

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA
FACULTE DE SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-ECOLOGIE



Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Spécialité : Eau et environnement

Thème

**Diagnostic de la performance de la station de
dessalement d'eau de mer à FOUKA, TIPAZA
Etude et évaluation**

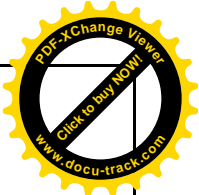
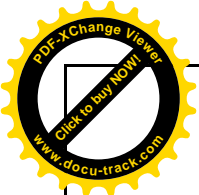
Présenté par :

Mellouk Hadil
Moussaoui Donia

Devant le jury composé de :

Dr. Degui.N	MCB	Promotrice	Blida 01
Dr. Amirouche. M	MCA	Président	Blida 01
Dr . Ouardi .L	MAA	Examinatrice	Blida 01

ANNÉE UNIVERSITAIRE :2024/2025



Résumé

Cette étude vise à évaluer la performance de l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka (Algérie) du point de vue technique, environnemental et de la qualité de l'eau produite, en utilisant la technologie de l'osmose inverse. L'évolution des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau a été analysée sur une période de trois mois (février, mars, avril), en plus des indicateurs de performance tels que le rendement, l'efficacité des membranes et la consommation d'énergie. Les résultats ont montré que l'eau produite est conforme aux normes de l'Organisation mondiale de la santé, avec une bonne efficacité et un écosystème surveillé. L'étude recommande de renforcer l'utilisation des énergies renouvelables et de suivre l'impact environnemental à long terme.

Mots-clés : Dessalement, Osmose inverse, Qualité de l'eau, Performance, Environnement

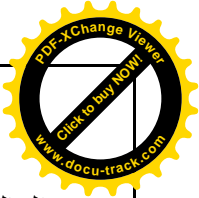
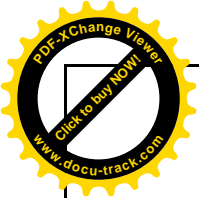
Performance diagnosis of the seawater desalination plant in FOUKA, tipaza Study and evaluation :

This study aims to evaluate the performance of the seawater desalination plant in Fouka (Algeria) in terms of technical and environmental aspects, as well as the quality of the produced water, using reverse osmosis technology. The evolution of the physical and chemical characteristics of the water was analyzed over three months (February, March, April), in addition to performance indicators such as yield, membrane efficiency, and energy consumption. The results showed that the produced water complies with World Health Organization standards, with good efficiency and a monitored ecosystem. The study recommends strengthening the use of renewable energies and monitoring the long-term environmental impact.

Keywords : Desalination, Reverse osmosis, Water quality, Efficiency, Environment

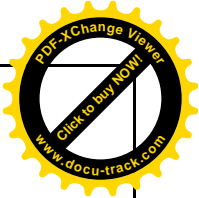
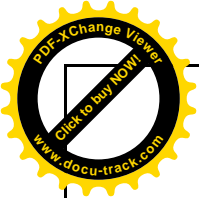
تشخيص أداء محطة تحلية مياه البحر في فوكة، تيبازة دراسة وتقييم :

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء محطة تحلية مياه البحر بفوكة (الجزائر) من حيث الجوانب التقنية والبيئية وجودة المياه المنتجة، باستعمال تقنية التناضح العكسي. تم تحليل تطور الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه على مدى ثلاثة أشهر (فبراير، مارس ، أبريل)، بالإضافة إلى مؤشرات الأداء مثل المرود، كفاءة الأغشية، واستهلاك الطاقة. أظهرت النتائج توافق المياه المنتجة مع معايير منظمة الصحة



العالمية، بالإضافة إلى كفاءة جيدة ونظام بيئي مراقب. توصي الدراسة بتعزيز استخدام الطاقات المتجددة ومراقبة الأثر البيئي على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: تحلية، تناضح عكسي، جودة المياه، الكفاءة، البيئة



Remerciements

« À force de persévérance, la goutte d'eau finit par creuser la pierre. »

Il est des moments dans la vie où les mots peinent à traduire la profondeur des sentiments. Ce mémoire marque pour nous l'aboutissement d'un parcours intense, fait de défis, d'apprentissages et de rencontres précieuses.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame Degui N., notre directrice de mémoire, pour sa bienveillance, ses conseils avisés et son accompagnement constant tout au long de ce travail. Son exigence et sa rigueur ont été pour nous des sources d'inspiration et de dépassement.

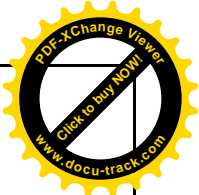
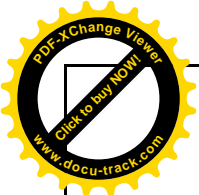
Nos remerciements les plus sincères vont également à Madame Messaoudi A., encadrante assistante, pour son soutien, sa disponibilité et son aide précieuse durant la réalisation de ce mémoire.

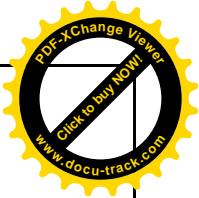
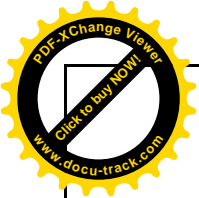
Nous souhaitons également remercier chaleureusement les responsables et le personnel de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka 1 (Tipaza) pour leur accueil, leur disponibilité et leur précieuse collaboration lors de notre stage pratique.

Nous adressons aussi nos remerciements à Monsieur Amirouche M., chef d'option, pour son engagement envers les étudiants et son rôle important dans notre formation.

Nous remercions sincèrement les membres du jury, Madame Degui N. (promotrice), Monsieur Amirouche M. (président) et Madame Ouardi L. (examinatrice), pour l'honneur qu'ils nous ont fait en évaluant notre travail, ainsi que pour leurs remarques pertinentes et enrichissantes.

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, recevez l'expression de notre reconnaissance sincère.





Dédicace

À ceux qui ont semé l'amour en moi avant même ma naissance,

À ceux qui m'ont abreuvée de patience quand mes forces faiblissaient,

À ma **mère**... à mon père, Vous êtes l'histoire qui ne s'éteint jamais, La prière qui ne vieillit pas, Le pilier lorsque le sol vacille sous mes pas. Par vous, tout a commencé,

Et par votre amour, mon rêve a fleuri.

À **Souhaib**, mon frère, compagnon d'enfance et voix de sagesse quand tout vacille,

Et à **Salsabil**, ma sœur, source d'une tendresse infinie, Chaque pas que j'ai fait portait votre empreinte, Vous étiez l'écho de mon cœur.

À **Lina**, éclat de douceur,

Et à **Rihab**, souffle de sérénité,

Vos mots étaient la brise qui calmait mes tempêtes, Et la lumière douce dans mes nuits prolongées.

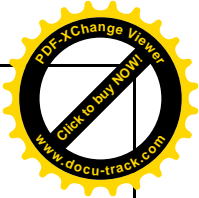
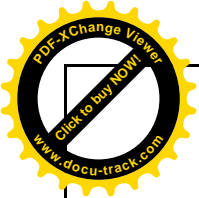
À **Salma, Fereil, Samah et Ikram**,

Vous qui avez été la présence quand tant d'autres s'absentaient, Le rire quand les jours s'assombrissaient, Merci d'avoir été ce refuge, Ce « chez-moi » dans les exils de l'âme.

Et enfin, à **Dounia**, ma complice dans cette aventure, Nous étions une idée, devenue projet, devenue force. Avec toi, chaque ligne a eu plus de sens, Et chaque difficulté un éclat de lumière.

Avec tout mon amour, Et une gratitude infinie.

Hadil



Dédicace

Avant tout, je dédie ce travail à **mes parents** , mes piliers, mes repères, ceux qui ont toujours cru en moi, même quand moi-même je doutais. Merci pour vos sacrifices silencieux, votre patience infinie et votre amour sans limite.

À mes sœurs, **Ahlem, Sanaa et Aïda**... Vous avez toujours été là, avec vos mots rassurants, vos sourires et votre soutien. Je vous aime plus que les mots ne peuvent le dire .et mes amours
jawad , racha, ramzi , fares ,nourcine

À ma jumelle, **Salma**... Que dire ? Tu es mon double, ma moitié, mon souffle quand je manque d'air, ma force quand je faiblis. Rien n'aurait été pareil sans toi."

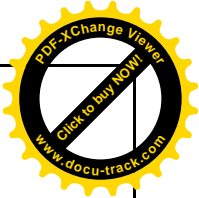
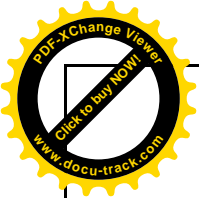
À ma binôme **Hadil**, avec qui j'ai partagé cette aventure... Merci pour ta patience, ton sérieux, mais surtout ton amitié sincère.

À toute ma famille et à mes amis, et plus particulièrement à **Wissem, Ahlem et Wafaa**...
Merci pour vos encouragements, vos fous rires, vos conseils et, surtout, votre présence, dans les bons comme dans les mauvais moments.

Et enfin... À toi, **Rahma**... Ton absence est une douleur qui ne s'efface pas, mais ton souvenir est une lumière qui ne s'éteint jamais repose en paix . Ce travail, je te le dédie, là où tu es, je sais que tu veilles et que tu continues de m'inspirer.

À vous tous, merci... Vous êtes ma force, mon refuge, ma plus belle richesse.

Dounia

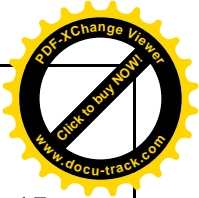
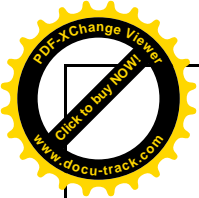


Résumé
Dédicaces
Remerciements

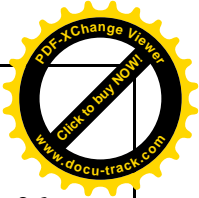
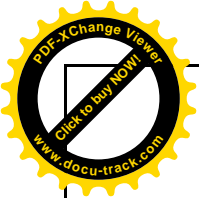
Table des matières

Listes des Tableaux
Listes des Figures
Liste des abréviations

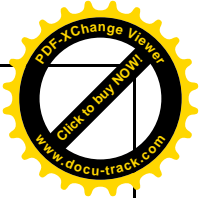
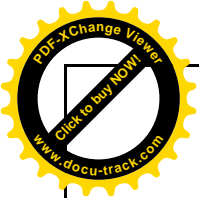
Introduction	I
Chapitre I: Le dessalement de l'eau de mer	1
I.1.Généralités sur le dessalement	1
I.2.Le Dessalement de l'Eau de Mer dans le Monde.....	1
I.3.Les principaux pays producteurs d'eau dessalée	1
I.4.Exemples de grandes stations de dessalement dans le monde	2
I.5.Le dessalement en Algérie	2
I.6.Comparaison des principales technologies de dessalement.....	3
I.7.Critères de potabilité de l'eau destinée à la consommation.....	3
I.8.Impact environnementale du dessalement	4
I.9.Types de rejets et leurs origines	4
I.9.2.Rejets chimiques	4
I.9.3.Saumure concentrée	4
Chapitre II: Méthodologie de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (cas de la station de Fouka 1)	6
I.1.Le système de contrôle et supervision	7
I.1.1. Laboratoire de contrôle qualité	7
I.1.2. Salle de supervision – Système SCADA	8
I.1.3. Logiciel de simulation TORAY	9
I.2. Description du procédé de dessalement	9
I.2.1.Prise d'eau	9
I.2.2. Conduite de prise d'eau.....	10
I.2.3.Prétraitement	11
I.2.4.Prétraitement physique.....	11
I.2.5.Prétraitement chimique	14
I.2.6. Traitement par osmose inverse.....	15



II.3.Post-traitement	17
II.4.Reminéralisation	17
I.5.Désinfection	18
I.6.Stockage et distribution.....	18
I.7.Gestion des effluents	19
Chapitre III : Matériel et Méthodes	21
I. Matériel	19
I.1 Présentation de la station de dessalement de Fouka 1.....	19
I.1.1 Localisation géographique	19
I.1.2.Caractéristiques techniques de la station.....	20
I.1.3 Configuration modulaire de production	20
I.2 Équipements et infrastructures	21
I.2.1 Système de captage	21
I.2.2 Équipements de pompage	21
I.2.3 Système de filtration	21
I.2.4 Unités d'osmose inverse	22
I.2.5 Système de post-traitement	22
I.3 Système de contrôle et supervision	22
I.3.1 Laboratoire de contrôle qualité	22
I.3.2 Système SCADA.....	22
II. Méthodes.....	23
II.1 Caractérisation de l'eau de mer d'entrée.....	23
II.1.1 Paramètres physico-chimiques de référence.....	23
II.1.2 Évaluation des risques sur les membranes.....	23
II.2 Méthodes d'analyse et de suivi	24
II.2.1 Paramètres de qualité surveillés.....	24
II.2.2 Protocoles de surveillance	24
II.3 Méthodologie d'évaluation des performances	25
II.3.1 Indicateurs de performance.....	25
II.3.2 Diagnostic des dysfonctionnements	25
II.4 Gestion environnementale	25
II.4.1 Suivi des rejets	25
II.4.2 Impact sur le milieu marin	25

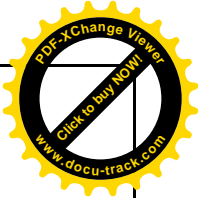
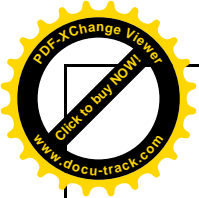


Chapitre IV : Résultats et discussion	26
I. Les paramètres physico-chimiques	26
I.1.La température de l'eau.....	26
I.2.Le pH.....	27
I.3.La turbidité	27
I.4.La conductivité.....	28
I.5.Indice SDI15 (Silt Density Index)	29
I.6.TDS	30
II.Analyse statistique des paramètres	31
III.Résumé global des tendances sur 12 semaines.....	33
IV.Impact environnemental	34
IV.1.Caractérisation des rejets	34
IV.2.Impacts observés.....	34
IV.3.Consommation énergétique	34
V.Solutions de mitigation mises en œuvre	34
VI.Indicateurs de Performance de la Station de Dessalement de Fouka 1	35
VI.1.Rendement de dessalement	36
VI.2.Taux de conversion.....	36
VI.3. Efficacité membranaire	36
VI.4. Consommation énergétique.....	37
Conclusion	38
Références bibliographiques	
Les annexes	



