

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des sciences de la Mer et de l'Aménagement du littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
D'Ingénieur d'État en Sciences de la Mer

Option

Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier (IEMC)

Thème :

Les Stations De Dessalement En Algérie : État Des Lieux & Approche Environnementale

Présenté par : Melle BENMANSOURI Ikram

Soutenu le 10 juillet 2025 devant le jury composé de :

M. BOULHDID M.	Professeur-émérite	ENSSMAL	Président
Mme. BOUBCHICHE Z.	Maitre de conférences B	ENNSMAL	Promotrice
Mme BENTCHIKOU L.	Maitre Assistante	ENSSMAL	Co-promotrice
M LOURGUIOUI H.	Maitre de conférences B	ENNSMAL	Examineur
M.Khateb M.	PDG Fouka Myah	Station Fouka	Invité

2024-2025

Dédicace

Ce mémoire est le fruit de nombreuses années d'efforts, de sacrifices et de soutien inconditionnel. Il est dédié à toutes les personnes qui ont cru en moi et m'ont encouragé à poursuivre mes rêves.

*À mon **cher père**, dont la sagesse et la force m'ont toujours guidé, même dans les moments les plus difficiles. À **ma mère**, mon cœur et ma vie, qui a été mon roc et ma source d'inspiration inépuisable. À mes sœurs, **Melissa et Hadjer**, qui ont été mes piliers et mes plus grandes supportrices.*

*À mon amie d'enfance, **Amel**, qui a été à mes côtés depuis le début, et **Imene**, ma meilleure amie, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables, bons et mauvais. Votre amitié a été une lumière dans les moments sombres et une joie dans les moments heureux.*

*À ma promotion de **l'IEMC**, qui a été une famille loin de chez moi. Votre camaraderie, votre soutien et vos encouragements ont été essentiels à mon succès.*

Ce mémoire est autant le vôtre que le mien. Il est le reflet de votre amour, de votre soutien et de votre foi en moi. Merci du fond du cœur.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL) pour l'opportunité qu'elle m'a offerte de poursuivre mes études et de réaliser ce projet de fin d'études. Cette institution a été un pilier essentiel de mon parcours académique et professionnel.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice, **Madame BOUBECHICHE**, pour sa patience inébranlable, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce travail. Sa bienveillance et ses encouragements m'ont permis de donner le meilleur de moi-même et de développer pleinement mes capacités.

Mes remerciements vont également à ma Co-encadrante, **Madame BENTCHIKOU**, pour ses précieux conseils, son suivi rigoureux et son engagement dans la réussite de ce mémoire

Je remercie chaleureusement le président du jury, **Monsieur BOULHDID**, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider ma soutenance, ainsi que l'examineur, **Monsieur LOURGUIOUI**, pour l'intérêt porté à mon travail et pour ses remarques constructives.

Ensuite, je souhaite exprimer ma gratitude aux professionnels suivants qui ont contribué à ce projet :

À **Monsieur KHATEB** et son équipe à la station de dessalement de Fouka.. Votre accueil chaleureux et l'entretien approfondi que vous m'avez accordé m'ont permis de mieux comprendre les défis techniques et les innovations du secteur de la désalinisation. Votre gentillesse et votre disponibilité ont été inestimables.

À l'ingénieur **Arezki Anis** de l'Algerian Energy Company (AEC) et **La sous Directrice de dessalement au niveau de Ministère de L'Hydraulique Madame HADADJI** pour leur aide Ascendant dans la collecte des données et les informations qu'ils m'ont fournies. Votre collaboration a été essentielle à l'avancement de mon étude

Résumé

Ce mémoire examine le rôle crucial du dessalement d'eau de mer en Algérie comme solution à la crise hydrique croissante du pays. Il présente un état des lieux détaillé des 23 stations de dessalement opérationnelles, qui produisent 3,69 millions de m³/jour, couvrant 42 % des besoins en eau potable. La technologie d'osmose inverse domine en raison de son efficacité énergétique. Cependant, le dessalement pose des défis environnementaux importants, notamment la forte consommation d'énergie (principalement fossile), les rejets de saumure affectant les écosystèmes marins, et la pollution chimique. L'étude analyse les approches environnementales des entreprises, comme l'intégration limitée d'énergies renouvelables et les efforts de gestion des rejets. Basée sur des questionnaires et entretiens avec des experts, la recherche met en lumière la nécessité d'améliorer la surveillance environnementale et d'adopter des technologies plus durables. Des recommandations sont formulées pour renforcer la durabilité du secteur, notamment par le développement des énergies renouvelables et une meilleure gestion des impacts écologiques.

Mots clés : Dessalement, osmose inverse, Impact, Approche Environnemental.

Abstract

This thesis examines the critical role of seawater desalination in Algeria as a solution to the country's growing water crisis. It provides a detailed overview of the 23 operational desalination plants, which produce 3.69 million m³/day, covering 42% of drinking water needs. Reverse osmosis technology dominates due to its energy efficiency. However, desalination poses significant environmental challenges, including high energy consumption (mainly fossil-based), brine discharges affecting marine ecosystems, and chemical pollution. The study analyzes the environmental approaches of companies, such as the limited integration of renewable energies and efforts to manage discharges. Based on questionnaires and interviews with experts, the research highlights the need to improve environmental monitoring and adopt more sustainable technologies. Recommendations are made to enhance the sector's sustainability, particularly through the development of renewable energies and better management of ecological impacts.

Key words : Desalination, reverse osmosis, Impact, Environmental Approach.

ملخص

يدرس هذا البحث الدور الحاسم لتحلية مياه البحر في الجزائر كحل لأزمة المياه المتزايدة في البلاد. ويقدم لمحة مفصلة عن 23 محطة تحلية عاملة، والتي تنتج 3.69 مليون متر مكعب يومياً، وتغطي 42% من احتياجات مياه الشرب. تهيمن تقنية التناضح العكسي بسبب كفاءتها في استخدام الطاقة. ومع ذلك، تشكل عملية التحلية تحديات بيئية كبيرة، بما في ذلك الاستهلاك العالي للطاقة (القائمة بشكل رئيسي على الوقود الأحفوري)، وتصريف المحاليل الملحية التي تؤثر على النظم البيئية البحرية، والتلوث الكيميائي. ويحلل البحث النهج البيئية للشركات، مثل التكامل المحدود للطاقات المتجددة والجهود المبذولة لإدارة التصريفات. وبناءً على الاستبيانات والمقابلات مع الخبراء، يسلط البحث الضوء على الحاجة إلى تحسين الرصد البيئي واعتماد تقنيات أكثر استدامة. ويتم تقديم توصيات لتعزيز استدامة القطاع، ولا سيما من خلال تطوير الطاقات المتجددة وإدارة أفضل للآثار البيئية.

Sommaire

Dédicace.....	I
Remerciements	II
Résumé	III
Liste des abréviations.....	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste des figures	IX
Première Partie.....	3
État de l'Art	3
Chapitre I.....	4
Contexte et Problématique de l'Eau en Algérie	4
I.1.1. Analyse des ressources en eau	5
I.1.2. Impact des aléas climatiques et de la croissance démographique.....	7
I.1. 3. Impact de la croissance démographique	8
I.1.3. Le recours au dessalement d'eau de mer	9
Chapitre II :	10
Etat de lieux des stations de dessalement en Algérie.....	10
II.1. L'inventaire des stations de dessalement	11
II.2. Technologies de dessalement	15
II.2.1. Distillation Multi Flash (MSF- Multi-Stage Flash).....	17
II.2.2. Osmose inverse	18
II.3. Performance et gestion.....	19
Chapitre III.....	21
Impacts et approche environnementale des stations de dessalement en Algérie.....	21
III.1. Impacts environnementaux du dessalement.....	22
III.1.1. Consommation énergétique	22
II.I.2. Rejets de saumure	23
II.I.3. Autres impacts environnementaux	25
III.2. Approche environnementale	25
II.2.1. Intégration des énergies renouvelable.....	25
II.2.2. Gestion durable des rejets	27
II.2.3. Optimisation des procédés	28
II.2.4. Sensibilisation et gouvernance	29

2^{ème} Partie	31
Partie Empirique	31
Matériel & Méthodes	32
I. Objectif de ce projet d'étude	33
II. Méthodologie de recherche	33
II.1. Collecte des données	33
II.1.1. Questionnaire	33
II.1.2. Entretien approfondi	35
II.1.2. Participation à une conférence	36
II.2. Analyse des données	37
Résultats & discussion	38
I. Nombre et profils des répondants	39
II. Caractéristiques opérationnelles	39
II.1. Taille des stations	39
II.2. Capacité de production	40
II.3. Technologie et type d'énergie utilisés	41
II.4 Consommation Énergétique par Taille des Stations	43
II.3. Pratiques Environnementale	44
II.3.2. Mesures d'Économie d'Énergie	44
II.3.3. Émissions de GES	45
II.3.4. Gestion des Rejets	46
II.3.5. Certifications	47
II. Résumé de l'interview	48
Conclusion	50

Les références bibliographiques

Annexes

Annexe 1. Images satellitaires des station

image satellitaire de la station de El Hamma

Annexe 2 : Questionnaire

Annexe 3 : Les questions de l'interview

Liste des abréviations

AEC : Algerian Energy Company (Société Algérienne de l'Énergie)

ANDE : Agence Nationale de Dessalement de l'Eau

AS : Analyse Statistique

BOD : Demande Biologique en Oxygène

CDEM : Colloque sur le Dessalement de l'Eau de Mer

EIE : Étude d'Impact Environnemental

ED : Électrodialyse

GES : Gaz à Effet de Serre

HSE : Hygiène, Sécurité et Environnement

IEMC : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

IO : Osmose Inverse

MED : Distillation Multi-Effets

MSF : Distillation Multi-Étages par Détente

MW : Mégawatt

PEL : Port Energy Logistic

PSU : Unité Pratique de Salinité (*Practical Salinity Unit*)

PV : Photovoltaïque

PSE : Programme de Surveillance Environnementale

RO : Reverse Osmosis (Osmose Inverse)

SDM : Station de Dessalement Maritime

TWh : Térawattheure

WES : Water and Environment Support

Liste des tableaux

TABLEAU 1. TYPES DE CLIMAT DES DIFFERENTES REGIONS DU TERRITOIRE ALGERIE (MOZAS & GHOSN, 2013).....	7
TABLEAU 2. COMPARAISON DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES DE DESSALEMENT (CATH ET AL., 2013; GHAFFOUR ET AL., 2013; ROVEL, 2010).....	16
TABLEAU 3. COMPARAISON DES PROJETS PILOTES D'ENERGIES RENOUVELABLES POUR LE DESSALEMENT EN ALGERIE (ADDA ET AL., 2024; DEHMAS ET AL., 2011).....	27
TABLEAU 4 . L'EFFET DES TYPES DE DIFFUSEURS UTILISE SUR LES REJETS DE SAUMURE A BENI SAF ET MOSTAGANEM (BELATOUI ET AL., 2017).....	28

Liste des figures

FIGURE 1. BARRAGES ET TRANSFERTS DES RESSOURCES EN EAU (MOZAS & GHOSN, 2013).	5
FIGURE 2. STOCKGE DES EAUX SOUTERRAINES (FANACK WATER, 2019).	6
FIGURE 3. EVOLUTION DE LA DISPONIBILITE EN EAU PAR HABITANT (FANACK WATER, 2019)..	8
FIGURE 4. DISTRIBUTION DES STATIONS DE DESSALEMENT EN ALGERIE (RIZOU, 2019).....	11
FIGURE 5. IMAGES SATELLITAIRE DE QUELQUES STATIONS DE DESSALEMENT (A : STATION FOUKA ; B : STATION CAP ; C : STATION BENI SAF) (SOUAD, 2023).....	14
FIGURE 6. PRINCIPE DE DISTILLATION MULTI FLASH (VIVIANE, 2008)	17
FIGURE 7. PRINCIPE DE L'OSMOSE INVERSE (VIVIANE, 2008)	18
FIGURE 8. CONSOMMATION ENERGETIQUES DES DIFFERENTES STATIONS EN ALGERIE (ADDA, NACEUR, ET AL., 2024; FANACK WATER, 2019; TIGRINE ET AL., 2023).....	22
FIGURE 9. IMAGES SATELLITAIRES DES POINTS DE REJETS DES STATIONS DE DESSALEMENT EN ALGERIE(SOUAD, 2023).....	24
FIGURE 10. SCHEMA D'UNE INSTALLATION COUPLE.....	
FIGURE 14. DISTRIBUTION DE LA TAILLE DES STATIONS PARTICIPEES A L'ENQUETE	40
FIGURE 15. LA REPARTITION DE LA CAPACITE DE PRODUCTION EXPRIMEE EN KWH/M3 DE DIFFERENTES STATIONS.....	41
FIGURE 16. LES SOURCES D'ENERGIE UTILISEE EN ALGERIE.....	42
FIGURE 17. LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DES STATIONS PAR RAPPORT A LEUR TAILLE ...	44
FIGURE 18. DISTRIBUTION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DANS LES STATIONS	
FIGURE 19. UN HISTOGRAMME DES MESURES POUR REDUIRE LA CONSOMMATION ENERGETIQUES	44
FIGURE 20. LE TAUX DES MESURES DES EMISSIONS DES GES.....	45
FIGURE 21. CERTIFICATION DES STATIONS	
FIGURE 24. IMAGE SATELLITAIRES DE LA STATION DE HONAINE	7

Introduction

L'eau, ressource essentielle à la vie et au progrès humain, est devenue une préoccupation majeure dans de nombreuses régions du monde, notamment en Algérie. Situé en Afrique du Nord dans un environnement semi-aride, le pays fait face au stress hydrique croissant lié à l'épuisement des sources d'eau traditionnelles et aggravé par le changement climatique et la croissance démographique. Alors que la disponibilité en eau est en dessous du seuil critique de 1 000 m³ par an par habitant et avec des projections inquiétantes d'ici 2030, l'Algérie s'oriente de plus en plus vers le dessalement de l'eau de mer comme solution stratégique pour répondre à la demande en eau potable.

