,13	19	25	1,60

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude a porté sur l'évaluation de l'indice de colmatage (SDI) et son impact potentiel sur les membranes d'osmose inverse au niveau de la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem. Cette étude a été réalisée à travers le suivi du SDI en différents points de la filière de prétraitement, notamment après la filtration de première étape, la filtration de deuxième étape et la microfiltration. Les résultats obtenus ont montré une diminution progressive des valeurs du SDI tout au long des étapes de traitement. Cette évolution traduit l'efficacité des procédés de prétraitement mis en œuvre dans la station pour l'élimination des particules susceptibles de provoquer le colmatage des membranes.

Ainsi, l'eau alimentant les châssis d'osmose inverse présente une qualité satisfaisante et un risque réduit de colmatage. L'étude a également mis en évidence des valeurs de SDI systématiquement plus élevées au niveau de la ligne Nord par rapport à la ligne Sud, et ce pour l'ensemble des points de prélèvement étudiés. Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs liés aux conditions d'exploitation, aux caractéristiques hydrauliques des lignes ou à la répartition des charges particulières au sein de l'installation.

Par ailleurs, les valeurs enregistrées sont restées conformes aux limites recommandées pour la protection des membranes d'osmose inverse. Bien que certaines mesures se soient rapprochées des valeurs limites admissibles, malgré le dépassement observé au niveau du point Nord après la 1^{ère} étape de filtration, les valeurs du SDI deviennent inférieures à la limite recommandée après la 2^{ème} étape de filtration et la microfiltration, garantissant ainsi une alimentation plus adaptée des membranes d'osmose inverse, ce qui témoigne du bon fonctionnement global du système de prétraitement.

En conclusion, cette étude confirme l'importance du suivi régulier du SDI comme indicateur de performance du prétraitement et comme outil de prévention du colmatage des membranes d'osmose inverse. Au regard des résultats obtenus, il est recommandé d'assurer un suivi régulier et continu de l'indice SDI au niveau des différentes étapes de prétraitement. Une attention particulière devrait être accordée à l'étape de microfiltration, qui constitue la dernière barrière de protection avant l'osmose inverse. Il est également conseillé de renforcer les opérations de maintenance et de nettoyage des équipements de prétraitement afin de préserver leur efficacité et de garantir une alimentation optimale des membranes. Par ailleurs, la poursuite de l'étude du SDI sur des périodes plus longues et sous différentes conditions d'exploitation

permettrait de mieux comprendre l'évolution du risque de colmatage. Enfin, une analyse plus approfondie des différences observées entre les lignes Nord et Sud pourrait contribuer à l'optimisation du fonctionnement global de la station de dessalement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] A M. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, 2e édition TEC&DOC ,286p. 2006;
- [2] Renaud V. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. École normale supérieure. 2026
- [3] L, D T, G, L P, W, J E, et al. Descriptive physical oceanography : An introduction (6th ed.). Academic Press. 2011
- [4] Open University, Seawater : Its composition, properties and behaviour (2nd ed.). Butterworth-Heinemann UNESCO (2009), FAO (2013), HELCOM (2018). 2001;
- [5] Ahmouda, H B. Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de « les dunes » Oran, mémoire de master, Université Larbi Tebssi. 2015
- [6] <https://www.energy.gov.dz/?article=projet-de-dessalement-de-l'eau-de-mer>.
- [7] <https://www.algerie360.com/dessalement-deau-de-mer-lalgerie-inaugurera-5-nouvellesstations-a-lhorizon-2024/>,. 2024;
- [8] [https://www.lesoiralgerie.com/contribution/impact-environnemental-et-social du dessalement-65629](https://www.lesoiralgerie.com/contribution/impact-environnemental-et-social-du-dessalement-65629).
- [9] <https://ecotoxicologie.fr/impacts-dessalement-eau-mer>.
- [10] https://www.iwra.org/congress/2008/resource/authors/abs398_article.pdf. 2008;
- [11] Boucha M. Impact environnemental du dessalement de l'eau de mer, École Nationale polytechnique. 2017
- [12] <https://elwatan-dz.com/dessalement-de-leau-de-mer-quel-impact-sur-le-milieu-cotier>.
- [13] Manuel D'exploitation et D'entretien de L'usine de dessalement de MOSTAGANEM. 2011;
- [14] World Health Organization, desalination for safe water supply: Guidance for the health and environmental aspects. Geneva, Switzerland : Author. 2019
- [15] Renaudin V. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. In CultureSciences-Chimie [en ligne]. Nicolas Lévy. Site hébergé par l'Ecole Normale Supérieure. 2013
- [16] Bandelier P. Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres. 2016;
- [17] Bandelier. Électrodialyse pour extraire le sel des eaux saumâtres : usage de l'énergie. 2016
- [18] JEAN PM. Approche intégrée du dessalement d'eau de mer : Distillation membranaire sous vide pour la réduction des rejets salina et possibilités de couplage avec l'Energie solaire, Université de TOULOUSE. 2009