Liste des Tableaux

Tableau 1: Principaux pays producteurs d'eau dessalée et technologies utilisées	1
Tableau 2: Exemples de grandes stations de dessalement dans le monde.....	2
Tableau 3: État du dessalement en Algérie.....	2
Tableau 4: Principales technologies de dessalement : comparatif technique.....	3
Tableau 5: Paramètres suivis et méthodes d'analyse	7
Tableau 6: Exemple d'alarmes critiques	8
Tableau 7: Spécifications techniques de la station de dessalement de Fouka 1	20
Tableau 8: Régimes de fonctionnement de la station	21
Tableau 9: Analyse des risques liés à la qualité de l'eau d'entrée.....	23
Tableau 10: Paramètres de qualité et méthodes d'analyse.....	24
Tableau 12: analyse statistique des paramètres mesurés sur 12 semaines	32
Tableau 13: Évolution des paramètres sur 12 semaines	33
Tableau 14: Mesures environnementales adoptées à la station de Fouka 1	35
Tableau 15: récapitulatif de rendement de dessalement.....	37



Liste des figures

Figure 1: Schéma du système de contrôle de la station de dessalement de Fouka 1	7
Figure 2: Laboratoire de contrôle qualité	8
Figure 3: Salle de supervision	9
Figure 4: Description du procédé de dessalement	9
Figure 5: Les deux bouées de signalisation qui indiquent le positionnement de la conduite d'aspiration d'eau de mer	10
Figure 6: Station de pompage d'eau brute.....	11
Figure 7: Les filtres à sable	12
Figure 8: Les filtres à cartouches	13
Figure 9: station de pompage d'eau filtrée	13
Figure 10: Les cartouches filtrantes	14
Figure 11: Réservoirs de produits chimiques	15
Figure 12: Pompe HP	17
Figure 13: Pompe BOOSTER	16
Figure 14: Les racks	17
Figure 15: Récupérateur d'énergie	17
Figure 16: Saturateur de chaux.....	17
Figure 17: Silos de chaux	18
Figure 18: Station de production de CO2 (Photos personnelle).....	18
Figure 19: Station de pompage d'eau traitée	19
Figure 20: Localisation de Station de dessalement de l'eau de mer Fouka 1	19
Figure 21: Évolution de la température de l'eau (Eau brute et Eau traitée) sur 12 semaines ...	26
Figure 22: Évolution du pH de l'eau (brute et traitée) pendant 12 semaines	27
Figure 23: Variation de la turbidité de l'eau à différentes étapes du traitement.....	28
Figure 24: Variation de la conductivité de l'eau traitée et filtrée sur 12 semaines	29

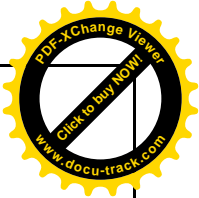
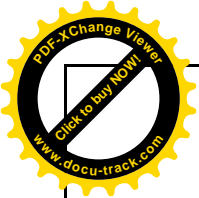
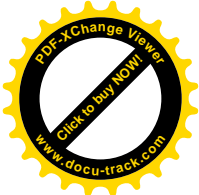
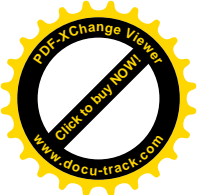
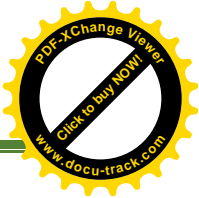
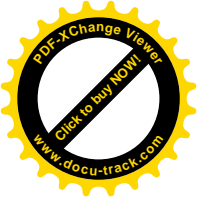


Figure 25: Indice SDI15 de l'eau brute et filtrée au cours du temps..... 30

Figure 26: Évolution du TDS (Total des Solides Dissous) dans l'eau brute et traitée 31



Introduction



Introduction

L'eau est un élément indispensable à la vie et au développement des sociétés humaines. Toutefois, sa répartition inégale à l'échelle mondiale en fait également une source de vulnérabilité, de conflits et de privations pour une grande partie de la population. Aujourd'hui, plus de 750 millions de personnes, soit environ 11 % de la population mondiale, n'ont toujours pas accès à une eau potable. Cette situation est particulièrement critique pour les enfants d'autant plus que les statistiques montrent que près de 1 000 d'entre eux meurent chaque jour de maladies liées à une eau insalubre (**UNICEF, 2015**).

Bien que l'eau couvre environ 75 % de la surface terrestre, seulement 2,5 % est de l'eau douce, dont une large part est difficilement accessible (**Oki et Kanae, 2006**). Ce paradoxe souligne l'importance croissante de l'eau comme enjeu stratégique et environnemental majeur du XXI^e siècle. Les pressions exercées par la croissance démographique, l'urbanisation, les pollutions industrielles et agricoles, ainsi qu'une gestion inefficace des ressources, contribuent à accentuer la pénurie d'eau douce à l'échelle planétaire (**UNESCO, 2020 ; Vörösmarty et al., 2010**).

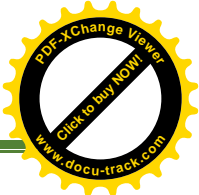
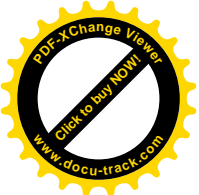
Face à cette crise, la disponibilité de l'eau, tant en quantité qu'en qualité, ainsi que la protection des écosystèmes aquatiques et de leur biodiversité, deviennent des priorités pour de nombreux pays, y compris les plus développés (**Evren Cappellaro, 2023**).

Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer s'impose progressivement comme une solution stratégique pour faire face au stress hydrique. Si les causes de la raréfaction de l'eau sont multiples – changement climatique, agriculture intensive, croissance démographique – elles obligent les États à repenser leurs politiques hydriques afin de préserver leur stabilité, leur résilience et leur souveraineté (**Eyl-Mazzega, 2022**).

C'est dans cette optique que plusieurs stations de dessalement ont été installées, notamment la station de Fouka 1, située dans la wilaya de Tipaza (Algérie), qui constitue le sujet de la présente étude. Ce travail vise à évaluer les performances de cette station à travers une approche diagnostique.

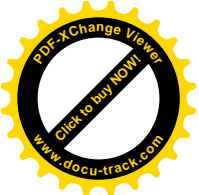
Pour mener à bien cette recherche, nous avons structuré notre mémoire comme suit :

- **Une introduction**, présentant le contexte mondial de la pénurie d'eau ainsi que les enjeux qui y sont liés.
- **Première partie** : revue bibliographique, divisée en deux chapitres :
 - Chapitre 1 : Le dessalement de l'eau de mer et les impacts environnementaux du dessalement



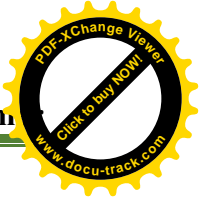
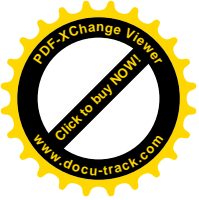
Introduction

- Chapitre 2 : La technique de l'osmose inverse
- **Deuxième partie** : Matériel et méthodes, dans laquelle nous avons présenté la localisation de la station de dessalement de Fouka 1 ainsi que les méthodes d'analyse utilisées.
- **Troisième partie** : Résultats et discussion, consacrée à l'interprétation des données recueillies.
- **Conclusion générale**, qui récapitule les principaux résultats et ouvre sur quelques perspectives.



Chapitre I:

Le dessalement de l'eau de mer



I.1.Généralités sur le dessalement

Le dessalement est un processus consistant à éliminer les sels dissous et autres minéraux présents dans l'eau de mer ou l'eau saumâtre, afin de produire de l'eau douce destinée à la consommation humaine, à l'agriculture ou à l'industrie (Samhari, 2021 ; Rayah, 2023). Cette technologie est devenue indispensable dans les régions arides et semi-arides où les ressources naturelles en eau douce sont limitées.

Il existe deux grandes catégories de procédés de dessalement :

- Les procédés thermiques (ex : distillation multistade MSF, distillation à effet multiple MED)
- Les procédés membranaires (ex. : osmose inverse, électrodialyse), aujourd'hui dominés par l'osmose inverse, qui représente environ 69 % de la capacité mondiale (Rayah, 2023 ; Samhari, 2021).

I.2.Le Dessalement de l'Eau de Mer dans le Monde

Bien que le dessalement soit une solution efficace à la pénurie d'eau, il soulève plusieurs défis majeurs (Sylvius, 2023 ; Global Water Intelligence, 2023) :

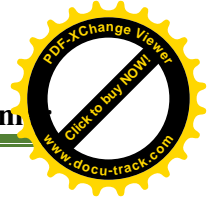
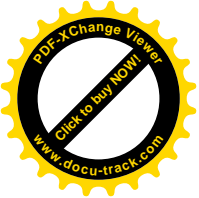
- Coûts énergétiques élevés, notamment pour les procédés thermiques
- Impacts environnementaux liés aux rejets de saumure concentrée dans le milieu marin
- Dépendance technologique à l'importation d'équipements spécialisés

I.3.Les principaux pays producteurs d'eau dessalée

Plusieurs pays ont développé à grande échelle des capacités de dessalement, notamment dans les régions arides ou souffrant de stress hydrique structurel. Le tableau suivant présente les cinq principaux producteurs d'eau dessalée dans le monde, ainsi que leur technologie dominante.

Tableau 1:Principaux pays producteurs d'eau dessalée et technologies utilisées

Pays	Capacité de production (m ³ /jour)	Technologie principale
Arabie Saoudite	> 7 000 000	MSF, Osmose Inverse
Émirats Arabes Unis	> 3 600 000	Osmose Inverse (OI)
Espagne	> 1 600 000	Osmose Inverse (OI)
États-Unis	> 1 300 000	Osmose Inverse (OI)
Israël	> 700 000	Osmose Inverse (OI)



I.4.Exemples de grandes stations de dessalement dans le monde

Certaines stations de dessalement se distinguent par leur capacité exceptionnelle, leur technologie ou leur intégration d'énergies renouvelables. Ci-dessous quelques exemples représentatifs à l'échelle mondiale (**Tableau 2**).

Tableau 2:Exemples de grandes stations de dessalement dans le monde

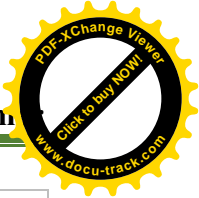
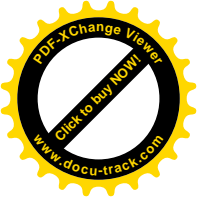
Station	Pays	Capacité (m³/jour)	Particularité
Shuaiba 3	Arabie Saoudite	880 000	Très grande capacité, technologie thermique (MSF)
Ashkelon	Israël	330 000	Osmose inverse, l'une des plus grandes du pays
Carlsbad	États-Unis (Californie)	190 000	Osmose inverse, hautement automatisée
Perth SWRO	Australie	140 000	Partiellement alimentée par énergie renouvelable

I.5.Le dessalement en Algérie

L'Algérie a mis en œuvre une stratégie ambitieuse de développement du dessalement, afin de renforcer sa sécurité hydrique. Les principales caractéristiques de ce programme sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 3:État du dessalement en Algérie (2023) (Sources : Zemmal et al., 2023 ; Tafna et Driss, 2024)

Aspect	Détail
Nombre de stations	Plus de 15 stations en activité
Exemples de stations	Fouka, Mostaganem, Skikda, Hamma
Capacité totale actuelle	Environ 2,5 millions de m³/j
Objectif pour 2026	Atteindre 3,8 millions de m³/j
Technologie dominante	Osmose Inverse (OI)
Source énergétique	Principalement gaz naturel ; projets de couplage avec énergie solaire



Stratégie nationale	Sécurisation hydrique et réduction de la dépendance aux ressources naturelles
---------------------	---

I.6. Comparaison des principales technologies de dessalement

Différentes technologies de dessalement présentent des rendements, avantages et limites variés. Le tableau ci-dessous en propose une synthèse.

Tableau 4: Principales technologies de dessalement : comparatif technique (Sources : Samhari, 2021 ; Aït Younes et Akarkar, 2022)

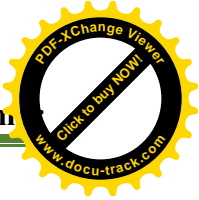
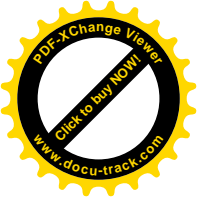
Technologie	Principe	Rendement	Avantages	Limites
Osiose Inverse (OI)	Pression à travers membrane semi-perméable	45–60 %	Modulaire, efficace, répandue	Énergie élevée, colmatage, coût des membranes
Distillation MSF	Évaporation multistade	≈ 30 %	Fiable pour eau très salée	Très énergivore
Distillation MED	Effet multiple de chaleur	≈ 35 %	Moins énergivore que MSF	Infrastructure complexe
Électrodialyse (ED)	Déplacement ionique	40–60 %	Efficace pour eau saumâtre	Peu adaptée à l'eau de mer
Distillation membranaire	Évaporation via membrane hydrophobe	20–30 %	Compatible avec l'énergie solaire	En développement, faible rendement

I.7. Critères de potabilité de l'eau destinée à la consommation

Selon les Guidelines for Drinking-Water Quality de l'OMS (2022), une eau potable doit répondre à des critères physico-chimiques et microbiologiques stricts :

- Teneur en solides dissous totaux (TDS) < 500 mg/L
- pH compris entre 6,5 et 8,5
- Absence de pathogènes (bactéries, virus)
- Teneurs limitées en nitrates, métaux lourds et substances toxiques

Les eaux dessalées doivent en général être reminéralisées afin de stabiliser le pH et de garantir une composition minérale adaptée à la consommation.



I.8. Impact environnementale du dessalement

Le dessalement de l'eau de mer constitue une alternative incontournable face au stress hydrique croissant, particulièrement dans les régions côtières. Cependant, cette technologie génère des impacts environnementaux significatifs qui nécessitent une gestion rigoureuse (**Jones et al., 2019**).

Les principaux enjeux concernent le rejet des saumures concentrées et des effluents chimiques dans le milieu marin, modifiant la salinité locale et affectant la biodiversité côtière (**Lattemann et Höpner, 2008**). Par ailleurs, la forte consommation énergétique du procédé contribue indirectement aux émissions de gaz à effet de serre.

I.9. Types de rejets et leurs origines

I.9.1. Rejets atmosphériques

Les installations thermiques (distillation multi-effets, distillation flash) génèrent :

- Émissions de gaz à effet de serre (CO_2 , NO_x , SO_x)
- Vapeurs d'eau chaude
- Particules fines et aérosols

Ces émissions contribuent à la pollution atmosphérique et à l'empreinte carbone des projets (**Abderrahmane et Bouri, 2022**).