À l'horizon 2025, les 23 stations de dessalement en activité produisent près de 3,7 millions de mètres cubes d'eau par jour, couvrant environ 42 % des besoins nationaux en eau potable. avec l'ambition de porter ce chiffre à 60 % d'ici 2030(Derbal, 2024) .

Néanmoins, bien que le dessalement représente une solution essentielle, cette technologie soulève également des préoccupations environnementales importantes, notamment en matière de rejets salins, de consommation énergétique et d'impact sur les écosystèmes marins.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent projet de fin d'études, réalisé à l'École nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral (ENSSMAL), avec pour objectif de répondre à la question de recherche suivante : *quelles sont les stratégies et approches environnementales mises en œuvre par les acteurs du dessalement en Algérie pour concilier l'efficacité de cette technologie avec la préservation de l'environnement ?*.

Pour cela, ce mémoire est structuré en deux parties distinctes. La première partie propose un état de l'art structuré en trois chapitres. Le premier propose le contexte de la problématique de l'eau en Algérie. Le deuxième présente un inventaire approfondi des stations de dessalement ainsi que les technologies utilisées. Le troisième chapitre aborde les impacts environnementaux liés à ces installations, tout en exposant les approches environnementales adoptées par les entreprises du secteur.

La deuxième partie est consacrée à la méthodologie de recherche, incluant la mise en place de questionnaires et la conduite d'entretiens avec des experts du dessalement. Cette section est suivie de l'analyse des résultats obtenus, accompagnée d'une discussion qui confronte ces données à la littérature existante et aux pratiques concrètes des entreprises.

Enfin, la dernière partie du mémoire s'intéresse aux recommandations et aux actions envisageables par les acteurs du dessalement afin de mieux répondre aux enjeux environnementaux liés à cette technologie en Algérie.

Première Partie

État de l'Art

Chapitre I.

Contexte et Problématique de l'Eau en Algérie

L'Algérie, située dans une région semi-aride d'Afrique du Nord, fait face à une crise hydrique chronique, aggravée par des aléas climatiques et une pression démographique croissante. Dans ce chapitre nous analyserons la situation hydrique de notre pays, tout en mettant en lumière le recours au dessalement comme solution stratégique face à la raréfaction des ressources conventionnelles.

Parallèlement, les ressources souterraines jouent un rôle fondamental dans l'équilibre hydrique national (figure 02). Dans le nord, les nappes phréatiques offrent un potentiel estimé à 2,5 milliard de m³, mais sont soumises à une forte pression liée à l'urbanisation et à l'agriculture intensive. Le sud du pays, quant à lui, repose sur des ressources fossiles, notamment la nappe albienne du Sahara, l'un des plus vastes réservoirs d'eau souterraine au monde, avec un volume théorique de 60 000 milliards de m³. Cependant, seules 4 à 5 milliards de m³ peuvent y être exploitées durablement chaque année, en raison de contraintes techniques, énergétiques et environnementales (Kettab, 2001 ; Isamuel, 2023).

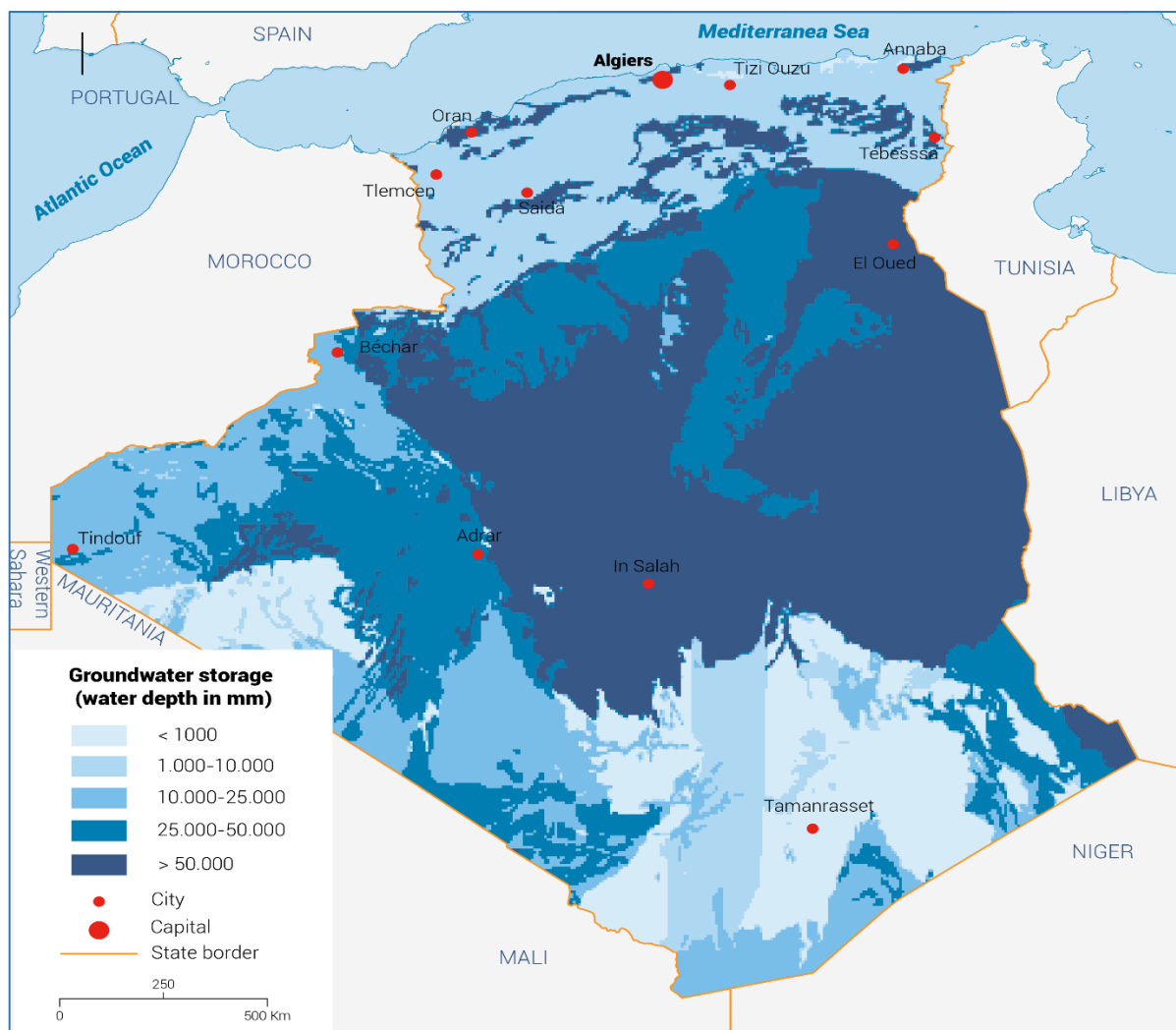


Figure 2. Stockge des eaux souterraines (Fanack Water, 2019).

I.1.2. Impact des aléas climatiques et de la croissance démographique

Bien que l'Algérie dispose, en valeur absolue, d'un patrimoine hydrique important, elle fait face à un stress hydrique chronique, aggravé par sa situation géographique en zone semi-aride à aride, sa forte croissance démographique, l'urbanisation rapide et les effets du changement climatique.

Du Nord au Sud du territoire algérien, on distingue trois régions, marquées par des conditions climatiques différentes, détermine le volume des ressources en eau. La majeure partie du territoire algérien est un désert (87 %) avec un climat aride (Tableau 1) (Mozas & Ghosn, 2013). En plus de sa diversité géographique, le climat de l'Algérie est connu pour sa grande variabilité pluviométrique avec des précipitations annuelles comprises entre 200 et 400 mm. Ces précipitations sont essentiellement concentrées sur la frange nord du pays, notamment la zone côtière, et génèrent un apport global estimé à 100 milliards de m³ par an (Kettab, 2001). Cependant, cette distribution spatiale très inégale crée un déséquilibre marqué entre les régions relativement humides du littoral et les vastes zones de l'intérieur et du sud, où les précipitations sont quasi inexistantes, rendant l'accès à l'eau particulièrement difficile.

Tableau 1. Types de climat des différentes régions du territoire Algérie (Mozas & Ghosn, 2013)

Les régions	Part de la superficie nationale	Type de climat
Région tellienne (Nord)	4%	Méditerranéen sur le littoral
Région steppique des hauts plateaux (entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien)	9%	Semi-aride
Région saharienne (Sud)	87%	Aride

Le nord du pays concentre environ 70 % de la population, mais ne dispose que de 20 % des ressources en eau, accentuant la pression sur les bassins côtiers. Cette situation est d'autant plus critique que les épisodes de sécheresse se multiplient, réduisant considérablement la disponibilité des ressources conventionnelles (Bessenasse & Belkacem, 2014). Selon les projections climatiques, les précipitations pourraient diminuer de 4 à 22 % d'ici la fin du siècle, renforçant la désertification et compromettant la recharge des nappes souterraines ainsi que les

apports en eaux de surface (Beratto, 2023). L'année 2022, la plus chaude jamais enregistrée, a illustré cette tendance avec un déficit pluviométrique de 25 %.

I.1. 3. Impact de la croissance démographique

Parallèlement, la population algérienne est passée de 23 millions en 1987 à 46,7 millions en 2024 (Direction générale du Trésor, 2025), ce qui a entraîné une augmentation importante de la demande en eau (figure 3). Les besoins, estimés à 10,4 milliards de m³ en 2019, pourraient atteindre 12,9 milliards de m³ d'ici 2030 (Sidhom, 2019).

Cette pression croissante est particulièrement marquée dans les zones côtières densément urbanisées et dans les régions de l'intérieur comme Batna ou Tamanrasset, où l'accès à l'eau est structurellement limité. Déjà classée parmi les pays en situation de stress hydrique, avec une disponibilité inférieure à 1 000 m³ par habitant et par an, l'Algérie pourrait passer sous le seuil critique de 500 m³ d'ici 2030, selon les prévisions de la Banque mondiale pour la région MENA (Pica, 2023).

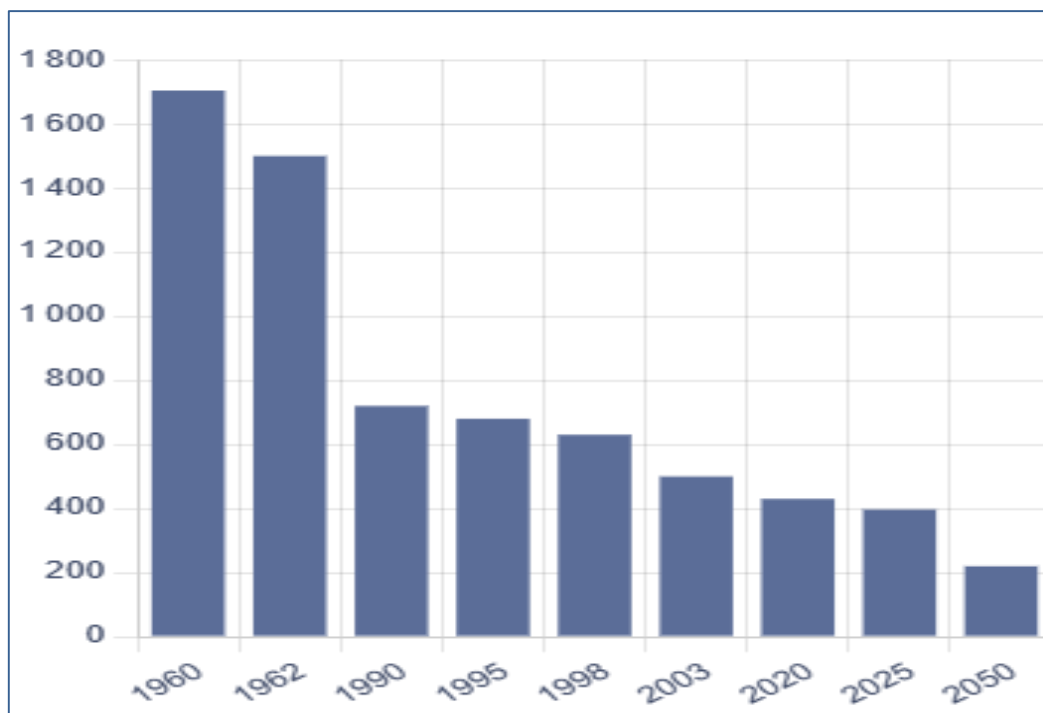


Figure 3. Evolution de la disponibilité en eau par habitant (Fanack Water, 2019)

I.1.3. Le recours au dessalement d'eau de mer

Face à l'aggravation de la pénurie d'eau, l'Algérie a adopté le dessalement d'eau de mer comme solution prioritaire pour garantir sa sécurité hydrique. Cette technologie s'est imposée comme un pilier fondamental de la politique nationale de l'eau, permettant de réduire significativement la dépendance aux ressources conventionnelles fragilisées par les sécheresses récurrentes et la sédimentation des barrages. En 2025, les installations de dessalement du pays produisent quotidiennement 3,69 millions de m³, satisfaisant 42% des besoins nationaux en eau potable, avec l'ambition d'atteindre 60% d'ici 2030 (Derbal, 2024; Drouiche et al., 2022a).