- [19] ZABBAR M. Diagnostic et Commande Tolérante dans les Systèmes de Dessalement D'eau, UNIVERSITE IBN-KHALDOUN TIARET, FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES. 2019
- [20] Disponible sur <https://www.franceenvironnement.com/question/comment-fonctionne-la-nanofiltration-des-eaux>. 2021;
- [21] Panagopoulos A, Joanne K, Louzidou M. « Desalination brine disposal methods and treatment technologies - A review », Science of The Total Environment, vol. 693, p. 133545. 2019;
- [22] Jiaping PC, S E, K C, et al. Handbook of Environmental Engineering, Volume 13: Membrane and Desalination Technologies, Edited by: L.K. Wang et al, M. Qasim, M. Badrelzaman, N. N. Darwish, N. A. Darwish, et N. Hilal.
- [23] « Reverse osmosis. desalination: A state-of-the-art review », Desalination, vol. 459, p. 59–104. 2019;
- [24] Le Guern C, Lachassagne Y, Noël Y, et al. « Dessalement et recharge artificielle : synthèse technico-économique » ,Rapport BRGM/RP—52262-FR. 2003
- [25] Algérie Presse Service. Avancée vers une sécurité hydrique durable pour l'Ouest du pays. 2025;
- [26] El Watan. Ressources en eau à Mostaganem : une station de dessalement d'eau de mer en projet. 2025;
- [27] CHOUACHI A, KADDOURI C. Étude de l'unité de dessalement de l'eau de mer MTM-Mostaganem, p21. 2021
- [28] Maurel. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Lavoisier Tec&Doc. 2001
- [29] Université de Mostaganem. Étude de la station de dessalement SONACTER – Mostaganem. 2024
- [30] DK News. Mostaganem : la station de dessalement de chelif. 2020;
- [31] BOUABDALLAH H, BEHILIL ME-A. Etude du procédé et de la conductivité de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem, p 13 et 14. Mostaganem; 2021
- [32] B H, Be MEA. Etude du procédé et de la conductivité de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem, p 14. 2021
- [33] B H, Be MEA. Etude du procédé et de la conductivité de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem, p 21. 2021
- [34] B H, Be MEA. Etude du procédé et de la conductivité de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem, p 16. 2021