I.9.2. Rejets chimiques

Les installations d'osmose inverse nécessitent plusieurs produits chimiques :

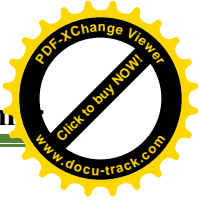
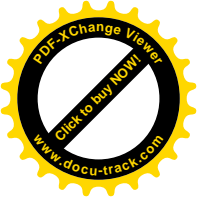
- **Biocides** : prévention de l'encrassement biologique
- **Antiscalants** : limitation des dépôts minéraux
- **Acides et bases** : nettoyage des membranes

Ces substances, partiellement retrouvées dans les rejets liquides, peuvent modifier la composition chimique de l'eau de mer et affecter la biodiversité marine (**Mimoune et al., 2022**).

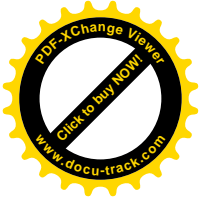
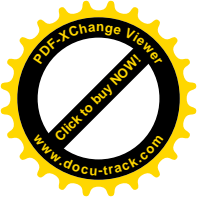
I.9.3. Saumure concentrée

Principal rejet du dessalement, la saumure se caractérise par (**Lamri et al., 2021**) :

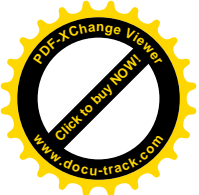
- Salinité doublée par rapport à l'eau de mer



- Températures élevées (procédés thermiques)
- Présence de résidus chimiques
- Effets de stratification salée et baisse de l'oxygène dissous



Chapitre II:
**Méthodologie de dessalement de
l'eau de mer par osmose inverse
(cas de la station de Fouka 1)**



Le dessalement par OI est aujourd'hui la technologie la plus utilisée au niveau mondial pour produire de l'eau douce à partir de ressources salines. Ce procédé repose sur le passage de l'eau salée sous haute pression à travers une membrane semi-perméable, qui retient les sels dissous et les impuretés tout en laissant passer les molécules d'eau (**Barboiu, 2019**). Grâce à des taux de réjection supérieurs à 98 % et à des systèmes de récupération d'énergie (type PX), l'OI offre une efficacité élevée avec une consommation énergétique optimisée (**Turki et al., 2016**).

Ce chapitre présente l'organisation et le fonctionnement de la station de Fouka 1 (Tipaza), en décrivant successivement les étapes du procédé : captage, prétraitement, osmose inverse, post-traitement et gestion des rejets.

I.1.Le système de contrôle et supervision

La performance d'une station de dessalement repose sur un pilotage centralisé et une analyse en temps réel des paramètres clés liés à la qualité de l'eau, à la performance des équipements, et à la gestion des effluents. Ce système s'articule autour de deux piliers principaux:

- Le laboratoire de contrôle qualité,
- La salle de supervision équipée du système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Ces éléments sont complétés par un réseau de capteurs en ligne, des alarmes techniques et environnementales, ainsi qu'un logiciel de simulation et d'optimisation des performances membranaires (TORAY). L'organisation globale du système de supervision de la station de dessalement de Fouka 1 est illustrée dans la figure ci-dessous

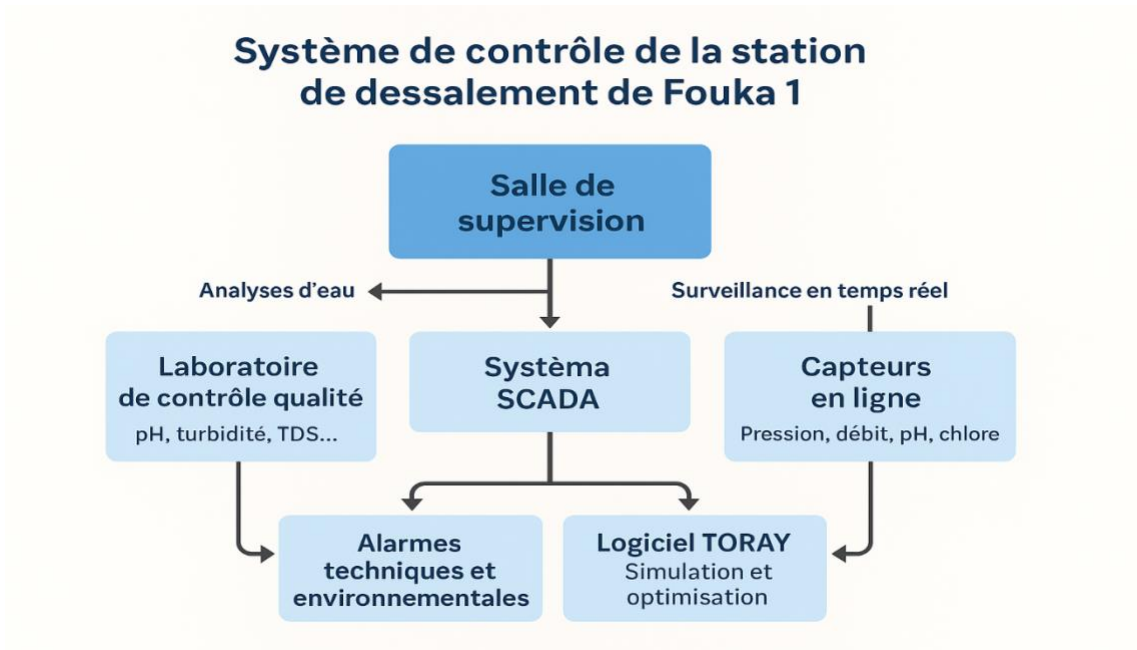


Figure 1: Schéma du système de contrôle de la station de dessalement de Fouka 1

I.1.1. Laboratoire de contrôle qualité

Le laboratoire analyse les paramètres de l'eau à différentes étapes du traitement pour garantir sa conformité aux normes de potabilité (Tableau 05, Figure 02.).

Tableau 5: Paramètres suivis et méthodes d'analyse (Boukhari, 2024)

Paramètre	Méthode	Objectif
pH	Potentiométrie	Contrôle de la neutralisation
Turbidité (NTU)	Néphélobimétrie	Détection des particules résiduelles
Conductivité / TDS	Conductimétrie	Suivi de la salinité
Dureté totale	Complexométrie (EDTA)	Contrôle de la reminéralisation
Chlore résiduel	Colorimétrie DPD	Vérification de la désinfection finale
Nitrates, sulfates, silice	Spectrophotométrie / IC	Paramètres environnementaux spécifiques



Figure 2:Laboratoire de contrôle qualité

I.1.2. Salle de supervision – Système SCADA

Le système SCADA assure le pilotage automatique et la surveillance en temps réel de l'installation (Tableau 06, Figure 03). Ces fonctions principales sont :

- Commande des équipements (pompes, vannes, dosage)
- Suivi des variables critiques : débit, pression, température, pH, chlore
- Détection et gestion des alarmes (p. ex. surpression, défaut de chlore...)

Tableau 6:Exemple d'alarmes critiques (Boukhari, 2024)

Alarme	Seuil critique	Action déclenchée
Surpression membranes	> 70 bars	Arrêt pompes + rinçage automatique
pH de rejet < 6,0	< 6,0	Injection de chaux
Chlore résiduel insuffisant	< 0,2 mg/L	Vérification du dosage

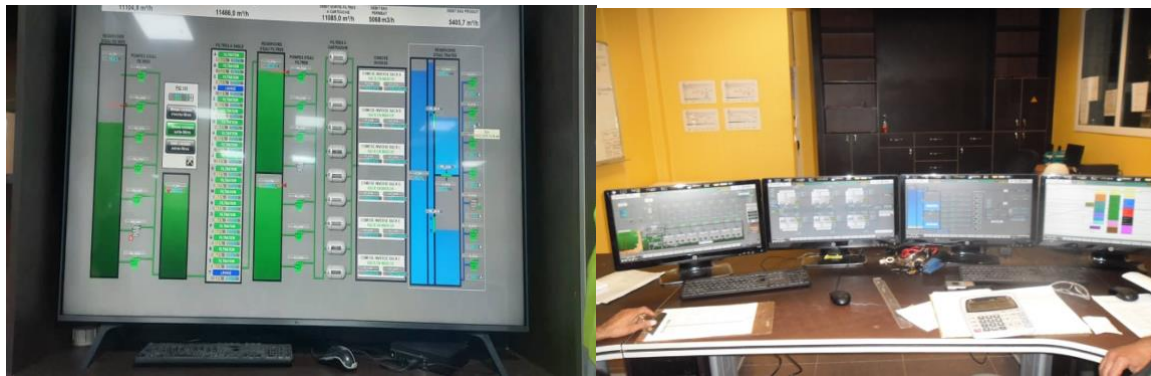


Figure 3: Salle de supervision

I.1.3. Logiciel de simulation TORAY

Utilisé pour modéliser et optimiser les performances membranaires selon les paramètres d'entrée (température, TDS, pression) (Boukhari, 2024)

I.2. Description du procédé de dessalement

Le fonctionnement de station se décompose en trois parties principales illustré dans le schéma ci-dessous

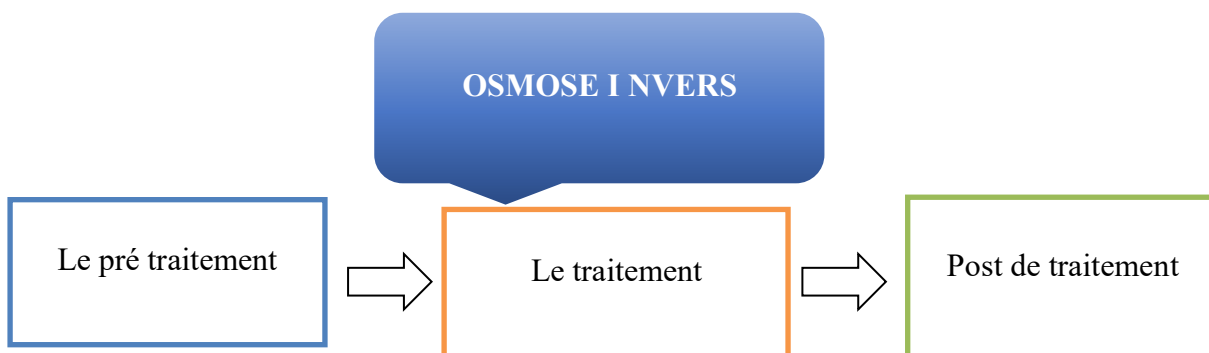


Figure 4: Description du procédé de dessalement

I.2.1. Prise d'eau

La prise d'eau constitue la première étape du procédé. Elle capte l'eau brute directement depuis la mer, à une distance et une profondeur calculée pour éviter l'aspiration de sédiments, débris ou organismes vivants (Boukhari, M. R. (2024).

La station de **Fouka 1** comprend :

- Une **tour de captage** située à distance de la côte,
- Un **système de conduite** pour l'adduction vers l'usine (Figure 05),

- Des **protections mécaniques** (grilles, crépines) contre les matières solides



Figure 5: Les deux bouées de signalisation qui indiquent le positionnement de la conduite d'aspiration d'eau de mer

I.2.2. Conduite de prise d'eau

La conduite d'adduction transporte l'eau de mer captée jusqu'aux unités de traitement. Ses caractéristiques techniques sont (**Boukhari, M. R., 2024**) :

- **Matériau** : polyéthylène haute densité (PEHD) ou béton armé
- **Diamètre** : 1200 à 2000 mm selon le débit
- **Longueur** : plusieurs centaines à milliers de mètres
- **Vitesse de l'eau** : 0,8 à 1,2 m/s pour éviter les dépôts

À la station de Fouka 1, la prise d'eau s'effectue par deux conduites en polyéthylène de diamètre 1600 mm. L'aspiration se fait à travers une grille située entre -13 et -9 m, l'eau s'écoulant gravitairement. L'eau brute passe par des grilles pour éliminer les gros éléments, puis reçoit une injection d'hypochlorite de calcium et d'acide sulfurique avant stockage dans le réservoir d'eau de mer (**ARBOUCHE IMAD-EDDINE**).

La station comprend sept pompes de débit 1870 m³/h à 4 bars, aspirant l'eau du réservoir et la refoulant vers le système de filtration via une conduite DN 1400 en fibre de verre (GRP) (**ARBOUCHE IMAD-EDDINE**) (Figure 06).



Figure 6: Station de pompage d'eau brute

I.2.3. Prétraitement

Le prétraitement protège les membranes OI contre l'encrassement, l'entartrage et le biofouling. Cette étape combine des traitements physiques et chimiques organisés séquentiellement (**Boukhari, M. R., 2024**).

I.2.4. Prétraitement physique

Le prétraitement physique vise à retirer mécaniquement les matières en suspension avant le passage dans les unités d'OI. Le dessablage s'effectue par séparateur hydraulique de type cyclone ou par décantation naturelle, permettant de retirer les grains supérieurs à 100 μm et de protéger les pompes (**Boukhari, 2024**).

Le dégrillage à barres fixes utilise des grilles métalliques à espacement de 10 à 20 mm pour retenir les déchets grossiers tels que les algues, sacs plastiques et coquillages. Cette étape constitue une protection mécanique essentielle pour les équipements en aval (**Metaiche, M., 2006 ; Boukhari, 2024**).

Le tamis à bande mobile, constitué d'un filet rotatif fin ou d'un tamis vibrant, capture les particules inférieures à 5 mm. Cette filtration fine évite l'encrassement prématuré des filtres à sable et améliore l'efficacité globale du prétraitement (**Boukhari, 2024**).

La filtration sur sable utilise des filtres rapides sous pression de type multicouches, composés d'antracite, de sable et de gravier. Cette configuration permet un abattement efficace

de la turbidité à un niveau inférieur à 1 NTU Nephelometric Turbidity Unit (Unité de turbidité mesurée par néphélométrie) condition essentielle pour protéger les membranes d'OI. À la station de Fouka 1, cette étape comprend 20 filtres à sable (Figure 07) utilisant un mélange de sable et d'anthracite (**Boukhari, 2024 ; ARBOUCHE IMAD-EDDINE**).



Figure 7: Les filtres à sable

Les filtres à cartouches de 5 μm constituent la dernière barrière physique avant les membranes d'OI. Ces cartouches en polypropylène ou fibre plissée éliminent les particules résiduelles et garantissent une eau d'alimentation de très haute qualité. À la station de Fouka 1, l'eau passe par 10 filtres à cartouches (Figure 08) avant de recevoir un anti-scalant et du bisulfite dans un mélangeur statique (**Boukhari, 2024 ; ARBOUCHE IMAD-EDDINE**).