Cette stratégie cible principalement l'approvisionnement des grandes agglomérations côtières comme Alger, Oran et Skikda, libérant ainsi les ressources intérieures pour d'autres usages. Pour concrétiser cette vision, l'Algérie a engagé des investissements considérables de 5,4 milliards de (Goosen, 2025), orchestrés par l'Agence Nationale de Dessalement de l'eau et la Société Algérienne de l'énergie, qui développent des partenariats public-privé pour accélérer le déploiement des infrastructures (Hamiche et al., 2018).

Ce plan ambitieux prévoit l'implantation de nouvelles stations dans plusieurs wilayas côtières, notamment à Tlemcen, Mostaganem, Chlef, Tizi Ouzou, Jijel et Skikda, renforçant substantiellement la capacité nationale face aux défis hydriques futurs (AE, 2024a).

Chapitre II :

Etat de lieux des stations de dessalement en Algérie

Le choix de la technologie de dessalement est une étape cruciale dans la planification et l'exploitation d'une station. Il influence la qualité de l'eau, le coût, l'efficacité énergétique et la durabilité du projet.

Dans ce chapitre, nous examinerons de manière globale le dessalement en Algérie, en abordant divers points allant de l'inventaire des stations aux performances et gestion de ces infrastructures, en mettant particulièrement l'accent sur les principales technologies utilisées dans notre pays

II.1. L'inventaire des stations de dessalement

Face au stress hydrique croissant auquel l'Algérie est confrontée, notamment dans les zones côtières fortement urbanisées, l'Algérie a investi énormément dans les stations de dessalement. Elle dispose de 23 installations (figure 4 ;5 et Annexe 1) en service, comprenant onze (11) grandes unités qui produisent un total de 2,11 millions de m³ / jour, et douze (12) petites stations monoblocs ajoutant 80 500 m³/j (Tableau 2) (Ministere_hydraulique, 2025).

En février 2025, l'ajout de cinq nouvelles stations portera la capacité totale à 3,69 millions de m³/jour, soit une augmentation de 1,5 million de m³/jour (Tableau 2). Ces nouvelles stations de dessalement sont principalement gérées par la Société algérienne d'énergie (AEC) et l'Agence Nationale de Dessalement de l'Eau (ANDE) (Hamiche et al., 2018). Elles servent à fournir des ressources en eau aux principales villes côtières, notamment Alger, Oran et Skikda, réduisant ainsi la dépendance du pays à l'égard des sources traditionnelles telles que les barrages et les nappes phréatiques (Saada, 2025a, 2025b).

D'ici 2030, sept stations supplémentaires sont prévues dans les wilayas de Tlemcen, Mostaganem, Chlef, Tizi Ouzou, Jijel et Skikda, ajoutant 2,1 millions de m³/jour à la capacité globale.(AEC, 2024).



Figure 4. Distribution des stations de dessalement en Algérie (Rizou, 2019)

Tableau 2. Inventaire des stations de dessalement en Algérie (Ministère de l'Hydraulique, 2025).

Régions/Nom de SDM	Localisation	Capacité (m ³ /j)	Date de mise en service	Technologie utilisée
Grandes unités				
Ouest	Arzew (Oran)	90 000	Août 2005	MSF
	Souk Telata (Tlemcen)	200 000	Mai 2011	Osmose Inverse
	Honaine (Tlemcen)	200 000	Juillet 2012	Osmose Inverse
	Moustaganem	200 000	Septembre 2011	Osmose Inverse
	Beni Saf (Ain Timouchent)	200 000	Décembre 2009	Osmose Inverse
	Mactaa (Oran)	500 000	Juillet 2016	Osmose Inverse
Centre	Hamma (Alger)	200 000	Février 2008	Osmose Inverse
	Cap Djinet (Boumerdes)	100 000	Août 2012	Osmose Inverse
	Fouka (Tipaza)	120 000	Juillet 2011	Osmose Inverse
	Ténés (Chlef)	200 000	Juin 2015	Osmose Inverse
Est	Skikda	100 000	Mars 2009	Osmose Inverse
Capacité Totale		2110,000 (m³/j)		
Petites stations (Monoblocs)				
Ghazaouet	Tlemcen	5000	2004	Osmose Inverse
Tigzirt	Tizi_Ouzou	2500	2004	Osmose Inverse
Béni Haoua	Chlef	5000	2004 (2016)	Osmose Inverse
Mainis	Chlef	5000	2007	Osmose Inverse

Bouzedjar	Ain Témouchent	5000	2006	Osmose Inverse
Bousfer	Oran	5500	2005	Osmose Inverse
Les Dunes		5000	2006	Osmose Inverse
Skikda	Skikda	10 000	2002 (2022)	Osmose Inverse
Zéralda		10 000	2003 (2021)	Osmose Inverse
Ain Benian	Alger	10 000	2003 (2021)	Osmose Inverse
Palm Beach		7500	2003(2021)	Osmose Inverse
Boumail	Tipaza	10 000	2005 (2022)	Osmose Inverse
Capacité total (m³/j)		80500		
Nouvelles stations lancées en février 2025				
Cap-Blanc	Oran	300 000	février 2025	Osmose inverse
Fouka 2	Tipaza	300 000	février 2025	Osmose inverse
Cap Djinet 2	Boumerdes	300 000	février 2025	Osmose inverse
Koudiet Edraouech,	El Tarf	300 000	février 2025	Osmose inverse
Tighremt	Bejaia	300 000	février 2025	Osmose inverse
Capacité totale (m³/j)		1500 000		



Figure 5. Images satellitaire de quelques stations de dessalement (A : station Fouka ; B : Station Cap ; C : Station Beni saf) (Souad, 2023).

II.2. Technologies de dessalement

Les technologies de dessalement englobent les procédés visant à éliminer le sel (chlorure de sodium) et autres minéraux de l'eau, notamment de l'eau de mer ou saumâtre, afin de la rendre propre à la consommation humaine, animale, à l'irrigation ou à des usages industriels (FAWAL, 2016).

Les technologies de dessalement peuvent être catégorisées selon le type de procédé employé (Cotruvo Joseph, 2005), notamment :

- Procédés basés sur le changement de phase de l'eau
- Procédés exploitant les propriétés des membranes
- Procédés reposant sur la sélectivité ionique des solides ou liquides
- Procédés distingués par le type d'énergie utilisé

Elles incluent principalement les méthodes suivantes : Osmose inverse (OI), Distillation par évaporation (MSF - Multi-Stage Flash), Électrodialyse (ED), Échange d'ions, Dessalement par congélation, Dessalement par membranes à distillation (MD) et Technologies solaires ou thermiques avancées. Chaque technologie présente des avantages et des limites en termes de coût, d'efficacité énergétique, d'infrastructure requise et d'adaptabilité à la salinité de l'eau traitée (Tableau 3).

Selon l'inventaire des stations de dessalement présenté dans le tableau 2, à l'exception de la petite station de Bou Ismail, une unité conteneurisée modulable conçue pour une installation rapide et adaptée aux besoins locaux (Tigrine et al. 2023), et de la station d'Arzew, qui repose sur la technologie de distillation multi-étages (MSF), toutes les autres stations en Algérie utilisent exclusivement la technologie de l'osmose inverse. En effet dans cette partie, nous décrirons essentiellement les deux technologies.

Tableau2. Comparaison des principales technologies de dessalement (Cath et al., 2013; Ghaffour et al., 2013; Rovel, 2010)

Technologie	Principe	Coût (€ / m ³)	Consommation énergétique (kWh/m ³)	Qualité de l'eau	Avantages	Inconvénients
Osmose inverse (RO)	Filtration à travers une membrane semi-perméable sous haute pression	0,50 – 1,50	3 – 6	Très bonne (eau douce)	Très répandue, efficace, modulaire	Encrassement des membranes, prétraitement nécessaire
Distillation multi-effet (MED)	Évaporation multiple avec récupération de chaleur	1 – 2,5	4 – 12 (selon énergie utilisée)	Très bonne	Moins sensible à la qualité de l'eau d'alimentation	Coût élevé, encombrant, besoin de vapeur
Distillation multi-étagée (MSF)	Évaporation successive à différentes pressions	1,5 – 3	10 – 25	Très bonne	Très robuste, fiable	Très énergivore, coûteux à l'investissement
Électrodialyse (ED)	Séparation par membranes sous champ électrique	0,5 – 1,5	0,5 – 2	Moyenne à bonne	Faible consommation, efficace pour eau faiblement salée (brackish)	Moins adapté à l'eau de mer, limitation sur la concentration saline
Nanofiltration	Filtration à travers des membranes à pores très fins	0,4 – 1,2	1 – 4	Moyenne	Moins énergivore que RO, bonne pour eau saumâtre	Ne retire pas totalement les sels dissous, membranes sensibles
Dessalement par congélation	Gel de l'eau : la glace ne contient pas de sel, séparation de la glace	> 2,5	6 – 15	Bonne	Moins de corrosion, bonne qualité de l'eau produite	Coût très élevé, faible rendement, peu développé industriellement
Humidification-déshumidification (HDH)	Évaporation d'eau suivie de condensation dans un cycle fermé	1,5 – 4	5 – 15	Bonne	Peut utiliser des sources de chaleur renouvelable (solaire, géothermie)	Rendement faible, plus adapté aux petites unités

II.2.1. Distillation Multi Flash (MSF- Multi-Stage Flash)

La **distillation multi-étagée (MSF, Multi-Stage Flash)** est une technique de dessalement qui chauffe l'eau de mer pour la faire évaporer, puis condense la vapeur pour produire une eau pure, laissant les sels dans la solution initiale (figure 06).

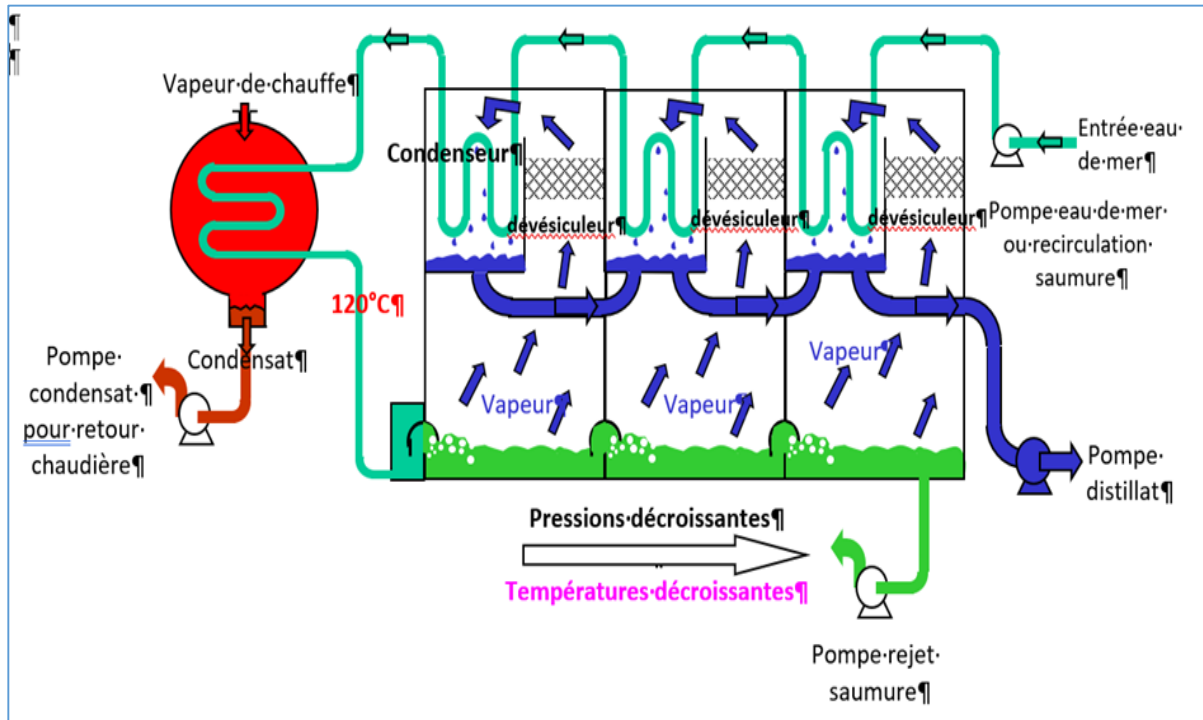


Figure 6 .Principe de distillation Multi Flash (Viviane, 2008)

Le procédé est composé de plusieurs étapes :

- **Chauffage sous pression** : L'eau de mer est chauffée sous pression jusqu'à environ 120 °C, empêchant l'ébullition pendant cette phase.
- **Vaporisation par dépressurisation** : L'eau chauffée est dirigée vers une chambre (ou étage) où la pression est brutalement réduite, provoquant une vaporisation instantanée ("flash"). Une partie de l'eau s'évapore, et la vapeur se condense sur des tubes situés en haut de la chambre. L'eau condensée est collectée dans des réservoirs placés en dessous.
- **Refroidissement et répétition** : La chaleur de vaporisation est libérée par le refroidissement de l'eau de mer restante, stoppant l'ébullition lorsque la température correspond à la pression de l'étage. Ce processus se répète à travers une série d'étages à pression décroissante, pouvant aller jusqu'à 40 dans une unité industrielle.