Références bibliographiques

- [35] Bendahmane I, ZABBAR M. L'évaluations des performances d'osmose inverse membranaire, p10. 2019
- [36] Bendahmane I, ZABBAR M. L'évaluations des performances d'osmose inverse membranaire, p11. 2019
- [37] Bendahmane I, ZABBAR M. L'évaluations des performances d'osmose inverse membranaire, p12. 2019
- [38] Bendahmane I, ZABBAR M. L'évaluations des performances d'osmose inverse membranaire, p13. 2019
- [39] Bendahmane I, ZABBAR M. L'évaluations des performances d'osmose inverse membranaire, p15. 2019
- [40] Chartier M. Les prix du dessalement, Marée d'eau douce, Hydroplus, 121, p.24 à 39. 2002;
- [41] BOUABDALLAH H, BEHILIL ME-A. Etude du procédé et de la conductivité de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem, p21. 2021
- [42] BOUABDALLAH H, BEHILIL ME-A. Etude du procédé et de la conductivité de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem, p 20. 2021
- [43] Galus C. Les techniques de dessalement de l'eau de mer prennent de l'essor, extrait du Monde, , p.24. 2000;
- [44] Numéro spécial de Science et Vie sur l'eau, N°211. 2000;
- [45] BOUABDALLAH H, BEHILIL ME-A. Etude du procédé et de la conductivité de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem, p 17. 2021
- [46] Manuel de la station de dessalement de l'eau de mer de Mostaganem. 2011
- [47] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p3 et 4. Mostaganem: MTM/Aqualia/Inima (Groupe OHL); 2011
- [48] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p40. Mostaganem; 2011
- [49] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p15 et 16. 2011
- [50] B H, Be MEA. Etude du procédé de la conductivité de dessalement de l'eau de mer de la station de Mostaganem, p25. Mostaganem: Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem; 2021
- [51] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p19 et 20. Mostaganem; 2011
- [52] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p30. Mostaganem; 2011
- [53] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p5 à 7. 2011

Références bibliographiques

- [54] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p9 et 10. Mostaganem; 2011
- [55] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p28 et 29. Mostaganem; 2011
- [56] Hardness of Water | U.S. Geological Survey. 2019; Im Internet: <https://www.usgs.gov/water-science-school/science/hardness-water>; Stand: 23.05.2026
- [57] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p32 et 33. Mostaganem; 2011
- [58] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p17 et 18. Mostaganem; 2011
- [59] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p31. Mostaganem; 2011
- [60] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p42. Mostaganem; 2011
- [61] Borsali S. Procédures de laboratoire : Analyses physico-chimiques, p36 et 37. Mostaganem; 2011

Abstract

Water is one of the most important natural resources for sustaining life; however, Algeria faces increasing challenges related to water scarcity, which has led it to rely on the process of desalination by establishing several desalination plants along the coast, including the seawater desalination plant in Mostaganem. This station relies on reverse osmosis technology to produce drinking water. This technology faces the problem of membrane fouling, which negatively affects its operational lifespan and the quality of the produced water, and in some cases, it may lead to a decrease in the station's efficiency or its shutdown. Therefore, the station relies on continuous monitoring of the Silt Density Index (SDI) during the pre-treatment stage before the water enters the reverse osmosis stage. During the internship period, the study of the SDI index was monitored with the station's staff at three levels: first-stage filtration, second-stage filtration, and microfiltration. The results obtained showed that SDI values are higher than the recommended value during the first stage of filtration, and then gradually decrease during the subsequent stages to reach their lowest values in the microfiltration stage, which is the final stage before moving to the heart of the station. These results indicate the effectiveness of the pre-treatment stages at the station, as they allow for the removal of particles that cause membrane fouling, ensuring that the water enters the reverse osmosis stage under suitable conditions and limits the phenomenon of membrane fouling. Consequently, this preserves the membranes for the longest possible time, produces high-quality water, and ensures the continuous operation of the station.

Key words: Seawater desalination, reverse osmosis, pretreatment, Silt Density Index (SDI), membrane fouling, Mostaganem desalination plant.