Figure 8: Les filtres à cartouches



Figure 9: station de pompage d'eau filtrée



Figure 10: Les cartouches filtrantes

I.2.5. Prétraitement chimique

Vise à éliminer ou neutraliser les éléments dissous pouvant endommager les membranes (chlore, ions responsables de tartre, matières colloïdales). Il passe par les étapes suivantes :

a. Coagulation : constitue la première étape, utilisant du chlorure ferrique (FeCl_3) ou du sulfate d'aluminium pour neutraliser les charges électriques des particules colloïdales et favoriser leur agglomération. Cette opération s'effectue dans une bêche de coagulation équipée d'un système d'agitation douce (Boukhari, 2024)

b. Flocculation : suit immédiatement la coagulation, permettant la formation de flocs plus lourds et plus faciles à décantier. Cette étape se déroule dans une bêche équipée d'un agitateur à faible vitesse, optimisant ainsi la formation des agrégats particuliers (Boukhari, 2024)

c. Décantation lamellaire : intervient ensuite grâce à un décanteur à plaques inclinées qui sépare gravitairement les flocs formés en flocculation, entraînant une réduction importante de la turbidité (Boukhari, 2024)

d. L'injection Antiscalant (séquestrant) : représente une étape critique du prétraitement chimique. Ces produits, généralement à base d'acide phosphonique ou de polymères organiques,

inhibent la cristallisation des sels tels que le carbonate de calcium (CaCO_3) et le sulfate de calcium (CaSO_4). Le dosage s'effectue par pompe péristaltique avant l'unité d'osmose inverse (**Boukhari, 2024**)

e. **Déchloration (SMBS)** : constitue la dernière étape du prétraitement chimique, utilisant le métabisulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) pour neutraliser le chlore libre et éviter l'oxydation des membranes polyamides. Ce produit est injecté juste avant les cartouches filtrantes pour assurer une protection optimale des membranes (**Bendaoud, A. et al., 2024 ; Boukhari, 2024**).



Figure 11: Réservoirs de produits chimiques

I.2.6. Traitement par osmose inverse

Le traitement par OI constitue le cœur du système de dessalement. Cette étape réalise la séparation de l'eau douce des sels dissous par passage forcé à travers des membranes semi-perméables sous haute pression. L'unité comprend des pompes haute pression, des modules de membranes spiralées et des systèmes de récupération d'énergie (**Boukhari, M. R., 2024**).

Les pompes haute pression fournissent l'énergie motrice nécessaire pour forcer l'eau de mer à travers les membranes à une pression supérieure à la pression osmotique, généralement autour de 65 bars pour l'eau de mer. À la station de Fouka 1, chaque module RO traite environ $50 \text{ m}^3/\text{h}$ à une pression de service de 60 à 70 bars. Ces pompes centrifuges multicellulaires en acier inoxydable (Figure 13) résistent à la corrosion saline et sont pilotées par des variateurs de

fréquence (VFD) pour optimiser la consommation d'énergie selon les conditions d'entrée (Boukhari, M. R., 2024).



Figure 12:Pompe HP



Figure 13:Pompe BOOSTER

Le système d'OI de Fouka 1 comprend 6 unités identiques. Chaque unité est composée d'un train de membranes (rack) (Figure 14) contenant 216 tubes de pression avec 7 membranes par tube, d'une pompe Booster de 850 m³/h à 2 bars, d'une pompe haute pression de 850 m³/h à 66 bars et d'un système de récupération d'énergie de 50 m³/h à 82,7 bars (**ARBOUCHE IMAD-EDDINE**).



Figure 14: Les racks

Figure 15: Récupérateur d'énergie

Le système de récupération d'énergie (Figure 14) joue un rôle crucial dans l'optimisation énergétique du procédé. Il utilise un échangeur de pression de type PX (Pressure Exchanger) qui transfère la pression du rejet concentré (brine) à l'eau d'alimentation nouvelle. Ce système permet une économie substantielle de 30 à 50 % sur la consommation énergétique globale du procédé, rendant le dessalement plus économiquement viable (Boukhari, 2024).

II.3. Post-traitement

Le post-traitement transforme l'eau osmosée en eau potable conforme aux normes de distribution. L'eau produite par OI étant déminéralisée, corrosive et légèrement acide, elle nécessite une reminéralisation, une neutralisation et une désinfection pour devenir consommable (Boukhari, M., 2024).

II.4. Reminéralisation

L'ajout de chaux hydratée ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) constitue la première étape de reminéralisation (Figure 16). Cette opération vise à corriger l'acidité de l'eau osmosée dont le pH est généralement inférieur à 6,5, et à apporter du calcium nécessaire à la reminéralisation tout en prévenant la corrosion des canalisations. L'eau est traitée dans une bache de post-traitement où une solution de chaux hydratée est injectée, tandis qu'un lit de calcite agit en complément pour stabiliser le pH autour de 7 à 8 (Boukhari, 2024).



Figure 16:Saturateur de chaux

Figure 17:Silos de chaux

L'injection de dioxyde de carbone (CO_2) complète le processus de reminéralisation en stabilisant le pH final par combinaison avec la chaux. Cette opération permet la formation contrôlée de bicarbonate de calcium ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), contribuant ainsi à la reminéralisation de l'eau. Le CO_2 gazeux est injecté de manière contrôlée via un diffuseur ou un mélangeur dynamique, suivi d'un contact avec un réacteur à lit calcaire pour optimiser la réaction acidobasique (Aït Younes, A. et Akarkar, S., 2022 ; Boukhari, 2024). (Figure 18)



Figure 18:Station de production de CO_2 (Photos personnelle)

I.5. Désinfection

La désinfection élimine tout risque microbiologique avant le stockage et la distribution. Elle s'effectue par injection de chlore gazeux (Cl_2) ou d'hypochlorite de sodium (NaClO), avec des doses ajustées automatiquement selon le débit et la turbidité pour maintenir un résiduel libre inférieur à 1 mg/L. Le point de dosage est situé juste avant les réservoirs de stockage pour garantir une désinfection efficace (Rapenne, S., 2007 ; Boukhari, 2024).

I.6. Stockage et distribution

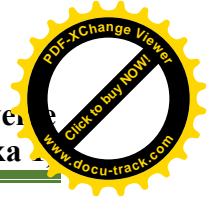
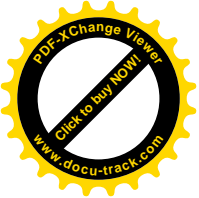
L'eau potable produite est dirigée vers un réservoir de stockage tampon de grande capacité (généralement 5000 à 10 000 m³) qui permet de réguler le débit et d'assurer une disponibilité continue (Figure 19). Ce réservoir lisse les fluctuations de production et maintient une réserve stratégique. L'eau est ensuite acheminée vers les points de consommation grâce à des pompes de reprise équipées de variateurs de fréquence pour adapter la pression selon la demande et garantir la continuité de l'approvisionnement. Un contrôle permanent des paramètres (niveau, pH, chlore, turbidité) assure la qualité de l'eau distribuée (Boukhari, M. R., 2024 ; El Amine, M., 2021).

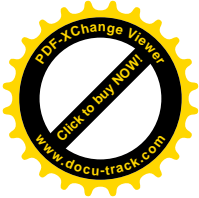
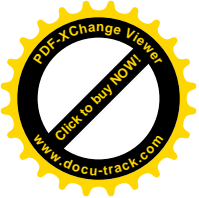


Figure 19: Station de pompage d'eau traitée

I.7. Gestion des effluents

La gestion des effluents salins (brine) constitue un aspect environnemental crucial du procédé. Le système comprend une bache de neutralisation pour ajuster le pH de la saumure, des pompes de rejet qui conduisent le concentrat vers un émissaire sous-marin, et un suivi continu des paramètres tels que la température, la salinité et le débit rejeté. Cette gestion contrôlée minimise l'impact environnemental du rejet salin (Grine, 2024).





Partie 2 :

Matériel et Méthodes

I. Matériel

I.1 Présentation de la station de dessalement de Fouka 1

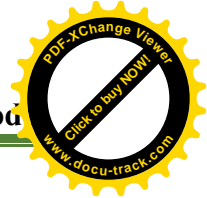
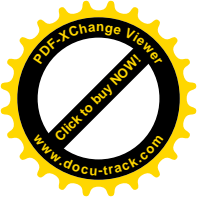
I.1.1 Localisation géographique

La station de dessalement de Fouka 1 est implantée dans la commune de Fouka, wilaya de Tipaza, située à environ 50 km à l'ouest d'Alger sur le littoral méditerranéen algérien (Figure 20). Cette localisation stratégique en bordure de mer facilite le captage direct de l'eau de mer nécessaire au procédé de dessalement et permet l'approvisionnement des zones urbaines de la région centre du pays selon Algerian Energy Company (AEC)



Figure 20: Localisation de Station de dessalement de l'eau de mer Fouka 1

La station est positionnée dans la zone côtière de Fouka Marine, dans un secteur industriel aménagé pour les infrastructures stratégiques. Le choix de cette implantation répond à plusieurs critères : proximité immédiate de la mer, facilité d'accès aux réseaux d'eau et d'électricité, et réponse au besoin croissant en eau potable pour alimenter la wilaya d'Alger et les communes avoisinantes.



I.1.2. Caractéristiques techniques de la station

La station de dessalement de Fouka 1 présente des caractéristiques techniques qui en font l'une des installations les plus importantes d'Algérie. Le tableau 07 synthétise les principales spécifications de cette infrastructure stratégique.

Tableau 7:Spécifications techniques de la station de dessalement de Fouka 1

Élément	Détails
Nom officiel	Station de dessalement de Fouka (« Fouka 1 »)
Date de mise en service	2008
Capacité nominale	120 000 m ³ /jour
Population desservie	Plus de 1 million d'habitants
Zone de desserte	Zéralda, Staouéli, Tipaza, Cherchell
Technologie principale	Osмосe inverse
Nombre d'unités OI	6 unités identiques
Statut actuel	Fonctionnelle avec modernisation 2023

I.1.3 Configuration modulaire de production

La station présente une flexibilité opérationnelle permettant d'adapter la production selon la demande grâce à son système modulaire. Cette conception permet une gestion optimisée des ressources énergétiques et une maintenance facilitée. Le tableau 08 illustre les différents régimes de fonctionnement possibles en fonction du nombre d'unités d'OI en service.

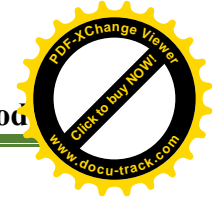
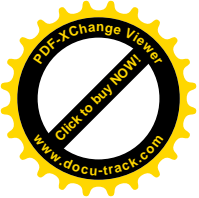


Tableau 8:Régimes de fonctionnement de la station

Unités OI en service	Débit (m ³ /jour)	Pourcentage du débit nominal
1	20 000	17%
2	40 000	33%
3	60 000	50%
4	80 000	67%
5	100 000	83%
6	120 000	100%

I.2 Équipements et infrastructures

I.2.1 Système de captage

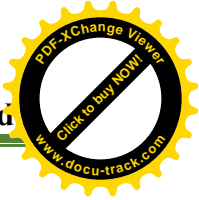
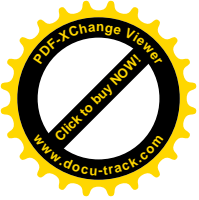
- Tour de captage : Située à distance de la côte
- Conduites d'adduction : Deux conduites en polyéthylène de diamètre 1600 mm
- Profondeur d'aspiration : Entre -13 et -9 m
- Protections mécaniques : Grilles et crépines anti-débris

I.2.2 Équipements de pompage

- Station de pompage d'eau brute : 7 pompes de débit 1870 m³/h à 4 bars
- Pompes Booster : 850 m³/h à 2 bars par unité OI
- Pompes haute pression : 850 m³/h à 66 bars par unité OI
- Système de récupération d'énergie : 50 m³/h à 82,7 bars (type PX)

I.2.3 Système de filtration

- Filtres à sable : 20 unités utilisant un mélange sable/anthracite
- Filtres à cartouches : 10 unités avec cartouches 5 µm en polypropylène



I.2.4 Unités d'osmose inverse

Chaque unité OI comprend :

- Trains de membranes (racks) : 216 tubes de pression
- Configuration membranaire : 7 membranes par tube de pression
- Pression de service : 60 à 70 bars

I.2.5 Système de post-traitement

- Saturateurs de chaux : Pour reminéralisation
- Station de production de CO₂ : Pour stabilisation du pH
- Système de désinfection : Injection de chlore gazeux ou hypochlorite
- Réservoirs de stockage : Capacité 5000 à 10 000 m³

I.3 Système de contrôle et supervision

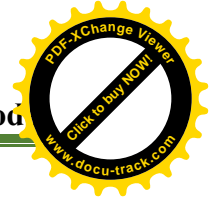
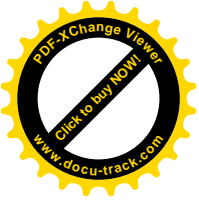
I.3.1 Laboratoire de contrôle qualité

Le laboratoire est équipé d'instruments d'analyse pour le suivi des paramètres physico-chimiques :

- pH-mètre électronique
- Turbidimètre néphélométrique
- Conductimètre
- Spectrophotomètre pour analyses spécifiques
- Matériel de titrimétrie pour dureté totale

I.3.2 Système SCADA

- Supervision centralisée : Pilotage automatique de l'installation
- Acquisition de données : Débit, pression, température, pH, chlore
- Gestion des alarmes : Détection automatique des dysfonctionnements
- Logiciel de simulation : TORAY pour optimisation membranaire



II. Méthodes

II.1 Caractérisation de l'eau de mer d'entrée

II.1.1 Paramètres physico-chimiques de référence

Les caractéristiques de l'eau de mer méditerranéenne au point de captage sont les suivantes:

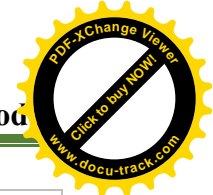
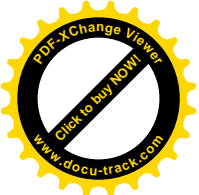
- Salinité moyenne : 37 à 38 g/L
- Température : Variable entre 16°C (hiver) et 26°C (été)
- pH : Compris entre 7,8 et 8,2
- Turbidité : Généralement faible (< 1 NTU)
- Oxygène dissous : 6 à 8 mg/L

II.1.2 Évaluation des risques sur les membranes

L'analyse des caractéristiques de l'eau de mer d'entrée permet d'identifier les risques potentiels pour les membranes d'OI et de définir les étapes de prétraitement nécessaires. Cette évaluation est cruciale pour assurer la pérennité des équipements et l'efficacité du procédé. Le tableau 09 présente une analyse détaillée des risques associés à chaque paramètre de l'eau d'entrée et les mesures de maîtrise correspondantes.