- **Récupération de chaleur** : Avant d'atteindre 120 °C, l'eau de mer circule dans des tubes de condensation, en commençant par l'étage supérieur (le plus froid). Elle récupère la chaleur issue de la condensation de la vapeur, améliorant l'efficacité énergétique (Viviane, 2008).

La technologie **MSF** est bien adaptée aux eaux fortement salées, d'où l'explication de son utilisation dans le site d'Arzew. Toutefois, son développement est limité par une consommation énergétique élevée (environ 15 kWh/m³) et des coûts opérationnels importants (Bouri & Abderrahmane, 2019, Qasim *et al*, 2019).

II.2.2. Osmose inverse

L'osmose inverse est actuellement la technologie de dessalement la plus répandue à l'échelle mondiale. Ce procédé repose sur le passage de l'eau salée à travers une membrane semi-perméable sous haute pression, retenant les sels, minéraux et impuretés tout en laissant passer les molécules d'eau (Figure 7). Opérant à température ambiante sans changement de phase, cette méthode se distingue par son efficacité énergétique et sa capacité à produire une eau potable de haute qualité, avec une salinité inférieure à 0,5 g/L (Tayeh, 2024 ; Viviane, 2008).

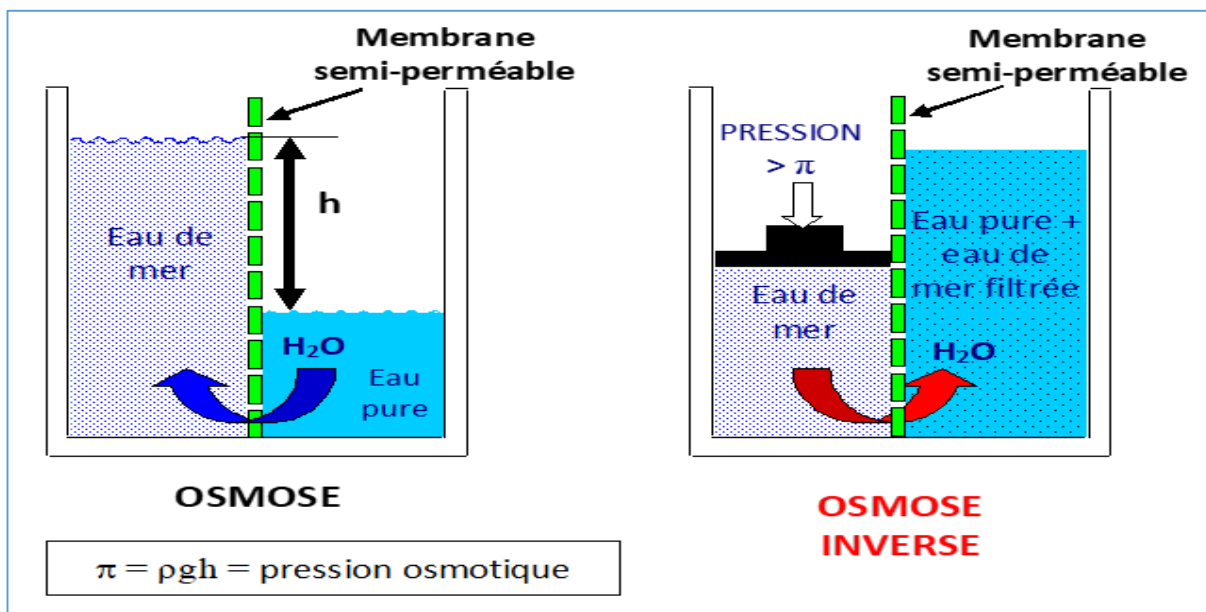


Figure 7. Principe de l'osmose inverse (Viviane, 2008)

Les membranes polymères utilisées, conçues pour filtrer les particules, sels dissous et composés organiques jusqu'à une taille de 10^{-7} mm, garantissent une eau dessalée conforme aux normes de potabilité. En Algérie, l'osmose inverse est adoptée par 22 des 23 stations de dessalement, notamment celles de Fouka (120 000 m³/j), Hamma (200 000 m³/j) et Skikda (100 000 m³/j), avec une consommation énergétique moyenne de 1,8 kWh/m³, ce qui en fait une solution relativement économe (Ministère de l'Hydraulique, 2025; Tayeh, 2024).

Parmi ses principaux atouts, l'osmose inverse offre une mise en service rapide (6 à 12 mois), un rendement élevé et une production d'eau potable sans transformation physique. Cependant, elle exige un prétraitement rigoureux de l'eau brute et un remplacement des membranes tous les 5 à 7 ans, représentant jusqu'à 50 % des coûts d'exploitation (Bessenasse et al, 2010 ; Tayeh, 2024).

Des innovations récentes atténuent ces contraintes, notamment l'utilisation de l'énergie solaire pour alimenter la station de Bou Ismaïl (5 000 m³/j) et le développement local de membranes, réduisant la dépendance aux importations et renforçant l'autonomie technologique de l'Algérie (Ouali & Doucouré, 2024 ; Tigrine et al, 2023).

II.3. Performance et gestion

En 2022, la proportion d'eau potable provenant d'usines de dessalement en Algérie était de 18 %, desservant principalement la population côtière, avec l'ambition de porter ce chiffre à 42 % d'ici 2025 et 60 % d'ici 2030, grâce à un investissement de 5,4 milliards de dollars. (Drouiche et al., 2022).

L'Agence nationale de dessalement de l'eau (ANDE) joue un rôle central dans la planification stratégique des projets, en supervisant leur exécution et en facilitant les partenariats public-privé (PPP), tandis que la Société algérienne de l'énergie (AEC) assure l'administration technique et Sonatrach finance des initiatives spécifiques, notamment par la fourniture de gaz pour les opérations liées à l'énergie. (Drouiche et al., 2022) .

Les obstacles opérationnels comprennent des dépenses de maintenance importantes, en particulier pour les membranes d'osmose inverse susceptibles de s'encrasser (représentant jusqu'à 50 % des coûts totaux) et pour les équipements de flash à plusieurs étages (MSF) nécessitant des réparations fréquentes (Bessenasse, 2009; Bessenasse et al., 2010; Tayeh, 2024)

.Les dépenses opérationnelles, y compris les agents chimiques (tels que les substances antisalissure) et les coûts de main-d'œuvre, constituent toujours des obstacles importants, aggravés par la dépendance à l'égard des appareils importés, malgré les progrès réalisés dans la fabrication nationale de membranes d'osmose inverse.(Quali & Doucoure, 2024).

Pour relever ces défis, l'Algérie alloue des ressources à la formation de techniciens locaux et à la création d'une industrie nationale, dans le but d'atténuer les coûts et d'améliorer la viabilité économique du secteur (Bouri & Abderrahmane, 2019).

Chapitre III.

Impacts et approche environnementale des stations de dessalement en Algérie

Bien que le dessalement de l'eau de mer se soit imposé en Algérie comme une solution stratégique face à la raréfaction des ressources hydriques, aggravée par les sécheresses récurrentes et la croissance continue de la demande en eau potable, cette technologie engendre des impacts environnementaux notables. Ces impacts sont notamment la consommation énergétique, les rejets de saumure et la pollution chimique liée aux produits utilisés dans le traitement de l'eau. Dans ce chapitre nous proposerons une analyse des effets environnementaux associés à ces installations, en mettant en lumière leur influence sur les écosystèmes côtiers.

III.1.Impacts environnementaux du dessalement

III.1.1. Consommation énergétique

En Algérie, les usines de dessalement utilisant principalement la technologie d'osmose inverse (OR) affichent des taux de consommation d'énergie de 4 à 5,5 kWh/m³, ce qui indique une efficacité supérieure aux approches de distillation traditionnelles telles que la distillation instantanée en plusieurs étapes (MSF, 15,1 kWh/m³) ou la distillation multi-effets (MED, 7,5 kWh/m³) (Bessenasse et al., 2010). Une étude de *Plan Bleu* (2022) indique que la consommation énergétique totale des stations de dessalement algériennes représente environ 1,5 à 2 TWh par an, soit une part notable de la consommation électrique nationale (Figure 8).

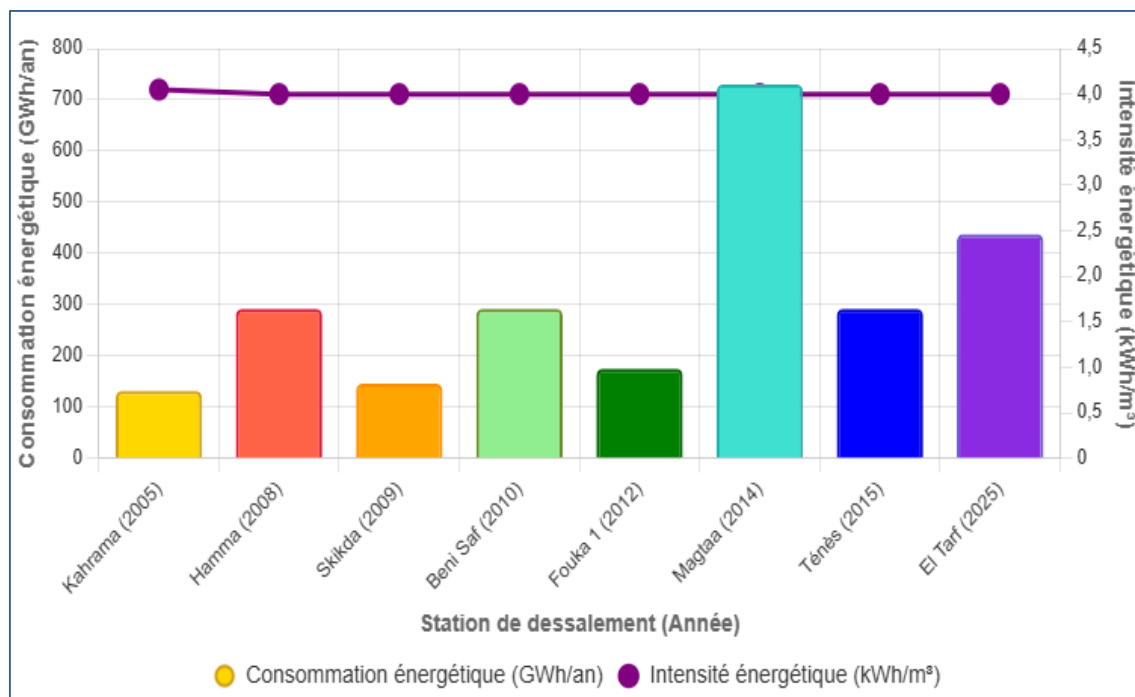


Figure 8. Consommation énergétiques des différentes stations en Algérie (Adda, Naceur, et al., 2024; Fanack Water, 2019; Tigrine et al., 2023)

Cette demande énergétique repose presque exclusivement sur le réseau électrique national, lui-même alimenté à 98 % par des combustibles fossiles, principalement le gaz naturel. Cette dépendance engendre d'importantes émissions de gaz à effet de serre, évaluées entre 1,5 et 2 kg de CO₂ par m³ d'eau produite, soit environ 1,2 à 1,6 million de tonnes de CO₂ par an pour l'ensemble du parc de dessalement national contribuant ainsi au phénomène du changement climatique (Ammitouche & Baloul, 2022; BESSENASSE & BELKACEM, 2014; Tigrine et

al., 2023).

En plus de son impact climatique, cette dépendance énergétique accentue la pression sur le réseau électrique et pourrait entraîner une hausse de la demande énergétique, nécessitant des investissements dans des infrastructures, souvent elles-mêmes alimentées par des énergies fossiles. Par ailleurs, les coûts environnementaux indirects liés à l'extraction, au transport et à la transformation du gaz naturel viennent alourdir encore davantage le bilan carbone du dessalement en Algérie.