Résumé

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus importantes pour la continuité de la vie, cependant, l'Algérie fait face à des défis croissants liés à la rareté des ressources en eau, ce qui l'a poussée à recourir à la désalinisation de l'eau de mer en construisant de nombreuses stations de désalinisation le long de la côte, parmi lesquelles la station de désalinisation de Mostaganem. Cette station utilise la technique de l'osmose inverse pour produire de l'eau potable. Cette technique rencontre le problème de colmatage des membranes, ce qui affecte négativement sa durée de vie opérationnelle et la qualité de l'eau produite, et peut dans certains cas entraîner une diminution du rendement de la station ou son arrêt. Par conséquent, la station s'appuie sur la surveillance continue de l'indice de colmatage (SDI) pendant la phase de prétraitement avant

que l'eau n'entre dans la phase d'osmose inverse. Pendant la période de stage, l'étude de l'indice SDI a été suivie avec l'équipe de travail de la station à trois niveaux : la filtration de la première étape, la filtration de la deuxième étape et la microfiltration. Les résultats obtenus ont montré que les valeurs de SDI sont supérieures à la valeur recommandée pendant la phase de filtration de première étape, puis commencent à diminuer progressivement au cours des étapes suivantes pour atteindre leurs valeurs les plus basses lors de la filtration fine, qui est la dernière étape avant de passer au cœur de la station. Ces résultats indiquent l'efficacité des étapes de prétraitement de la station, car elles permettent d'éliminer les particules causant le colmatage des membranes, garantissant ainsi l'entrée de l'eau dans la phase d'osmose inverse dans des conditions appropriées et limitant le phénomène de colmatage des membranes, préservant ainsi les membranes aussi longtemps que possible, produisant de l'eau de haute qualité, et assurant le bon fonctionnement de la station.

Mots-clés : Dessalement de l'eau de mer, osmose inverse, prétraitement, indice de colmatage (SDI), colmatage des membranes, station de dessalement de Mostaganem.

ملخص

يُعد الماء من أهم الموارد الطبيعية لاستمرار الحياة، غير أن الجزائر تواجه تحديات متزايدة مرتبطة بندرة الموارد المائية، مما دفعها إلى الاعتماد على عملية تحلية مياه البحر من خلال إنشاء العديد من محطات التحلية على طول الساحل، من بينها محطة تحلية مياه البحر بمستغانم. تعتمد هذه المحطة على تقنية التناضح العكسي لإنتاج المياه الصالحة للشرب. تواجه هذه التقنية مشكلة انسداد الأغشية، مما يؤثر سلبيًا على عمرها التشغيلي وجودة المياه المنتجة، وقد يؤدي في بعض الحالات إلى انخفاض مردودية المحطة أو توقفها، لذلك تعتمد المحطة على المراقبة المستمرة لمؤشر قابلية الانسداد خلال مرحلة المعالجة المسبقة قبل دخول المياه إلى مرحلة التناضح العكسي. خلال فترة التربص، تمت متابعة دراسة مؤشر مع طاقم العمل بالمحطة على مستوى ثلاث مراحل هي: الترشيح للمرحلة الأولى، الترشيح للمرحلة الثانية، والترشيح الدقيق، أظهرت النتائج المتحصل عليها أن قيم مؤشر قابلية الانسداد تكون أعلى من القيمة الموصى بها خلال مرحلة الترشيح للمرحلة الأولى، ثم تبدأ بالانخفاض تدريجيًا خلال المراحل اللاحقة لتصل إلى أدنى قيمها في مرحلة الترشيح الدقيق، وهي المرحلة الأخيرة قبل الانتقال إلى قلب المحطة، تدل هذه النتائج على فعالية مراحل المعالجة المسبقة بالمحطة، حيث تسمح بإزالة الجسيمات المسببة لانسداد الأغشية، مما يضمن دخول المياه إلى مرحلة التناضح العكسي في ظروف ملائمة ويحد من ظاهرة انسداد الأغشية، وبالتالي الحفاظ على الأغشية لأطول مدة ممكنة، إنتاج مياه ذات جودة عالية، وكذا ضمان استمرار سير المحطة.

الكلمات المفتاحية : تحلية مياه البحر؛ التناضح العكسي؛ المعالجة المسبقة؛ مؤشر قابلية الانسداد؛ انسداد الأغشية؛ محطة تحلية مستغانم.