Tableau 9: Analyse des risques liés à la qualité de l'eau d'entrée

Paramètre	Valeur mesurée	Risque identifié	Étape de maîtrise
Salinité	~38 000 mg/L	Usure prématurée, pression osmotique élevée	Osmose inverse
Turbidité	0,32 à 2,9 NTU	Colmatage des pores	Coagulation-floculation-filtration
Micro-organismes	Variables	Formation de biofilm	Pré-chloration
Particules colloïdales	Variables	Encrassement physico-chimique	Coagulation-floculation



SDI	Mesuré	Encrassement rapide si > 3	Contrôle post-prétraitement
-----	--------	----------------------------	-----------------------------

II.2 Méthodes d'analyse et de suivi

II.2.1 Paramètres de qualité surveillés

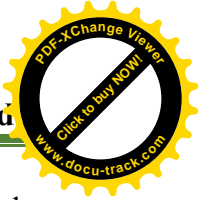
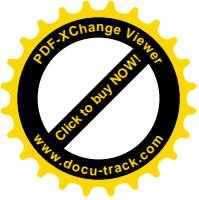
Le suivi de la qualité de l'eau à différentes étapes du procédé nécessite la mise en place d'un programme de surveillance rigoureux. Cette surveillance s'appuie sur des méthodes d'analyse normalisées et des fréquences adaptées à la criticité de chaque paramètre. Le tableau 10 détaille l'ensemble des paramètres surveillés, les méthodes d'analyse employées et les objectifs de chaque mesure.

Tableau 10: Paramètres de qualité et méthodes d'analyse

Paramètre	Méthode de mesure	Fréquence	Objectif de surveillance
pH	Potentiométrie	Continue	Contrôle neutralisation (7,5-8,5)
Turbidité	Néphélogétrie	Continue	Détection particules résiduelles (<1 NTU)
Conductivité/TDS	Conductimétrie	Continue	Suivi efficacité dessalement
Température	Thermométrie digitale	Continue	Adaptation flux/nettoyage
SDI	Test filtration 0,45 μm	Quotidienne	Prévention colmatage (<3)
Dureté totale	Complexométrie EDTA	Quotidienne	Contrôle reminéralisation
Chlore résiduel	Colorimétrie DPD	Continue	Vérification désinfection

II.2.2 Protocoles de surveillance

- Prélèvements : Effectués à différents points du procédé (entrée, sortie prétraitement, sortie OI, sortie post-traitement)
- Analyses en ligne : Paramètres critiques surveillés en continu via système SCADA



- Analyses de laboratoire : Contrôles quotidiens et hebdomadaires selon protocoles normalisés
- Enregistrement des données : Historisation automatique pour analyse des tendances

II.3 Méthodologie d'évaluation des performances

II.3.1 Indicateurs de performance

- Rendement de dessalement : Rapport eau produite/eau captée
- Taux de conversion : Pourcentage d'eau douce extraite
- Efficacité membranaire : Taux de réjection des sels (>98%)
- Consommation énergétique : kWh/m³ d'eau produite

II.3.2 Diagnostic des dysfonctionnements

- Colmatage membranaire : Suivi de la pression transmembranaire (TMP)
- Corrosion : Inspection visuelle et mesures de pH
- Qualité des rejets : Contrôle pH et salinité de la saumure
- Performance globale : Analyse des écarts par rapport aux spécifications

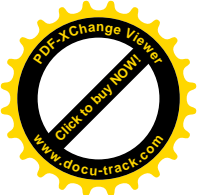
II.4 Gestion environnementale

II.4.1 Suivi des rejets

- Caractérisation de la saumure : Salinité (~65 000 mg/L), pH, température
- Point de rejet : Émissaire sous-marin avec système de dilution
- Monitoring : Suivi continu des paramètres de rejet

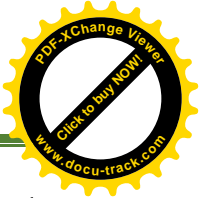
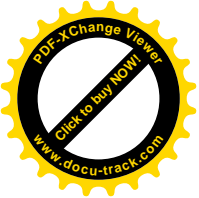
II.4.2 Impact sur le milieu marin

- Zone d'influence : Cartographie de la dispersion saline
- Biodiversité : Évaluation de l'impact sur les écosystèmes marins
- Conformité réglementaire : Respect des normes de rejet



Partie 3 :

Résultats et discussion



Dans le cadre de l'évaluation des performances de la station de dessalement de Fouka 1, cette étude vise à analyser l'évolution des principaux paramètres physico-chimiques de l'eau au cours du traitement, sur une période de 12 semaine consécutive. L'objectif est de vérifier la conformité de l'eau produite aux normes sanitaires, tout en identifiant les impacts environnementaux et énergétiques associés au procédé.

I. Les paramètres physico-chimiques

I.1. La température de l'eau

La température est un paramètre essentiel qui influence les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques de l'eau. Elle conditionne l'efficacité des différentes étapes du traitement, notamment la filtration, la chloration et l'osmose inverse.

Le diagramme de la figure 21 illustre l'évolution de la température de l'eau brute et de l'eau traitée sur une période continue de 12 semaines. Il montre une élévation progressive de la température à chaque étape du processus. Les résultats indiquent que la température de l'eau brute a varié entre 15,94 °C et 17,71 °C, tandis que celle de l'eau traitée se situe entre 17,2 °C et 19,22 °C.

Ces valeurs demeurent nettement en dessous du seuil de 25 °C fixé par l'OMS (2017), garantissant ainsi la conformité sanitaire de l'eau produite. Comme le souligne Dégremont (2005), ces variations peuvent aussi résulter des changements saisonniers affectant la température ambiante.

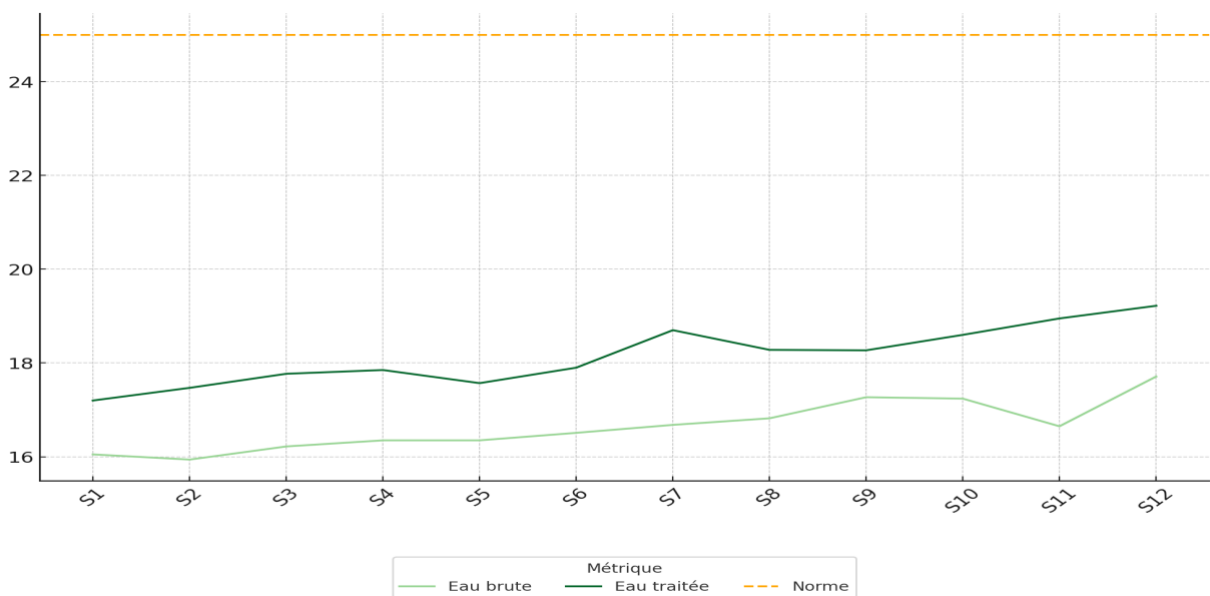


Figure 21:Évolution de la température de l'eau (Eau brute et Eau traitée) sur 12 semaines

I.2.Le pH

Le pH joue un rôle central dans l'évaluation de la qualité de l'eau. Il influence la solubilité des minéraux, l'efficacité des désinfectants (comme le chlore) et la stabilité des traitements. Selon les recommandations de l'OMS, il doit se situer entre 7,0 et 8,5.

Le graphique de la figure 22 montre une stabilité du pH de l'eau brute entre 8,10 et 8,12, attribuée à la capacité tampon naturelle de l'eau de mer. Après traitement, le pH atteint régulièrement 8,3, en conformité avec les normes internationales. Cette légère hausse est généralement liée à l'injection de soude (NaOH) pour neutraliser l'acidité et prévenir la corrosion, ainsi qu'à la réduction des acides faibles via OI (Dégremont, 2005).

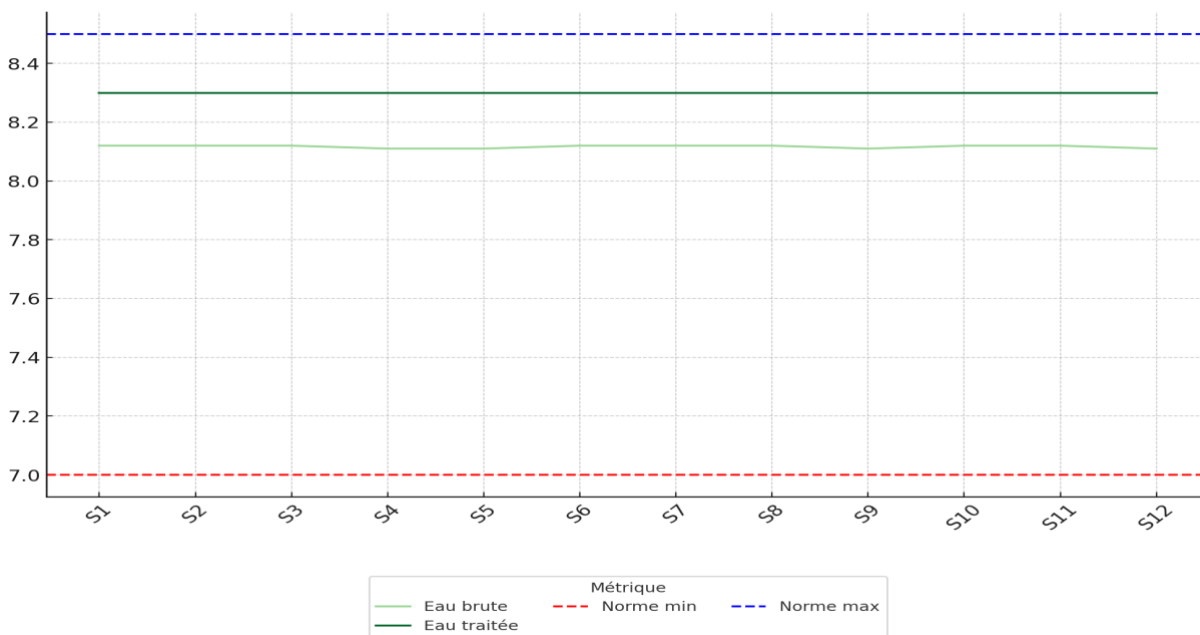


Figure 22: Évolution du pH de l'eau (brute et traitée) pendant 12 semaines

I.3.La turbidité

La turbidité est un indicateur clé de la qualité de l'eau. Elle reflète la présence de particules en suspension (argiles, matières organiques, microorganismes, etc.). Une turbidité élevée peut affecter l'efficacité de la filtration et de la désinfection. L'OMS recommande un seuil maximal de 5 NTU, et idéalement inférieur à 1 NTU.

Les données présentées dans la figure 23 montrent une turbidité de l'eau brute comprise entre 0,73 et 1,12 NTU, indiquant une qualité relativement constante de l'eau captée. Après traitement, notamment par filtration multimédia et OI, la turbidité descend systématiquement en dessous de 0,2 NTU, attestant de l'efficacité du système. Cette performance est due à la synergie entre la coagulation, la floculation et la filtration (Dégremont, 2005).

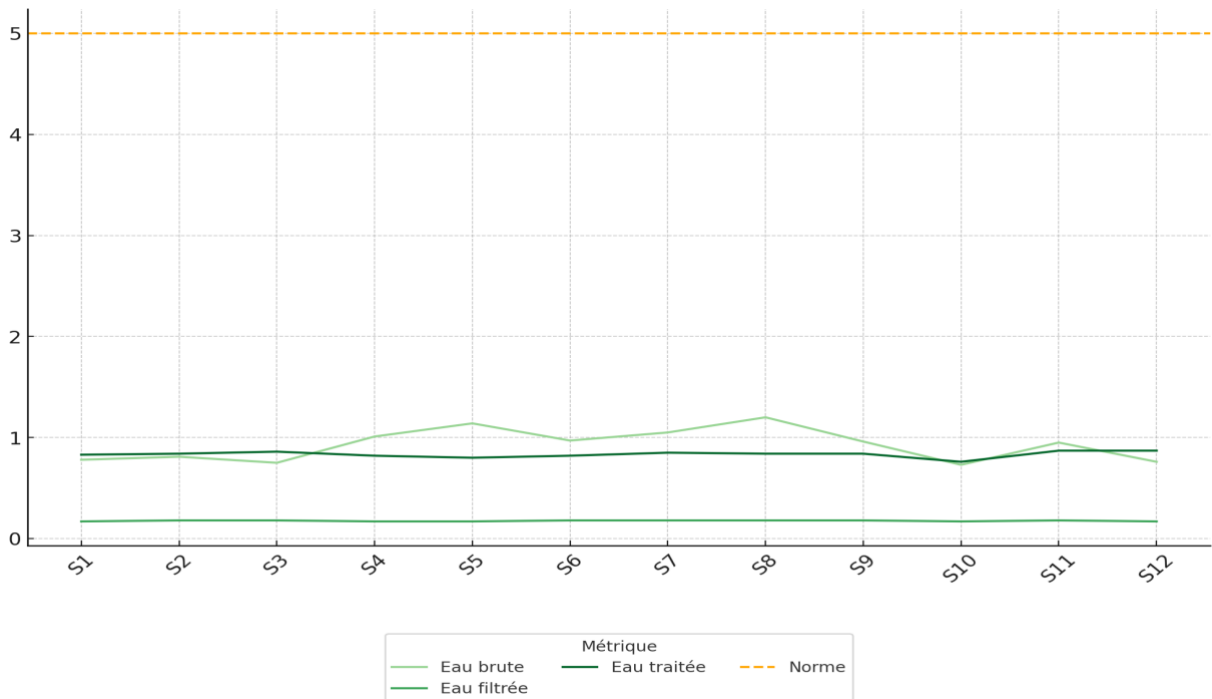


Figure 23: Variation de la turbidité de l'eau à différentes étapes du traitement

I.4.La conductivité

La conductivité est un paramètre indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle reflète la concentration en ions dissous (Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , etc.) et permet d'évaluer l'efficacité du dessalement.