II.I.2. Rejets de saumure

En Algérie, les rejets de saumure (figure 9), qui sont imprévus lors du processus de dessalement, représentent un enjeu environnemental de taille. Le rejet de saumure atteint entre 1,5 et 2 m³ pour chaque m³ d'eau dessalée produit (BESSENASSE & BELKACEM, 2014). Une étude à la baie de Bou-Ismaïl a révélé des niveaux élevés de salinité (39,94 PSU) et de chlorure (31 510 mg/L) près des points de rejet, soulignant la nécessité de meilleures stratégies de dispersion (Kassouar & Abi-Ayad, 2024). L'Algérie avec ces treize stations rejette environ 2,5 million de m³ par jour de saumure dans l'environnement (Kassouar & Abi-Ayad, 2024).

Une étude sur la station de Bousfer a montré des effets sublétaux sur les mollusques marins (*Patella rustica*), confirmant l'impact négatif des rejets en période de faible production (2 500 m³/j) (Benaïssa et al., 2020).

Avec une concentration en sel qui peut monter jusqu'à 37 800 mg/L, soit plus du double de celle de l'eau de mer dans la Méditerranée (environ 35 000 mg/L), ces déversements accroissent la salinité à travers la région et exercent un impact sur des écosystèmes délicats tels que les herbiers de la Posidonie. Selon des recherches, une exposition prolongée à la saumure peut entraîner une augmentation de l'accumulation d'épiphytes, une nécrose foliaire et un abaissement des glucides non structuraux dans la posidonie. Cependant, la dilution rapide dans les zones peu profondes pourrait atténuer ces effets à long terme (Abderrahmane, 2019; Gacia et al., 2007). Ces perturbations mettent en danger la biodiversité côtière, qui est cruciale pour l'équilibre des écosystèmes marins.

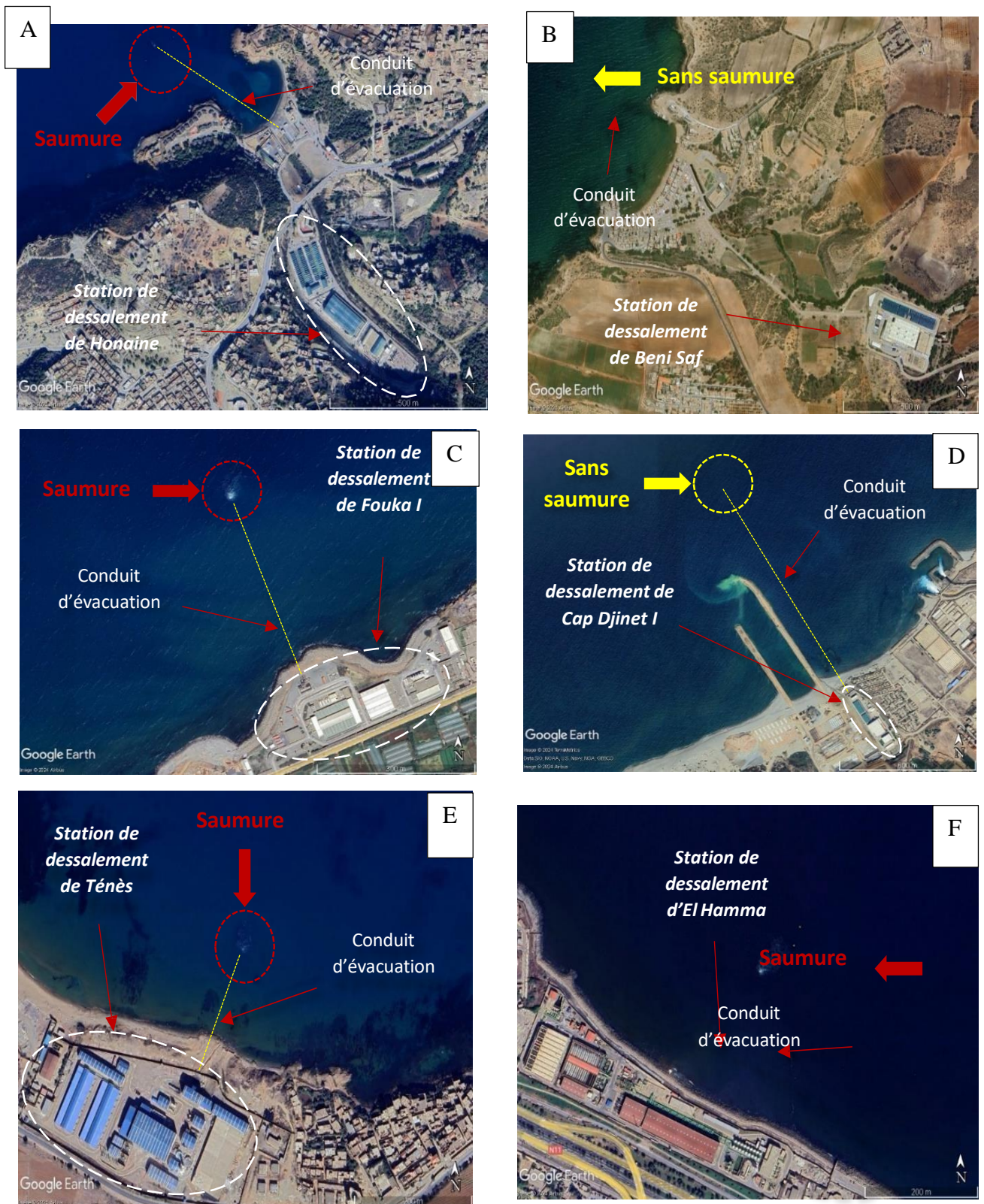


Figure 9. Images satellitaires des points de rejets des stations de dessalement en Algérie(Souad, 2023).

II.1.3. Autres impacts environnementaux

Les installations de dessalement contribuent considérablement à la pollution chimique en raison de l'utilisation de substances telles que le chlore, les agents antiscalants et les coagulants. En Algérie, les enquêtes sur les rejets de saumure indiquent des niveaux élevés de chlorure, de sulfate, de magnésium et de calcium, dépassant fréquemment les réglementations environnementales et ayant un impact négatif sur la faune et la flore marines. Ces substances, dont l'hypochlorite, sont nocives pour les organismes marins et peuvent se bio accumuler dans le réseau trophique, présentant ainsi des risques indirects pour la santé humaine (Amitouche et al., 2017). À l'inverse, les prises d'eau entraînent une réduction de la biodiversité en raison de l'impaction (les organismes sont piégés contre les grilles) et de l'entraînement (aspiration des larves et du plancton) (Abderrahmane, 2019).

La gestion des déchets générés par le dessalement, y compris les membranes usées et les résidus chimiques, représente un défi supplémentaire.

III.2. Approche environnementale

II.2.1. Intégration des énergies renouvelable

II.2.1.1. Energie solaire et éolienne

L'Algérie possède un potentiel solaire remarquable, caractérisé par des niveaux d'irradiation allant de 1850 à 2100 kWh/m² par an, ainsi que près de 3500 heures d'ensoleillement dans ses territoires désertiques (Algeria Renewable Energy, 2023; Hamiche et al., 2018). Ce potentiel important fait de l'énergie solaire une solution optimale pour le fonctionnement des installations de dessalement, qui utilisent actuellement entre 4 et 5,5 kWh/m³ pour l'osmose inverse (OR).

L'énergie éolienne est également prometteuse, notamment dans les régions côtières comme Ténès, où des études ont évalué la faisabilité d'un parc éolien de 10 MW pour alimenter une station de dessalement de 5000 m³/jour, réduisant les émissions de CO₂ de plus de 8500 tonnes par an (Dehmas et al., 2011).

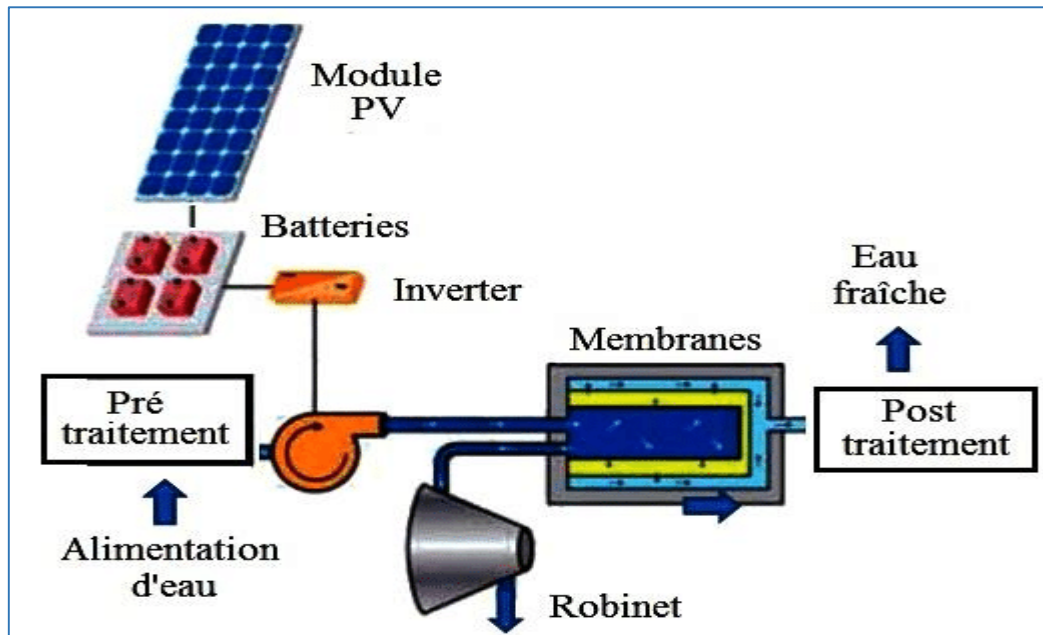


Figure 10. Schéma d'une installation couplée avec les Panneaux Photovoltaïques (Adda, Naceur, et al., 2024).

II.2.1.2. Projets pilotes

Afin d'atténuer ces effets négatifs, l'Algérie étudie l'incorporation de sources d'énergie renouvelables (Tableau 4). Une illustration pertinente est l'initiative pilote Bou-Ismaïl, dans laquelle un appareil de dessalement par osmose inverse est alimenté par un panneau photovoltaïque de 3 kWp, produisant un taux de production de 2 m³/jour d'eau potable, avec une consommation d'énergie fluctuant de 1,5 kWh/m³ pour l'eau saumâtre (5 g/L) à 5,6 kWh/m³ pour l'eau de mer (35 g/L) (Tigrine et al., 2023). Cette initiative illustre la faisabilité technique et économique des systèmes d'énergie solaire, comme en témoigne un coût de production de 0,33 \$/m³ pour la configuration hors réseau, soit 1,14 fois plus économique que le système connecté au réseau (0,38 \$/m³) (Adda, Bezari, et al., 2024).

Dans la région sud, en particulier à Hassi-Khebi, une unité solaire génère 950 l/h pour environ 1 000 habitants, démontrant ainsi la polyvalence de ces technologies dans des régions éloignées (Adda, Bezari, et al., 2024). Ces efforts sont conformes à l'objectif national d'atteindre 13,5 GW de capacité photovoltaïque d'ici 2030, renforçant ainsi la transition vers des pratiques de dessalement durables.

Tableau 3. Comparaison des projets pilotes d'énergies renouvelables pour le dessalement en Algérie (Adda et al., 2024; Dehmas et al., 2011).

Projet	Type d'énergie	Capacité (m ³ /jour)	Réduction CO ₂ (tonnes/an)
Bou-Ismaïl	Solaire (PV)	2	Non spécifié
Hassi-Khebi	Solaire (PV)	22,8 (950 L/h)	Non spécifié
Ténès	Éolienne	5000	8500

II.2.2. Gestion durable des rejets

II.2.2.1. Valorisation de la saumure

Les rejets de saumure, présentant une concentration saline de 37 800 mg/L, dépassent largement les niveaux de salinité de l'eau de mer Méditerranée, qui mesure 35 000 mg/L, présentant ainsi un défi environnemental considérable en Algérie, avec des impacts néfastes sur les écosystèmes marins, y compris les prairies de posidonies (Abderrahmane, 2019).

La valorisation de la saumure représente une solution potentiellement efficace. En Algérie, la Société nationale du sel (Enasel) étudie la valorisation des sels de saumure pour la production de composés industriels, transformant ainsi efficacement les déchets en une ressource précieuse. Ces initiatives, associées à des technologies innovantes telles que la distillation sous vide par membrane, ont le potentiel d'atténuer les impacts environnementaux et de réduire les dépenses de gestion des déchets, améliorant ainsi la durabilité des installations de dessalement (del Villar et al., 2023).

Cette méthodologie est conforme aux principes d'une économie circulaire, dans laquelle les déchets sont réutilisés en ressources précieuses, réduisant ainsi le volume des rejets liquides (Drouiche et al., 2022).

II.2.2.1. Minimisation des impacts sur les écosystèmes marins

Pour réduire l'impact des rejets, des technologies comme les diffuseurs multiports sont utilisées. Comme c'est indiqué dans le tableau 5, Une étude comparative des stations de Beni Saf et Mostaganem montre que l'utilisation de 50 diffuseurs multiports à Mostaganem, à une profondeur de 16,5 m, limite l'augmentation de salinité à 39,8 g/L sur 200 m, contre 62,8 g/L sur plus de 1,5 km avec un diffuseur unique à Beni Saf (Belatoui et al., 2017). Ces diffuseurs améliorent la dilution et réduisent les impacts sur les communautés benthiques.

Tableau 4 . L'effet des types de diffuseurs utilisé sur les rejets de saumure à Beni Saf et Mostaganem (Belatoui et al., 2017).

Station	Type de diffuseur	Salinité maximale (g/L)	Étendue de l'impact (m)
Beni Saf	Simple (1 m)	62,8	>1500
Mostaganem	Multiports (50)	39,8	200

La Convention de Barcelone impose des règles rigoureuses, en particulier des études d'impact environnemental (EIE) et des programmes de surveillance environnementale (PSE), afin de réguler les déversements de saumure (Sola et al., 2020).

En Algérie, les stations de dessalement mettent en œuvre des procédés tels que la dilution de la saumure avant son rejet. Toutefois, l'efficacité de ces actions repose sur une surveillance minutieuse et l'utilisation de technologies de pointe, telles que les diffuseurs à haute performance, afin d'étendre la diffusion de la saumure sur des surfaces plus larges et de réduire les impacts environnementaux (Lattemann & Höpner, 2008).

II.2.3. Optimisation des procédés

II.2.3.1. Amélioration des technologies de prétraitement

Les procédés de prétraitement, notamment la coagulation, la floculation et l'ultrafiltration, sont essentiels pour réduire le blocage des membranes d'osmose inverse, ce qui pose un problème majeur qui compromet l'efficacité opérationnelle des installations de traitement (Anis et al., 2019).

Ces procédés facilitent l'élimination des particules en suspension, la modulation des niveaux de pH et l'incorporation d'inhibiteurs pour atténuer les phénomènes d'entartrage, prolongeant ainsi la durée de vie opérationnelle des membranes et diminuant les dépenses de maintenance. Par exemple, à l'installation de Hamma, la mise en œuvre de protocoles de prétraitement sophistiqués a amélioré la qualité de l'effluent prétraité, garantissant ainsi la fonctionnalité durable de l'installation (| GE News, s. d.)

II.2.3.2. Innovations dans les membranes d'osmose inverse

Des avancées dans le domaine des membranes d'osmose inverse, telles que les membranes composites à film mince, ont conduit à une diminution de la consommation d'énergie à environ 1,8 kWh/m³ et à une augmentation des taux de rejet des sels (Khawaji et al., 2008). En Algérie, une action significative est la fabrication de membranes sur le territoire national, déclarée par le ministre de l'Énergie et des Mines, Mohamed Arkab, en collaboration avec Port Energy Logistic (PEL) (Leslous, 2024). Cette initiative a pour objectif de diminuer la dépendance vis-à-vis des importations, qui constituent une portion significative des dépenses des 23 stations en place, et d'ajuster les membranes aux conditions particulières de l'eau de mer méditerranéenne (salinité modérée, température moyenne de 19 °C), ce qui améliore par conséquent la rentabilité (Bessenasse et al., 2010).

II.2.4. Sensibilisation et gouvernance

Faire prendre conscience de la nécessité de conserver l'eau est une approche fondamentale pour répondre à la demande en eau en Algérie, un pays confronté au double obstacle d'une pénurie d'eau accrue due au changement climatique et d'une population en plein essor de 46,9 millions d'habitants en 2022, ce qui exerce une pression importante sur ses rares ressources en eau. Ces initiatives sont conçues pour protéger les écosystèmes marins qui sont affectés par les rejets de saumure, dont les concentrations atteignent 37 800 mg/L (voir chapitre 03), soit plus du double des niveaux de salinité généralement observés en mer Méditerranée (Abderrahmane, 2019). Parallèlement aux avancées technologiques, comme en témoigne le projet pilote Bou-Ismaïl qui génère 2 m³/jour grâce à l'énergie photovoltaïque (Tigrine et al., 2023), des campagnes de sensibilisation favorisent l'adoption de pratiques responsables en matière d'utilisation de l'eau.

D'ici 2025, les initiatives éducatives au sein des écoles primaires, qui comprendront des activités pratiques telles que la gestion de mini-réservoirs, visent à développer un état d'esprit axé sur la conservation dès le plus jeune âge (Water Security Hub, 2024). Parallèlement, les efforts de sensibilisation dans les mosquées visent à impliquer les populations rurales, où 78 % des ménages urbains sont fréquemment confrontés à des interruptions de leur approvisionnement en eau (« Water Supply and Sanitation in Algeria », 2025).

Le secteur agricole, qui représente 70 % de la consommation totale d'eau, représente un défi de taille, nécessitant des campagnes spécialisées pour informer les agriculteurs sur les méthodologies d'irrigation efficaces, telles que l'irrigation au goutte-à-goutte, afin de minimiser le gaspillage d'eau (Fanack Water, 2019). La Tunisie, qui a réussi à réduire sa consommation d'eau domestique de 15 % entre 2020 et 2023 grâce à une combinaison de sensibilisation sur les réseaux sociaux et d'ateliers communautaires, constitue un modèle exemplaire pour l'Algérie (Programme, 2024).

Les collaborations internationales, telles que l'initiative Water and Environment Support (WES) dans la région méditerranéenne, ont le potentiel de renforcer ces efforts en favorisant des programmes de sensibilisation et de formation adaptés aux contextes locaux (EU Neighbours, 2016). Collectivement, ces efforts concertés visent à créer une société mieux informée, ce qui est essentiel pour la durabilité des initiatives de dessalement et pour garantir la sécurité de l'eau à long terme.

2^{ème} Partie
Partie Empirique

Matériel & Méthodes

Cette recherche, menée dans le cadre d'un projet de fin d'étude à l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de L'Aménagement du Littoral (ENSSMAL), vise à compiler un inventaire des installations de dessalement en Algérie, à évaluer leurs pratiques écologiques et à étudier les développements futurs. Un cadre méthodologique intégrant des approches quantitatives et qualitatives a été utilisé pour élucider les subtilités de ce secteur essentiel, à l'aide d'un questionnaire structuré, d'entretien et d'une participation à une conférence spécialisée.

I. Objectif de ce projet d'étude

Comme précédemment mentionné, ce projet de fin d'études vise à mettre en lumière le dessalement en Algérie. IL s'attache d'abord à analyser le fonctionnement de différentes stations en s'intéressant à leur taille, leur capacité de production, les technologies utilisées ainsi que les sources d'énergie mobilisées. Ensuite, elle examine les approches environnementales adoptées, notamment la gestion des rejets, les émissions de gaz à effet de serre et les mesures prises pour en atténuer les impacts. Enfin, l'étude explore les perspectives d'avenir, à travers les projets d'extension envisagés et l'intégration des leçons tirées des installations existantes pour améliorer l'efficacité et la durabilité.

II. Méthodologie de recherche

Afin de répondre efficacement à notre problématique, nous avons adopté une méthodologie hybride associant l'analyse de données quantitatives issues d'un questionnaire et l'exploitation de données qualitatives provenant d'entretien et de conférence. Cette approche permet de confronter les résultats statistiques relatifs aux pratiques opérationnelles des stations de dessalement avec les analyses approfondies fournies par les experts du domaine, garantissant ainsi une compréhension exhaustive et équilibrée du secteur algérien du dessalement.

II.1. Collecte des données

II.1.1. Questionnaire

L'utilisation d'un questionnaire comme méthode de collecte de données quantitatives a été motivée par deux principaux avantages : d'une part, il permet de limiter la subjectivité des réponses, et d'autre part, il facilite la présentation des résultats sous forme chiffrée et objective.

Le questionnaire a été créé avec Fillout, une plateforme en ligne de création de formulaires et d'enquêtes. Fillout permet une personnalisation avancée, incluant des thèmes visuels, une logique conditionnelle, et des intégrations avec Google Sheets et Google Docs pour la gestion des réponses à des fins académiques.

II.1.1.1. Structure Questionnaire

Le questionnaire (Annexe 2) est structuré en plusieurs pages, contenant des questions spécifiques. Il commence par une page d'accueil, suivie de 16 pages et se termine par une page de remerciement. Les 17 questions sont dans la grande majorité (10 questions obligatoire) des questions fermées à choix unique ou multiple. La liste de propositions à soumettre préétablie à l'avance, permet au participant de faire le meilleur choix possible tout en fournissant des

données structurées, faciles à analyser. Il convient de noter qu'une option "autre" a été incluse lorsque la liste des réponses prédéfinies ne couvrait pas toutes les possibilités, afin d'éviter toute distorsion des résultats.

Les questions sous forme d'espace textuel ont également été incluses pour donner aux répondants l'opportunité de s'exprimer sur la question. Le questionnaire. La navigation est linéaire, avec des boutons pour avancer ou revenir en arrière, et une barre de progression visible pour améliorer l'expérience utilisateur. Le temps de réponse estimé est de 5 à 6 minutes (<https://forms.fillout.com/t/w3FrxjoVEvus>).

- **La Page d'accueil** est l'interface principale. Elle affiche le titre « Les stations de dessalement en Algérie : État de lieux et Approche Environnementale ». Elle comprend une introduction qui précise l'objectif, l'affiliation à l'ENSSMAL, la garantie d'anonymat, ainsi qu'une estimation de 5 à 6 minutes pour sa réalisation. Un bouton « Démarrer » vous permet de débiter, en utilisant le thème visuel « Green Ocean (1) » qui inclut une image d'arrière-plan et des couleurs coordonnées (fond bleu-vert, questions en bleu, instructions en gris).



Figure 11. La page d'accueil du questionnaire

- **Pages de questions**, comprenant trois sections soigneusement organisées, chacune traitant de facettes distinctes mais interconnectées : la première générale a été élaborée pour obtenir des informations sur **la population des répondants et les aspects opérationnels des entreprises** (Questions 1 à 7). La deuxième porte sur **Impacts environnementaux** (Questions 8 à 13). Enfin la dernière section traite des **aspects réglementaires et de la conformité** (Questions 14 à 17).
- **Page de remerciement** affiche un message de remerciement, accompagné de deux images pour une touche visuelle, et marque la fin du questionnaire.

II.1.1.2. Population cible et diffusion

Ce questionnaire a été destiné aux professionnels du secteur de dessalement, tels que les techniciens, ingénieurs et directeurs. Nous avons utilisé divers moyens pour diffuser le questionnaire, par téléphone, par e-mail et notamment par LinkedIn. Il est important de noter qu'un accord de confidentialité avec l'Algerian Energy Company (AEC) a été établi, garantissant que les données sont exclusivement utilisées pour des objectifs académiques et que l'anonymat des participants est maintenu.

II.1.2. Entretien approfondi

En ce qui concerne les entretiens, notre choix d'utiliser cette méthode qualitative vise à approfondir la compréhension et l'explication de notre thématique en sollicitant l'expertise des spécialistes et des professionnels du secteur. Leurs expériences peuvent apporter une valeur ajoutée à notre travail et orienter notre réflexion de manière significative.

Dans le cadre de cette étude, nous avons conduit un seul entretien le mercredi 11 juin 2025 à 14h avec M. Khateb Mohamed, le directeur technique de l'usine de dessalement de Fouka, une référence essentielle pour appréhender le domaine du dessalement en Algérie.

Cet entretien semi-structuré (Annexe 3) d'environ 30 minutes a permis de retracer l'évolution du dessalement, On y a également abordé les technologies mises en œuvre. Les débats ont également abordé les enjeux environnementaux et aussi les bénéfices socio-économiques comme la génération de postes de travail et l'appui à l'agriculture, ainsi que les stratégies d'élargissement à venir.



**Figure 12. Photographie de Monsieur Khateb Directeur technique de Fouka Myah
Tipaza**

II.1.2. Participation à une conférence

En complément du questionnaire et de l'entretien mentionnés précédemment, le colloque sur le sur le dessalement de l'eau de mer (CDEM) organisé sous l'égide du Club des Entrepreneurs et des industriels (CEI) à l'ENSSMAL le 29 Avril 2025, a constitué une opportunité précieuse d'échange avec des spécialistes, ingénieurs et universitaires du domaine. Cet événement m'a permis d'obtenir des éclairages qualitatifs sur les évolutions technologiques et les enjeux environnementaux liés au dessalement, d'établir des contacts professionnels pour faciliter la diffusion du questionnaire, et de replacer les données principales dans un contexte concret grâce aux discussions autour des innovations et des défis rencontrés par le secteur.

Les notes prises durant les présentations et les échanges informels ont été exploitées et organisées afin d'enrichir l'analyse globale de l'étude.