Durant les 12 semaines observées, la conductivité de l'eau traitée varie entre 650 et 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une hausse légère à partir de la semaine 7 (Figure 24). Ces valeurs restent largement inférieures à la norme OMS (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), confirmant la qualité de l'eau produite.

La conductivité de l'eau filtrée avant osmose est très faible ($\sim 55 \mu\text{S}/\text{cm}$), ce qui est typique d'un perméat osmosé. L'augmentation observée dans l'eau traitée est liée à la reminéralisation post-traitement, visant à rétablir l'équilibre ionique (Rodier et al., 2009).

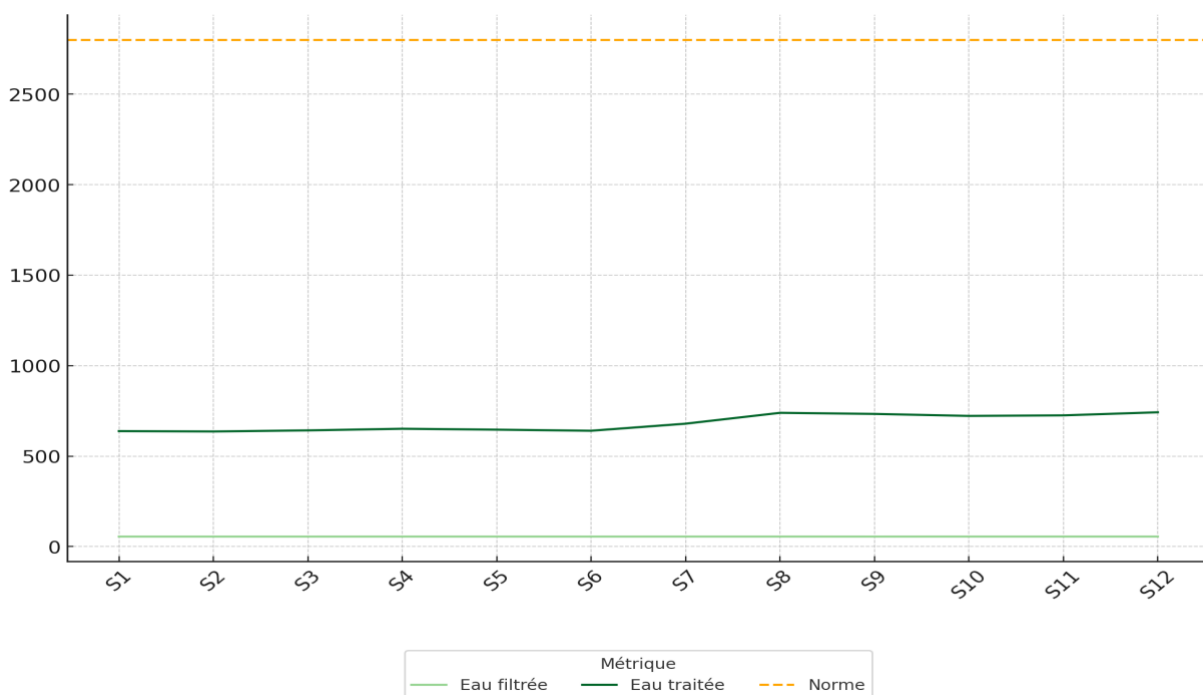
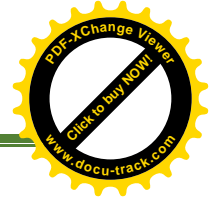
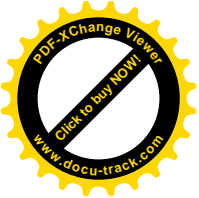


Figure 24: Variation de la conductivité de l'eau traitée et filtrée sur 12 semaines

I.5.Indice SDI15 (Silt Density Index)

Le SDI15 évalue le risque de colmatage des membranes. La norme internationale recommande une valeur inférieure à 3 pour l'eau alimentant les membranes.

L'analyse de la figure 25 montre que l'eau brute présente un SDI élevé, compris entre 11,3 et 12,3, ce qui témoigne d'une charge colloïdale importante, typique de l'eau de mer non traitée. Après les étapes de prétraitement, en particulier la filtration sur sable et à cartouches, le SDI de l'eau filtrée est réduit de manière significative, se stabilisant entre 2,0 et 2,2 tout au long de la période étudiée. Ces valeurs, nettement inférieures au seuil critique, traduisent l'efficacité du système de prétraitement mis en place. Elles garantissent une bonne protection des membranes, limitent les risques de colmatage, réduisent la fréquence des nettoyages chimiques (CIP) et contribuent ainsi à prolonger la durée de vie des équipements.

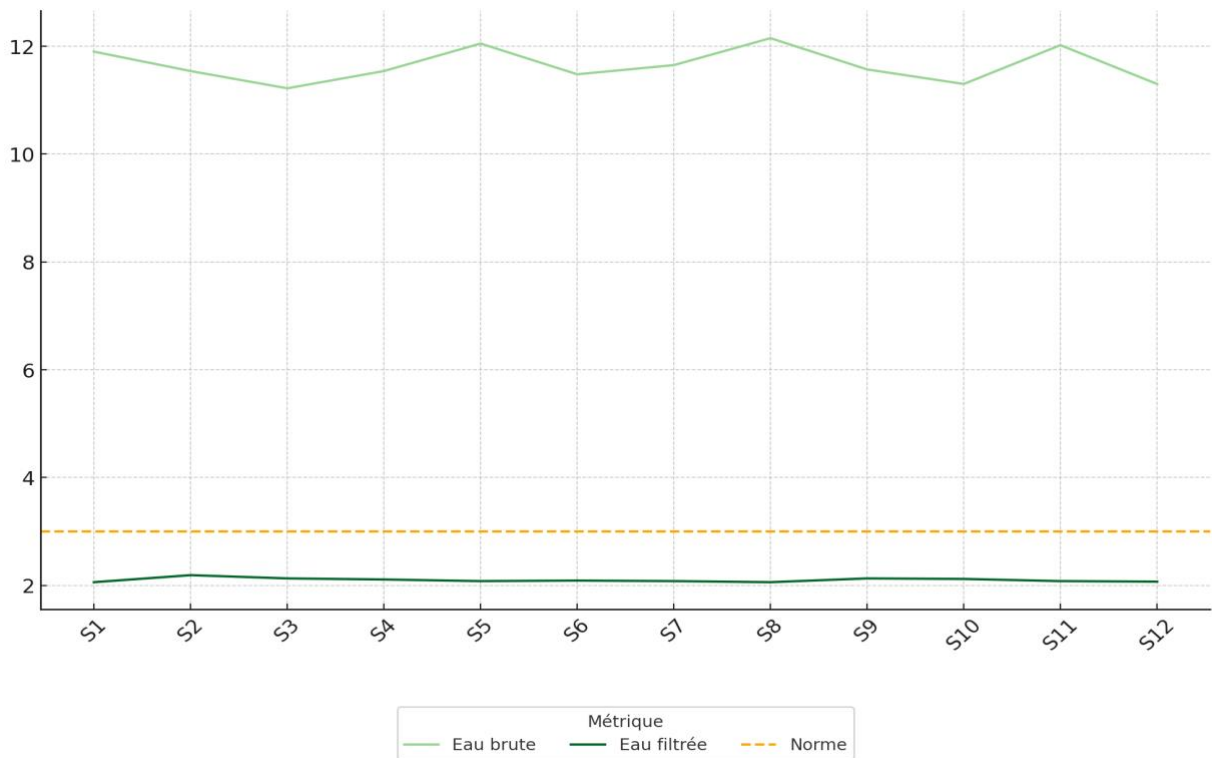


Figure 25: Indice SDI15 de l’eau brute et filtrée au cours du temps

I.6.TDS

Le TDS (Total Dissolved Solids) est un indicateur essentiel pour juger la qualité physico-chimique de l'eau, notamment dans les processus de dessalement. Cela fait référence à la concentration globale des matières organiques et minérales dissoutes, qui influencent en particulier le goût, la conductivité et la capacité corrosive de l'eau.

Le graphique (Figure 26) présente l'évolution des concentrations en TDS de l'eau brute et traitée sur 12 semaines, comparée aux seuils recommandés par l'OMS (150–500 mg/L).

L'analyse des résultats obtenus sur une période de 12 semaines révèle que les niveaux de TDS dans l'eau brute fluctuent entre 350 et 410 mg/L, ce qui reste en deçà du seuil maximal recommandé.

Selon les directives de l'OMS (OMS, 2017), une concentration en TDS inférieure à 500 mg/L est généralement acceptable pour les consommateurs, en particulier en termes de goût et de confort sensoriel.

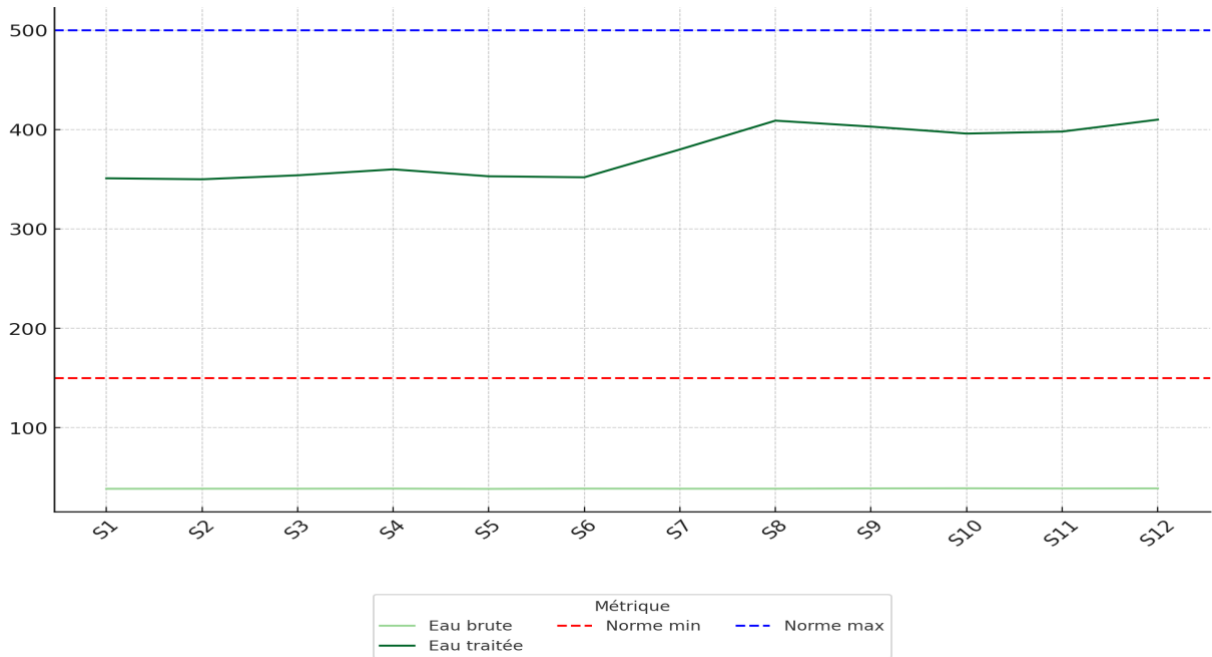
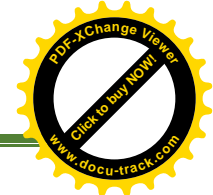
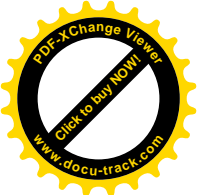


Figure 26: Évolution du TDS (Total des Solides Dissous) dans l'eau brute et traitée

II. Analyse statistique des paramètres

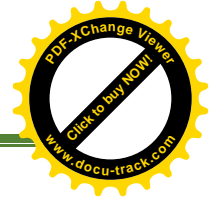
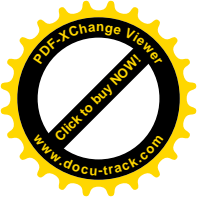
Le tableau 11 présente une synthèse statistique des paramètres mesurés sur une période de 12 semaines à différents points du procédé (eau brute, eau filtrée, eau traitée). Les indicateurs retenus sont la moyenne, l'étendue des valeurs (min-max), l'écart-type et le coefficient de variation (CV), ce dernier servant à évaluer la stabilité des mesures.

**Tableau 11:**analyse statistique des paramètres mesurés sur 12 semaines

Paramètre	Moyenne	Min–Max	Écart-type	CV (%)
Température (EB)	16.65 °C	15.94–17.71	0.53	3.21 %
Température (ET)	18.15 °C	17.20–19.22	0.63	3.45 %
pH (EB)	8.12	8.11–8.12	0.0049	0.06 %
pH (ET)	8.30	8.30–8.30	≈ 0	≈ 0 %
Turbidité (EB)	0.93 NTU	0.73–1.20	0.16	17.19 %
Turbidité (EF)	0.176 NTU	0.17–0.18	0.005	2.93 %
Turbidité (ET)	0.83 NTU	0.76–0.87	0.031	3.74 %
Conductivité (EF)	55.26 µS/cm	55.2–55.3	0.051	0.09 %
Conductivité (ET)	682.75 µS/cm	636–742	45.30	6.64 %
SDI (EB)	11.64	11.22–12.15	0.32	2.71 %
SDI (EF)	2.10	2.06–2.19	0.038	1.80 %
TDS (EB)	38.69 g/L	38.4–39.0	0.18	0.46 %
TDS (ET)	376.33 mg/L	350–410	25.26	6.71 %

Les données statistiques confirment la stabilité générale du fonctionnement de la station. La température de l'eau brute montre une variation saisonnière modérée (CV = 3,21 %), tandis que l'eau traitée subit une légère élévation, conséquence normale du pompage et du passage à travers les membranes sous pression. Le pH reste extrêmement stable, avec un ajustement optimal en sortie grâce au post-traitement par chaux et CO₂.

La turbidité de l'eau brute est modérée, tandis que celle de l'eau filtrée atteint un niveau très bas (0,176 NTU), démontrant l'efficacité du système de prétraitement. Légèrement plus élevée après reminéralisation, elle demeure toutefois conforme aux normes OMS.