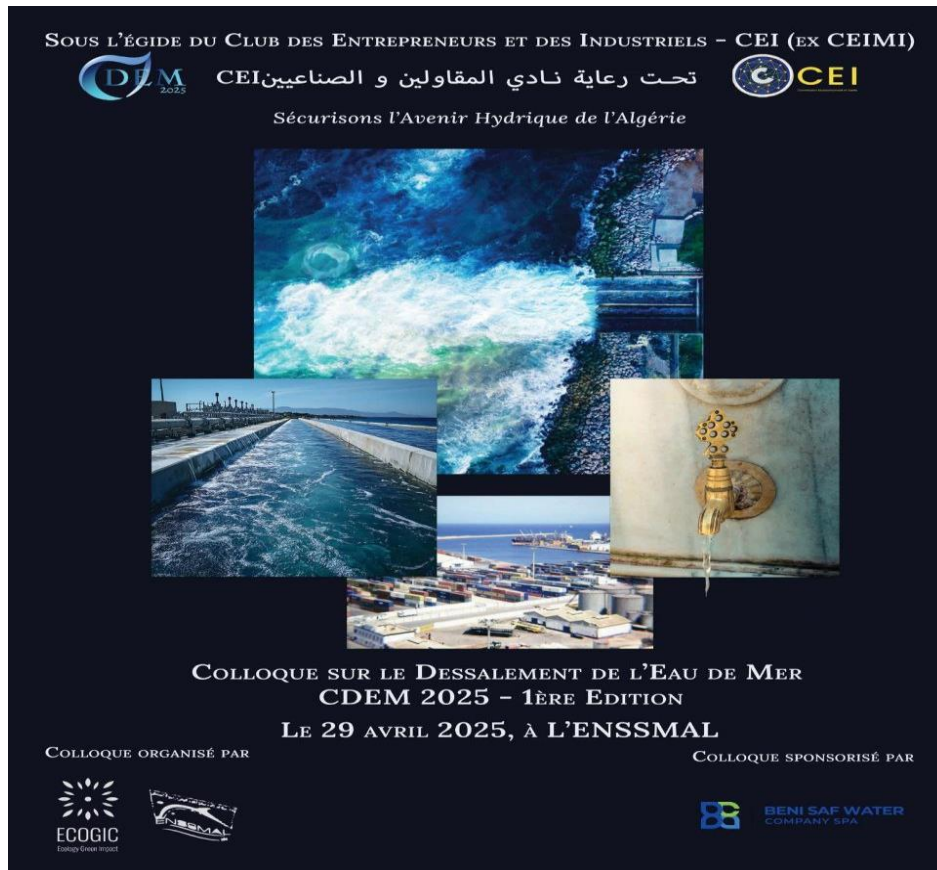


Figure 13. Affiche de Colloque sur le Dessalement De l'Eau de Mer organisé par CEI à L'ENSSMAL

II.2. Analyse des données

Les données collectées sont analysées selon des approches adaptées à leur nature. En ce qui concerne les questionnaires, les données collectées de manière anonyme ont été transférées sur Excel (Microsoft Office Professionnel Plus 2013) en vue de générer des graphiques afin d'élucider les tendances des pratiques opérationnelles et écologiques. En revanche, pour **l'entretien, sa transcription** sera traitée dans une optique thématique, mettant en évidence des thèmes importants tels que les avancées technologiques, les initiatives environnementales et les perspectives prospectives.

Les notes et les documents de la conférence seront examinés afin de corroborer et de contextualiser les données primaires, en mettant l'accent sur les tendances et les innovations spécifiques au secteur.

Résultats & discussion

I. Nombre et profils des répondants

Sur un total d'environ 83 envois effectués via la plateforme Fillout et diffusés à travers des groupes LinkedIn spécialisés (exemple : professionnels du dessalement, ingénieurs environnementaux) et des contacts établis lors du colloque CDEM (ENSSMAL, 2025), nous avons reçu 25 réponses. Ce taux de réponse relativement bas peut s'expliquer par la nature très délicate de la collecte de données dans le secteur du dessalement, où les informations opérationnelles et environnementales sont souvent considérées comme confidentielles, ainsi que par les contraintes de temps des responsables et la technicité du questionnaire.

Bien que le nombre de réponses soit limité, les 25 réponses obtenues restent satisfaisantes pour une analyse exploratoire et permettent de tirer des conclusions objectives. En ce qui concerne le profil des répondants, nous observons une diversité de rôles, incluant des responsables HSE (4 répondants), des ingénieurs en chef (5 répondants), des directeurs de stations (6 répondants), des responsables qualité et conformité réglementaire (4 répondants), des ingénieurs R&D (3 répondants), des responsables environnementaux (2 répondants), et un animateur de projets durables (1 répondant). La prédominance de postes à responsabilité renforce la fiabilité et l'objectivité des conclusions tirées, reflétant une expertise directe dans la gestion des stations de dessalement.

II. Caractéristiques opérationnelles

II.1. Taille des stations

Les résultats illustrés dans la figure 14, montrent que la distribution révèle une prédominance des ETI (10), suivies par les grandes entreprises (8), les petites et moyennes entreprises (6) et les très petites entreprises (4). Cela illustre une diversité en ce qui concerne les échelles opérationnelles, avec une prédominance de moyennes et grandes stations.

Comme l'explique le directeur technique de la station Fouka lors de l'interview, cette hétérogénéité illustre la transformation du secteur, qui est passé de petites entités dans les années 2000 à d'importantes installations après 2006, dans le but de garantir la disponibilité des ressources en eau et le dessalement constitue une réponse stratégique au problème de la pénurie d'eau en Algérie (Belhadj *et al.* 2018)..

Cette distribution soutient l'objectif national de répondre à la demande urbaine (60 % des besoins en eau d'ici 2030, CDEM).

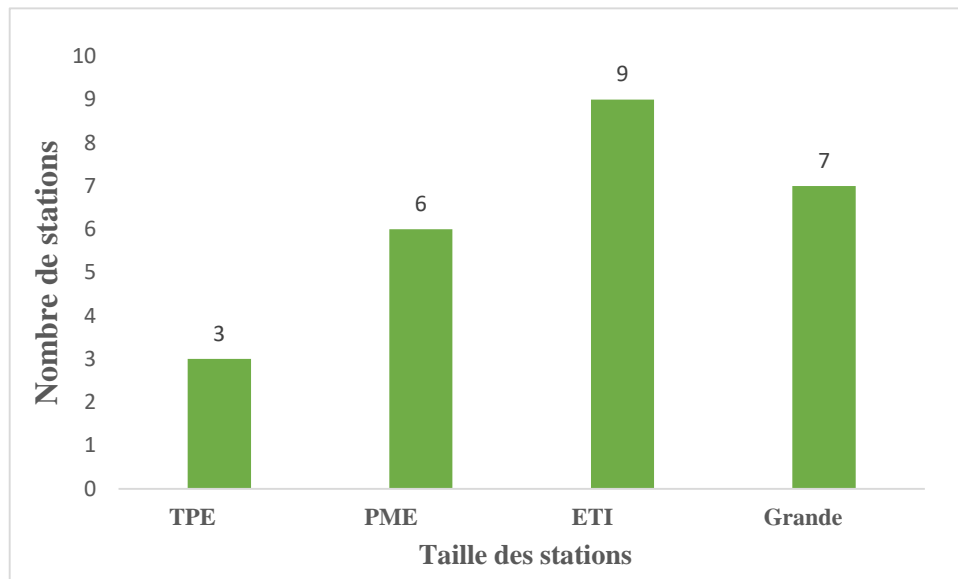


Figure 10. Distribution de la Taille des stations participées à l'enquête

II.2. Capacité de production

Les résultats obtenus via la question Q4 du questionnaire, présentés dans la figure 15, montrent que la capacité quotidienne de production d'eau potable varie considérablement entre les différentes stations. Nous constatons huit stations produisant des quantités supérieures à 300 000 m³/jour suivies par sept (7) stations de capacité entre 50 000 et 150 000 m³/jour, quatre stations entre 150 000 et 300 000 m³/jour, et quatre stations avec une capacité inférieure 50 000 m³/jour (KWh/m³). Cette répartition reflète une concentration sur les grandes installations pour répondre à la demande urbaine.

Les grandes stations ($\geq 300k$ m³/jour) dominent, alignées avec la stratégie nationale visant à atteindre 60 % des besoins en eau potable d'ici 2030. Ces capacités de production importantes peuvent s'expliquer par le fait que ces installations bénéficient d'une meilleure technologie.

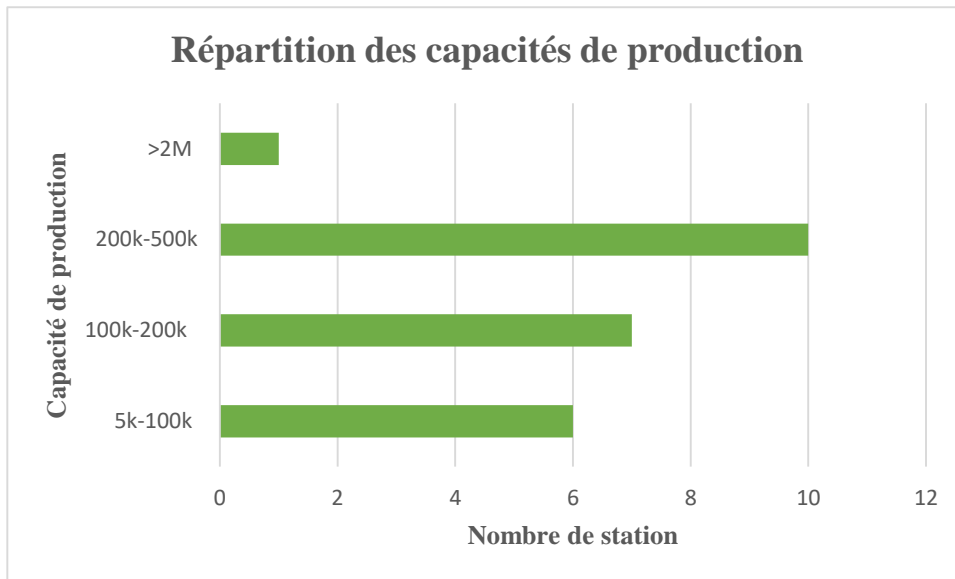


Figure 11. La répartition de la capacité de production exprimée en KWh/m³ de différentes stations

II.3. Technologie et type d'énergie utilisés

D'après les résultats obtenus, nous constatant que l'osmose inverse est la technologie utilisée majoritairement en Algérie. Ce résultat a été bien signalé dans les informations collectées lors de l'inventaire des stations de dessalement mentionné dans la partie état de l'art. La dominance de cette technologie confirme son statut de référence à l'échelle mondiale (Cath et al., 2013; Ghaffour et al., 2013; Rovel, 2010).

Ses avantages incluent une consommation énergétique réduite (3–5 kWh/m³) comparée à la distillation multi-étage (15 kWh/m³), une modularité adaptée à différentes échelles, et une compatibilité avec des innovations comme les membranes locales. Ces avantages ont été discutés et au bien confirmés lors des débats du colloque de dessalement (CDEM) réalisé en avril cette année à l'ENSSMAL.

En ce qui concerne les sources d'énergie utilisées, il ressort de la figure 16 que la majorité des répondants ont indiqué que les stations de dessalement fonctionnent principalement à l'électricité du réseau (23 stations), suivie du gaz naturel (4 stations) et, de manière plus marginale, de panneaux photovoltaïques (2 stations).

Cette forte dépendance à l'électricité et au gaz reflète la disponibilité du réseau national et l'accès aux ressources fossiles. Toutefois, elle contraste avec le potentiel solaire important dont dispose l'Algérie (estimé entre 1850 et 2100 kWh/m²/an) (Ammitouche & Baloul, 2022; BESSENASSE & BELKACEM, 2014; Tigrine et al., 2023).. Seules deux stations Bou-Ismaïl et Hassi-Khebi — ont recours aux panneaux photovoltaïques, ce qui témoigne d'une adoption encore très limitée.

Pourtant, l'intégration de l'énergie solaire pourrait contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (estimées entre 1,5 et 2 kg de CO₂ par m³ d'eau produite) et permettre une baisse des coûts d'exploitation sur le long terme (Algeria Renewable Energy, 2023; Hamiche et al., 2018).. Les réponses ouvertes à la question 17 mentionnent l'existence d'audits énergétiques, mais n'apportent pas d'informations concrètes sur une transition vers le solaire, probablement en raison du caractère confidentiel de ces données.

De plus, les répondants n'ont fait état d'aucun projet précis en matière d'énergies renouvelables, ce qui suggère l'existence d'obstacles économiques ou logistiques.