Concernant la conductivité, les faibles valeurs observées à la sortie des filtres indiquent une élimination presque totale des sels, tandis que la conductivité finale, bien maîtrisée, reflète le processus de reminéralisation visant à assurer une potabilité optimale.

Le SDI de l'eau brute confirme un fort potentiel de colmatage, justifiant les étapes de prétraitement. Après filtration, la valeur reste systématiquement inférieure à 3, validant la performance du dispositif. Enfin, les teneurs en TDS de l'eau traitée restent largement inférieures au seuil OMS (500 mg/L), ce qui garantit à la fois une bonne qualité chimique et un bon confort organoleptique.

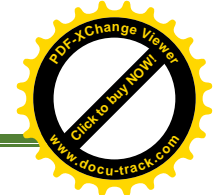
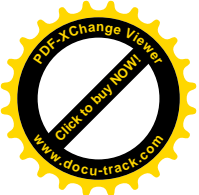
III. Résumé global des tendances sur 12 semaines

Afin de visualiser l'évolution des paramètres-clés tout au long du processus de dessalement, le tableau ci-après présente un résumé des tendances pour l'eau brute, filtrée et traitée.

Tableau 12:Évolution des paramètres sur 12 semaines

Paramètre	Unité	Eau brute	Eau filtrée	Eau traitée	Tendance
Température	°C	15.94–17.71	—	17.2–19.22	Légère hausse
pH	—	8.11–8.12	—	Stable à 8.3	Très stable
Turbidité	NTU	0.73–1.20	0.17–0.18	0.76–0.87	Très faible après traitement
Conductivité	µS/cm	—	55.2–55.3	636–742	Hausse contrôlée
SDI	—	11.22–12.15	2.06–2.19	—	Prétraitement très efficace
TDS	mg/L	38.4–39.0	—	350–410	Conforme OMS

Ce tableau synthétique met en évidence les effets positifs des différentes étapes du traitement sur les paramètres physico-chimiques de l'eau. La stabilité du pH et de la turbidité, ainsi que le maintien des TDS dans les limites acceptables, confirment la maîtrise du procédé. Le passage de la conductivité d'une valeur quasi nulle à un niveau stabilisé après



reminéralisation montre l'efficacité du post-traitement pour rendre l'eau conforme à la consommation humaine.

IV. Impact environnemental

IV.1. Caractérisation des rejets

La station de Fouka 1 génère plusieurs types de rejets :

- Rejets atmosphériques : Limitées, émanant principalement de groupes électrogènes.
- Rejets chimiques : Résidus d'agents de nettoyage et de prétraitement, neutralisés en bassin.
- Saumure concentrée : Deux fois plus salée que l'eau de mer, température légèrement supérieure, résidus neutralisés.

IV.2. Impacts observés

Les rejets peuvent entraîner des effets notables sur le milieu marin :

- Additifs chimiques : Risques pour le phytoplancton et la faune benthique (Arbouche, 2022).
- Prélèvement d'eau de mer : Risque d'entraînement des organismes planctoniques (Lattemann et al., 2010).
- Rejets de saumure : Déséquilibres osmotiques, perturbations benthiques (Rezim et Tachtaoui, 2020).

IV.3. Consommation énergétique

La station affiche une consommation moyenne de **3,6 kWh/m³**, ce qui est en accord avec les normes des unités modernes de dessalement (Arbouche, 2022). Toutefois, cette consommation reste alimentée par une électricité majoritairement d'origine fossile, ce qui génère une empreinte carbone non négligeable.

V. Solutions de mitigation mises en œuvre

Afin de limiter l'impact environnemental de ses activités, la station de dessalement de Fouka 1 a mis en œuvre un ensemble de solutions techniques et organisationnelles. Le tableau 13 récapitule les principales mesures de mitigation appliquées sur le site.

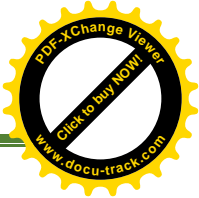
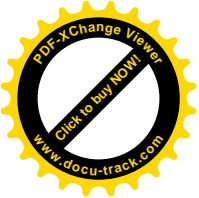


Tableau 13: Mesures environnementales adoptées à la station de Fouka 1

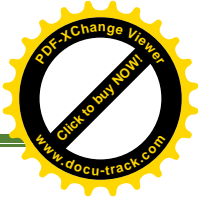
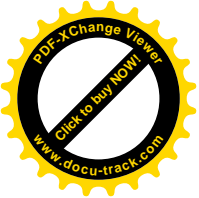
Solution	Application à Fouka
Rejet contrôlé à distance	✓ Oui
Traitement des effluents	✓ Oui
Grilles anti-aspiration	✓ Oui
Énergies renouvelables	En cours
Suivi environnemental scientifique	✓ Oui

L'analyse de ces données montre que la station de Fouka 1 intègre des dispositifs efficaces pour atténuer les effets potentiels du dessalement sur le milieu marin. Le rejet de saumure est réalisé à distance de la côte, via un émissaire sous-marin équipé de diffuseurs, afin de favoriser la dilution et de réduire les impacts localisés sur la salinité. Par ailleurs, les effluents contenant des résidus chimiques issus du nettoyage des membranes ou du traitement de l'eau sont systématiquement neutralisés avant rejet. Le captage de l'eau brute est protégé par des grilles anti-aspiration destinées à préserver les organismes planctoniques.

Concernant la transition énergétique, bien que l'alimentation repose encore majoritairement sur des sources fossiles, des efforts sont engagés pour intégrer progressivement des énergies renouvelables. Enfin, la station bénéficie d'un suivi environnemental permanent, assuré en collaboration avec des institutions de recherche nationales telles que l'ENSMAL et l'USTHB, ce qui garantit une surveillance scientifique rigoureuse de la qualité des rejets et de l'état des écosystèmes marins environnants. Ces mesures illustrent une démarche proactive en faveur de la durabilité du dessalement.

VI. Indicateurs de Performance de la Station de Dessalement de Fouka 1

Cette section présente les principaux indicateurs de performance évalués à partir des données techniques et analytiques de la station de dessalement de Fouka 1. Ces indicateurs permettent d'estimer l'efficacité globale du procédé, la qualité de l'eau produite, ainsi que la consommation énergétique associée.



VI.1.Rendement de dessalement

Le rendement représente le rapport entre l'eau produite et l'eau captée.

Formule :

$$\text{Rendement} = (\text{Eau produite} / \text{Eau captée}) \times 100$$

Données :

- Eau produite $\approx 120\,000\text{ m}^3/\text{jour}$
- Eau captée $\approx 120\,000\text{ m}^3/\text{jour}$

Résultat :

- Rendement $\approx 100\%$
- Interprétation : Aucun gaspillage significatif entre le captage et la production.

VI.2.Taux de conversion

Ce taux mesure la quantité d'eau douce extraite par rapport au volume d'eau alimentant les membranes.

Formule :

$$\text{Taux de conversion} = (\text{Perméat} / \text{Eau d'alimentation}) \times 100$$

Données :

- Perméat $\approx 5000\text{ m}^3/\text{h}$
- Eau d'alimentation $\approx 6 \times 850\text{ m}^3/\text{h} = 5100\text{ m}^3/\text{h}$

Résultat :

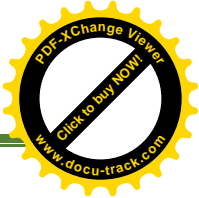
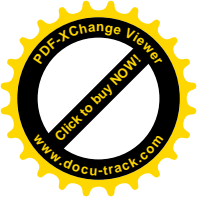
- Taux de conversion $\approx 98\%$
- Interprétation : Très bon rendement membranaire.

VI.3. Efficacité membranaire

L'efficacité membranaire mesure la capacité de réjection des sels.

Formule :

$$\text{Efficacité} = (1 - \text{TDS}_{\text{perm}} / \text{TDS}_{\text{alim}}) \times 100$$



Données :

- TDS eau brute $\approx 38\ 400$ mg/L
- TDS eau traitée ≈ 376 mg/L

Résultat :

- Efficacité ≈ 99 %
- Interprétation : Très bonne rétention des sels dissous.

VI.4. Consommation énergétique

La consommation énergétique représente la quantité d'énergie électrique nécessaire pour produire un mètre cube d'eau douce.

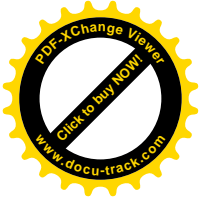
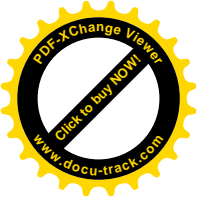
Donnée :

Consommation moyenne = $3,6$ kWh/m³

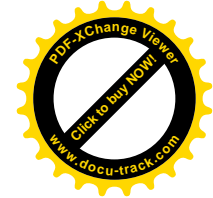
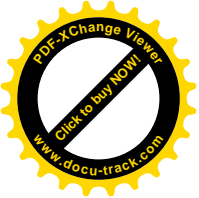
Interprétation : Conforme aux standards des unités modernes.

Tableau 14:récapitulatif de rendement de dessalement

Indicateur	Valeur estimée	Interprétation
Rendement de dessalement	~ 100 %	Aucune perte entre captage et traitement
Taux de conversion	~ 98 %	Très bon rendement membranaire
Efficacité membranaire	~ 99 %	Excellente réjection des sels
Consommation énergétique	$3,6$ kWh/m ³	Conforme aux standards modernes



Conclusion



Conclusion

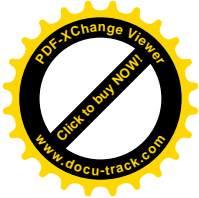
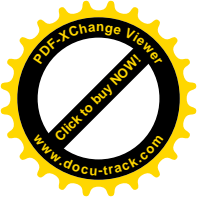
L'objectif principale de cette étude était d'évaluer les performances techniques, qualitatives et environnementales de la station de dessalement de Fouka 1, en mettant l'accent sur la technologie d'osmose inverse. Dans un contexte national marqué par le stress hydrique et la dépendance accrue à des ressources en eau non conventionnelles, cette étude s'inscrit dans une logique d'analyse critique des solutions mises en œuvre pour garantir la sécurité hydrique de la région centre d'Algérie.

Les résultats obtenus au terme de douze semaines d'observations ont permis de démontrer l'efficacité du système de traitement de la station. Les paramètres clés tels que la turbidité, le pH, la conductivité, le SDI et les TDS sont restés dans les normes de potabilité recommandées par l'OMS, témoignant d'une maîtrise rigoureuse du procédé. Le traitement par OI, combiné à un prétraitement performant et un post-traitement bien calibré, permet de produire une eau de haute qualité, adaptée à la consommation humaine. L'analyse statistique des données a également mis en évidence la stabilité des performances dans le temps, avec une faible variabilité des paramètres surveillés.

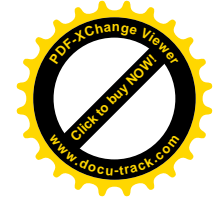
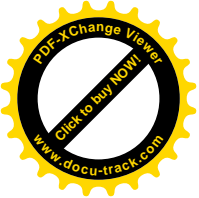
D'un point de vue environnemental, la station applique plusieurs mesures de mitigation, telles que le rejet contrôlé de la saumure, le traitement des effluents, la protection du captage et un suivi environnemental permanent. Toutefois, certains axes d'amélioration subsistent, notamment la réduction de la consommation énergétique encore largement dépendante des énergies fossiles, ainsi que l'intégration plus poussée des énergies renouvelables dans le fonctionnement de l'installation.

À la lumière de ces constats, plusieurs perspectives se dégagent. Il serait pertinent de :

- Renforcer l'utilisation de sources d'énergie propres, telles que le solaire ou l'éolien, pour améliorer la durabilité du processus ;
- Approfondir les études sur les impacts écologiques à long terme des rejets de saumure sur le milieu marin local ;
- Intégrer des technologies de monitoring intelligent (intelligence artificielle, Internet des objets) pour optimiser en continu les performances du système.

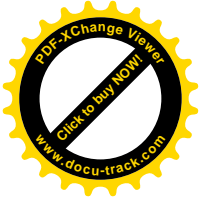
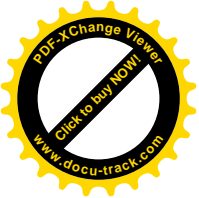


Références bibliographiques

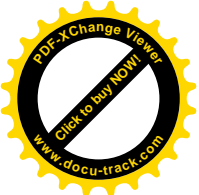


Références bibliographiques

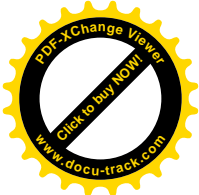
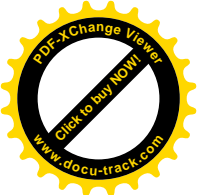
- Abdallah Mahdjoubi, Z. et Abdeslam, I. 2022. Évaluation de l'impact des rejets en mer de produits chimiques complexants utilisés dans le dessalement.
- Abderrahmane, D. et Bouri, C. 2022. Les enjeux environnementaux et économiques des projets de dessalement de l'eau de mer en Algérie.
- AIT YOUNES, A. & AKARKAR, S. (2022). Station Palm Beach – Étude de dessalement [Mémoire de fin d'études, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)]
- Aït Younes, C. et Akarkar, L. 2022. Suivi du procédé de dessalement et évaluation des rejets.
- ALGERIAN ENERGY COMPANY (AEC). (2022). Liste des stations de dessalement en Algérie.
- AMAZIGH, L. & LYNDA, B. (2023). Étude de la gestion des rejets saumâtres par satellite [Mémoire de fin d'études, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].
- Amazigh, Y. et Lynda, C. 2023. Étude des rejets de saumures des usines de dessalement par imagerie satellite.
- Arbouche, I. (2022). Rapport de stage – Station de dessalement de Fouka 1. Myah Tipaza.
- ASTM International. (2007). ASTM D4189-07: Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water.
- BENDAOUD, A., et al. (2024). Dessalement par osmose inverse à Témouchent [Mémoire de fin d'études].
- BOUKHARI, M. R. (2024). Redimensionnement de la station de dessalement de Corso (Boumerdes) [Mémoire de fin d'études, École Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH)].
- Bouregghda, M. M. 2015. Contribution à l'étude des impacts du dessalement des eaux de mer sur l'environnement : Cas du littoral de Boumerdes. Mémoire de Master, Université de Boumerdes.
- CAPPELLARO, E. (2023). Compréhension de la complexité à l'aide des approches systémique et interdisciplinaire pour l'éducation à l'eau.
- Dégremont, "Eau potable – Le guide technique")2005(:
- Dunglas, J. 2018. Le dessalement de l'eau de mer : impacts environnementaux.
- Eddine, S. C., & Abderrazek, T. (2023). Impact de la pollution agricole et domestique sur la qualité des eaux du barrage de Bouhamdane [Travail de fin d'études, Université de Guelma, Faculté SNV-STU].



- EL AMINE, M. (2021). Étude de la station de dessalement de Mostaganem [Mémoire de fin d'études, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem].
- EYL-MAZZEGA, M.-A. & CASSIGNOL, É. (2022). Géopolitique du dessalement d'eau de mer. Études de l'Ifri, Institut français des relations internationales (Ifri), septembre 2022.
- Global Water Intelligence. (2023). Desalination market overview. GWI Report.
- GRINE, S. (2024). Étude des effluents à la station de dessalement de Magtaa [Mémoire de fin d'études, École Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH)].
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T., Smakhtin, V. et Kang, S. M. 2019. The state of desalination and brine production : A global outlook. Revue Science of the Total Environment, vol.
- Lamri, L., Ganoun, Z. et Bounoual, M. 2021. Étude des rejets de saumures provenant des usines de dessalement de l'eau de mer.
- Lattemann, S. et Höpner, T. 2008. Environmental impact and impact assessment of seawater desalination .
- Lattemann, S. et Höpner, T. 2008. Environmental impact and mitigation of seawater desalination.
- Lattemann, S., Kennedy, M. D., Schippers, J. C. et Amy, G. L. 2010. Seawater desalination : Impact of brine and chemical discharges on the marine environment.
- Méricq, J. P. 2009. Réduction des rejets salins par distillation membranaire couplée au dessalement.
- METAICHE, M. (2006). Optimisation des systèmes de dessalement par osmose inverse [Mémoire de fin d'études, Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira].
- Meziane, W. 2024. Étude d'impact environnemental des rejets d'une station de dessalement. Mémoire de Master, Université de Tipaza.
- Mimoune, M., Mimoune, E. Z. et Djebablah, A. 2022. Structure des rejets des stations de dessalement.
- Monnot, M. (2015). Dessalement autonome d'eau de mer.
- Oki T., & Kanae S. (2006). Global hydrological cycles and world water resources.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Directives de qualité pour l'eau de boisson, , 2017.
- RAPENNE, S. (2007). Dessalement d'eau de mer par osmose inverse – Effets sur les caractéristiques microbiologiques [Thèse de doctorat, Université de Poitiers].



- Rayah, H. (2023). [Étude comparative entre les techniques thermiques Et membranaires de dessalement de l'eau de mer] [Thèse de doctorat, Université de Mostaganem].
- Razakarivony, H. Mémoire de Master, Université d'Antananarivo]. 2025
- Rezim, A. et Tachtaoui, M. 2020. Étude des performances de la station de dessalement de Fouka. Mémoire de fin d'études, Université de Blida.
- Rodier, J. Et al. L'analyse de l'eau (2009)
- Samhari, O. (2021). Membranes céramiques et polymères modifiées par de l'oxyde de graphène pour la rétention de molécules organiques et le dessalement d'eaux saumâtres et d'eau de mer [Mémoire de master, Université].
- Seddiki, N. (2023). Analyse du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique de l'eau dessalinisée de la station de dessalement de Tizirt [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].
- Sylvius, L. (2023). Mesurer et compenser l'impact environnemental spécifique des effluents d'une unité de dessalement d'eau de mer : Cas de la station Green Water et de la Baie du Cohé en Martinique [Mémoire de master, Université des Antilles].
- Tafna, A., & Driss, N. (2024). Suivi station d'Aïn Témouchent [Rapport technique].
- TURKI, M., KHIARI, W., & BELHADJ, J. (2016). Prototype expérimental d'un système de dessalement par OI alimenté par une source renouvelable intermittente [Rapport technique].
- UNESCO (2020). A wave of change : The role of companies in building a water-secure World Global Water Report 2020
- UNICEF (2015). Accès à l'eau potable : une grande réussite... inachevée à travers le monde.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Reidy Liermann, C., & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity
- World Health Organization. (2022). Guidelines for drinking-water quality (4th ed., incorporating the 1st and 2nd addenda). Organisation mondiale de la santé.
- Zemmal, K., & collaborateurs. (2023). Conception et réalisation d'une installation de traitement de l'eau saumâtre [Mémoire de master, Université de Tébessa].



Les annexes

Anex 01 : Contrôle de la qualité de l'eau au laboratoire de la station de dessalement"



Figure 01 : "Mesure de la température à la station de dessalement de Fouka avec un thermomètre HANNA."

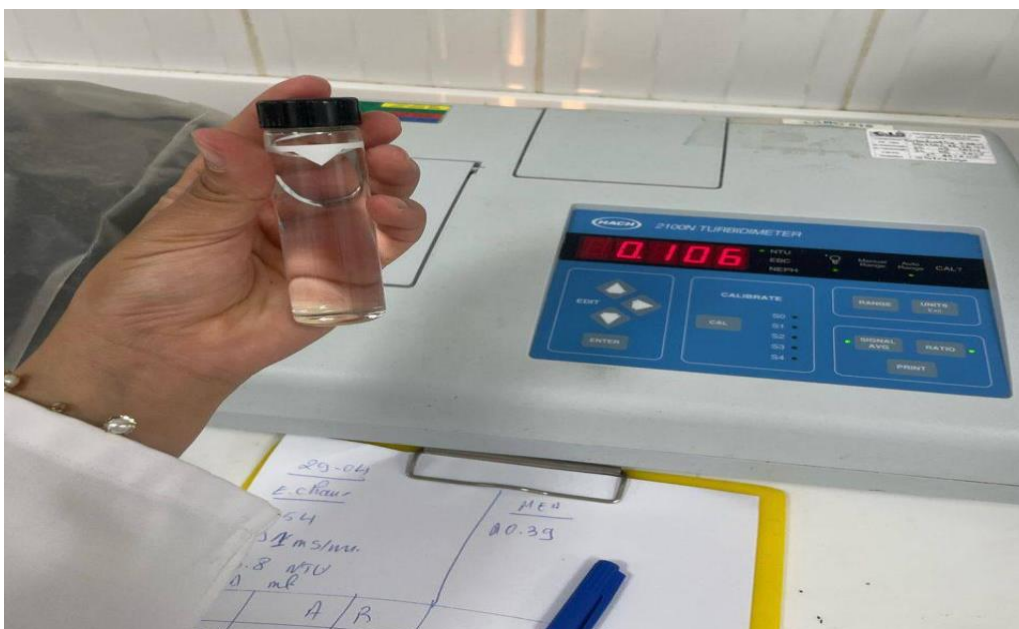


Figure 02: "Mesure de la turbidité de l'eau à l'aide d'un turbidimètre HACH à la station de dessalement de Fou"

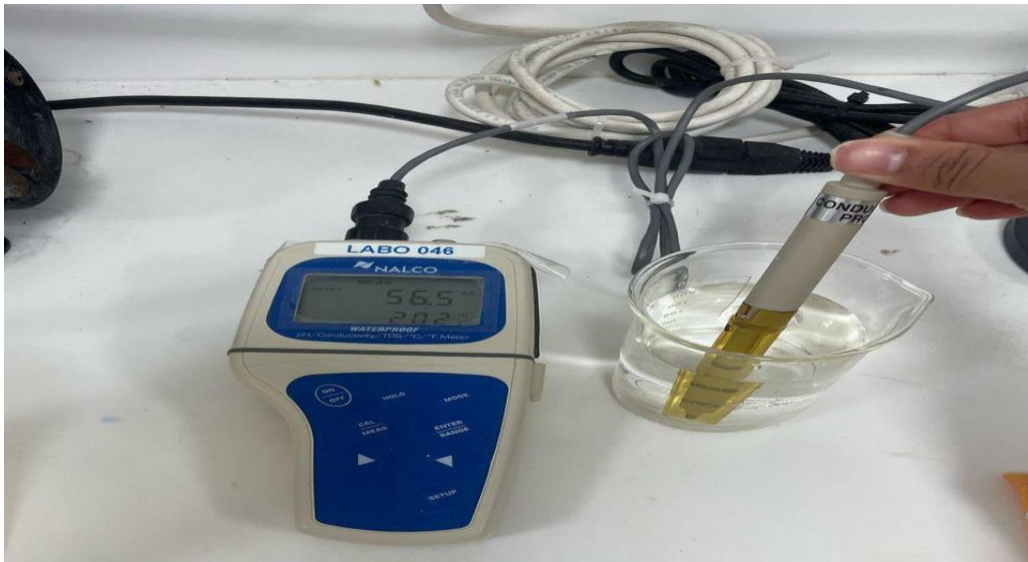


Figure 03 : "Analyse de la conductivité de l'eau à la station de dessalement de Fouka.



Figure04 : Échantillons d'eau avant et après traitement – Station de dessalement de Fouka. »

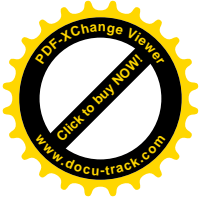
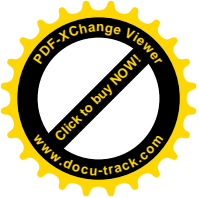
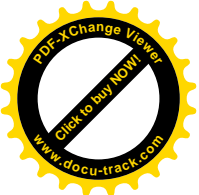


Figure 05 : Analyse manuelle de l'eau au laboratoire de Fouka 1



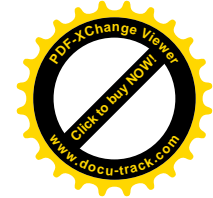
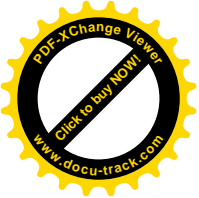
Annexe 02 : Tableaux des Résultats des Analyses de l'Eau

Température (°C)

Échantillon	Eau brute	Eau traitée	Norme
S1	16.05	17.2	
S2	15.94	17.47	
S3	16.22	17.77	
S4	16.35	17.85	
S5	16.35	17.57	25
S6	16.51	17.9	
S7	16.68	18.7	
S8	16.82	18.28	
S9	17.27	18.27	
S10	17.24	18.6	
S11	16.65	18.95	
S12	17.71	19.22	

pH

Échantillon	Eau brute	Eau traitée	Norme
S1	8.12	8.3	
S2	8.12	8.3	
S3	8.12	8.3	
S4	8.11	8.3	
S5	8.11	8.3	
S6	8.12	8.3	7 - 8.5
S7	8.12	8.3	
S8	8.12	8.3	



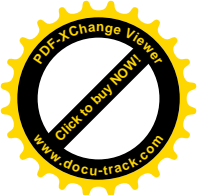
S9	8.11	8.3
S10	8.12	8.3
S11	8.12	8.3
S12	8.11	8.3

Turbidité (NTU)

Échantillon	Eau brute	Eau filtrée	Eau traitée	Norme
S1	0.78	0.17	0.83	
S2	0.81	0.18	0.84	
S3	0.75	0.18	0.86	
S4	1.01	0.17	0.82	
S5	1.14	0.17	0.80	5
S6	0.97	0.18	0.82	
S7	1.05	0.18	0.85	
S8	1.2	0.18	0.84	
S9	0.96	0.18	0.84	
S10	0.73	0.17	0.76	
S11	0.95	0.18	0.87	
S12	0.76	0.17	0.87	

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Échantillon	Eau filtrée	Eau traitée	Norme
S1	55.2	638	
S2	55.2	636	
S3	55.2	642	
S4	55.3	651	
S5	55.3	646	2800
S6	55.2	640	



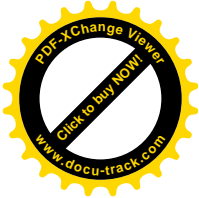
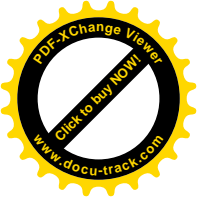
S7	55.3	679
S8	55.3	739
S9	55.2	733
S10	55.3	722
S11	55.3	725
S12	55.3	742

SDI 15

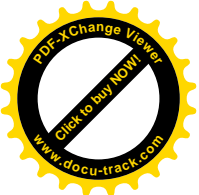
Échantillon	Eau brute	Eau filtrée	Norme
S1	11.9	2.06	
S2	11.54	2.19	
S3	11.22	2.13	
S4	11.54	2.11	
S5	12.05	2.08	< 3
S6	11.48	2.09	
S7	11.65	2.08	
S8	12.15	2.06	
S9	11.57	2.13	
S10	11.3	2.12	
S11	12.02	2.08	
S12	11.3	2.07	

TDS (mg/L)

Échantillon	Eau brute	Eau traitée	Norme
S1	38.5	351	
S2	38.6	350	
S3	38.6	354	
S4	38.7	360	

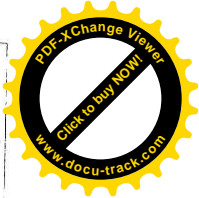
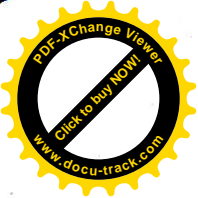


S5	38.4	353	150 - 500
S6	38.7	352	
S7	38.6	380	
S8	38.6	409	
S9	38.9	403	
S10	39	396	
S11	38.8	398	
S12	38.9	410	



Anex 03 Tableau des Normes utilisées pour la mesure des paramètres d'eau

Paramètres	Unité	La norme utilisée	La valeur
Température	°C	Journal officiel 2014	25
Ph	/	Contrat	7 à 8,50
Conductivité	µS/cm	Journal officiel 2014	2800
Turbidité	NTU	Journal officiel 2014	5
TSS = TDS	mg/l	Contrat	150 à 500
Alcalinité	mg/l CaCO ₃	Contrat	60 (minimum)
Durete total	mg/l CaCO ₄	Contrat	80 à 150
Durete calcique	mg/l	Journal officiel 2014	200
Bore	mg/l	Contrat	≤ 1,3 Valeur annuelle
Chlore residuel	mg/l	Contrat	0,5



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA
FACULTE DE SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-ECOLOGIE



Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme
MASTER
Spécialité : Eau et environnement

Thème

**Diagnostic de la performance de la station de
dessalement d'eau de mer à FOUKA, TIPAZA
Etude et évaluation**

Présenté par :

Mellouk Hadil
Moussaoui Donia

Devant le jury composé de :

Dr. Degui.N	MCB	Promotrice	Blida 01
Dr. Amirouche. M	MCA	Président	Blida 01
Dr. Ouardi.L	MAA	Examinatrice	Blida 01

ANNÉE UNIVERSITAIRE :2024/2025