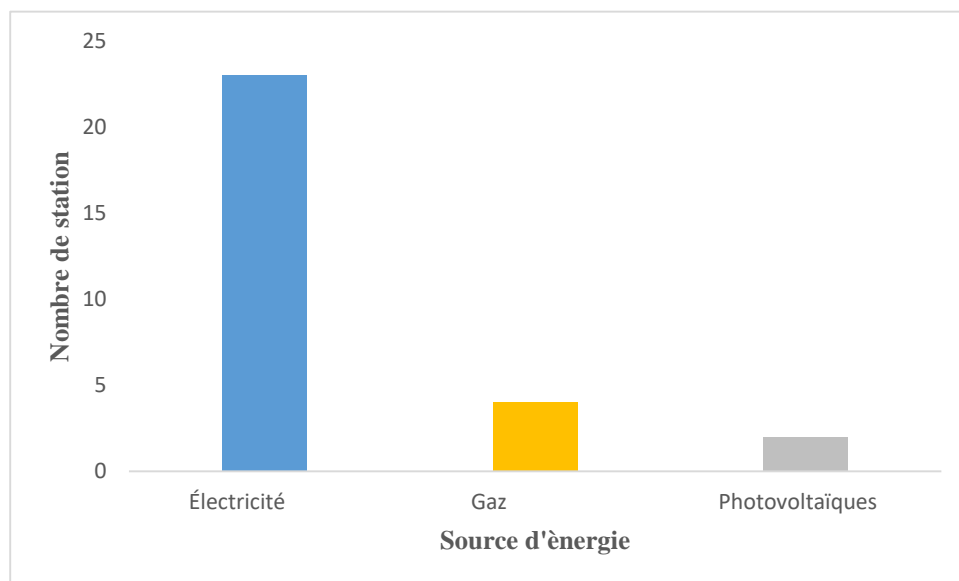


Figure 12. Les sources d'énergie utilisée en Algérie

II.4 Consommation Énergétique par Taille des Stations

La figure ci-dessous (figure 17) combine les paramètres de taille des stations et de consommation énergétique, et met en évidence une relation inverse entre ces deux variables. Les résultats présentés indiquent que la consommation énergétique des stations de dessalement varie entre 3,2 et 4,25 kWh/m³, avec une moyenne de 3,8 kWh/m³.

En effet, la courbe montre une tendance à la baisse de la consommation énergétique à mesure que la taille des stations augmente. Les entreprises de taille intermédiaire (ETI) et les grandes entreprises affichent une meilleure efficacité énergétique (3,73 kWh/m³) que les très petites entreprises (TPE) avec 4,1 kWh/m³, ou les petites et moyennes entreprises (PME) avec 3,9 kWh/m³. Cette corrélation s'explique par les économies d'échelle dont bénéficient les grandes installations (Tigrine et al., 2023).

Ces dernières, souvent dotées de technologies plus performantes, optimisent le procédé d'osmose inverse, comme cela a été signalé dans 18 stations selon les réponses à la question 8 (Q8). Toutefois, la faible adoption de l'énergie solaire — seulement deux stations en font usage, d'après la question 6 (Q6) — constitue un frein aux gains énergétiques, malgré le potentiel solaire élevé en Algérie. Par ailleurs, les réponses ouvertes à la question 17 (Q17) ne mentionnent aucun projet concret visant à améliorer la performance énergétique des petites stations, probablement en raison de la confidentialité des données.

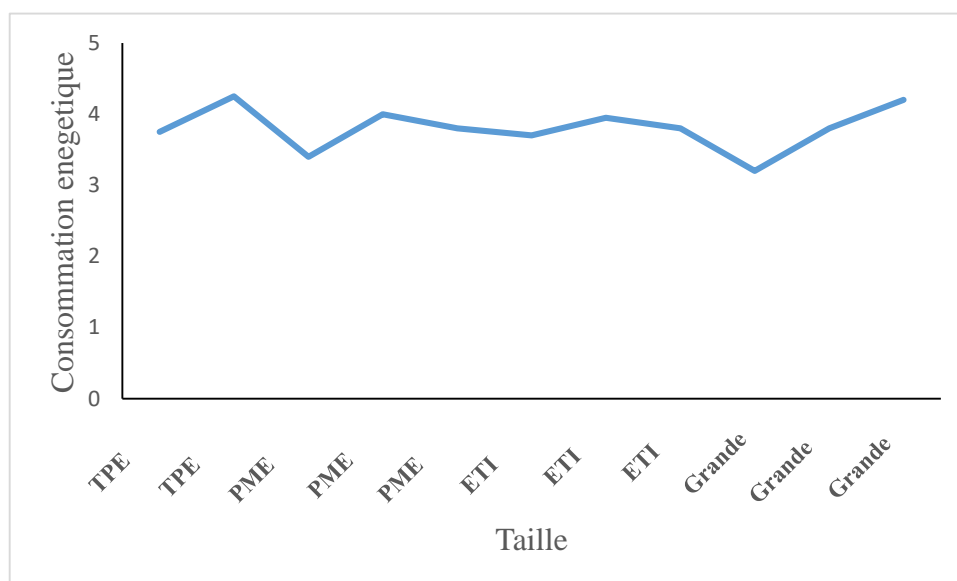


Figure 13. La consommation énergétique des stations par rapport à leur taille

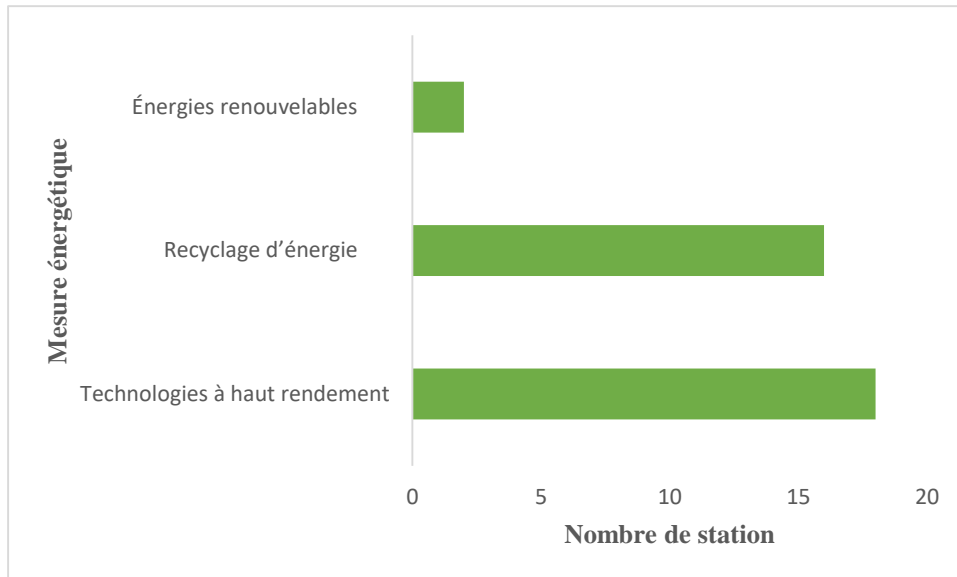


Figure 14. Un histogramme des mesures pour réduire la consommation énergétiques

II.3.Pratiques Environnementale

II.3.2. Mesures d'Économie d'Énergie

Les réponses concernant les mesures d'économie d'énergie via la question (Q8) incluent l'utilisation de technologies à haut rendement dans 18 stations, suivi par le recyclage d'énergie dans 17 stations, mais seulement 2 stations utilisent des énergies renouvelables (figure 19).

L'adoption de technologies à haut rendement et de recyclage d'énergie est encourageante, mais le faible recours aux énergies renouvelables limite les gains environnementaux bien que l'intégration de l'énergie solaire pourrait réduire la dépendance aux combustibles fossiles.

Cette suggestion était signalé dans pas mal de tels que travaux : (Tigrine et al., 2023) ; (Adda, Bezari, et al., 2024) et (Adda et al., 2024; Dehmas et al., 2011)

II.3.3. Émissions de GES

Dans le cadre de l'analyse des pratiques environnementales, la question 9 (Q9) visait à déterminer si les stations de dessalement intègrent la mesure des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans leurs démarches. Les résultats, présentés dans la figure 20, montrent clairement que 80 % des stations ne mesurent ni ne déclarent leurs émissions de GES, et qu'une seule d'entre elles mentionne avoir entrepris des efforts en vue de leur réduction.

Cette absence quasi totale de suivi des émissions rend difficile l'évaluation et la quantification de l'impact climatique du dessalement en Algérie. Elle peut s'expliquer par un manque de ressources humaines et techniques dédiées à la surveillance environnementale. Elle reflète également, dans certains cas, l'insuffisante intégration de l'approche environnementale dans les stratégies de gestion de ces infrastructures, malgré le fait que les émissions de GES constituent une problématique mondiale préoccupante.

À ce titre, [Raluy et al. \(2005\)](#) ont souligné que la technologie de l'osmose inverse, lorsqu'elle repose sur de l'électricité d'origine fossile, peut générer jusqu'à 2,5 kg de CO₂ par mètre cube d'eau produit.

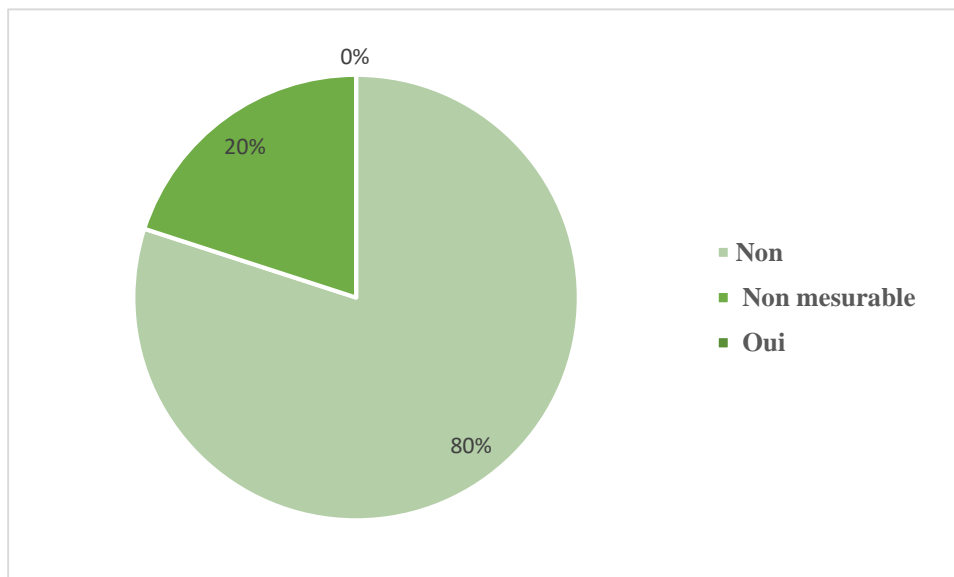


Figure 15. Le taux des mesures des émissions des GES

II.3.4. Gestion des Rejets

Selon les données collectées (figure 22), 23 stations de dessalement en Algérie rejettent la saumure en mer, en recourant principalement à des techniques de dilution (7 stations) ou de dispersion (7 stations). Une seule station mentionne la valorisation ou la réutilisation de la saumure.

Comme l'indiquent Jones et al. (2019), la méthode de dispersion est préférable afin de limiter les impacts négatifs sur la biodiversité marine, bien qu'elle ne soit que partiellement appliquée à ce jour. À ce propos, le directeur de la station de Fouka a évoqué l'existence de partenariats académiques visant à étudier les effets environnementaux de ces rejets. Cependant, l'exploitation secondaire de la saumure, notamment pour des usages comme la fabrication d'engrais ou d'autres dérivés, demeure marginale.

La forte prévalence des rejets directs en mer (22 stations) soulève des inquiétudes quant à la préservation des écosystèmes marins. Si certaines mesures d'atténuation telles que le prétraitement et la dispersion sont relativement répandues, la réutilisation de la saumure reste très limitée (1 station seulement, figure 23), malgré son potentiel dans une économie circulaire (ex : production de sels industriels, Enasel).

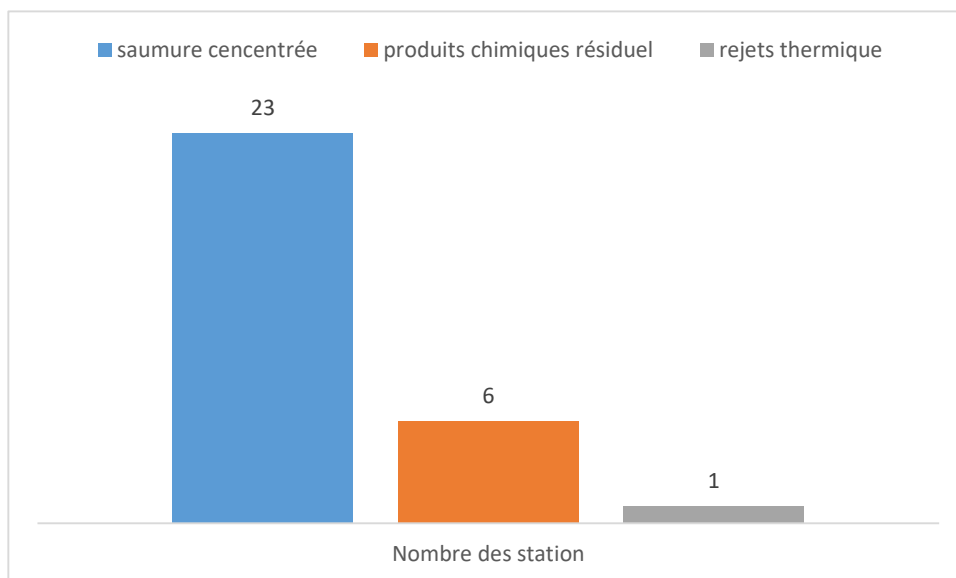


Figure 21. Histogramme des types de rejets des stations

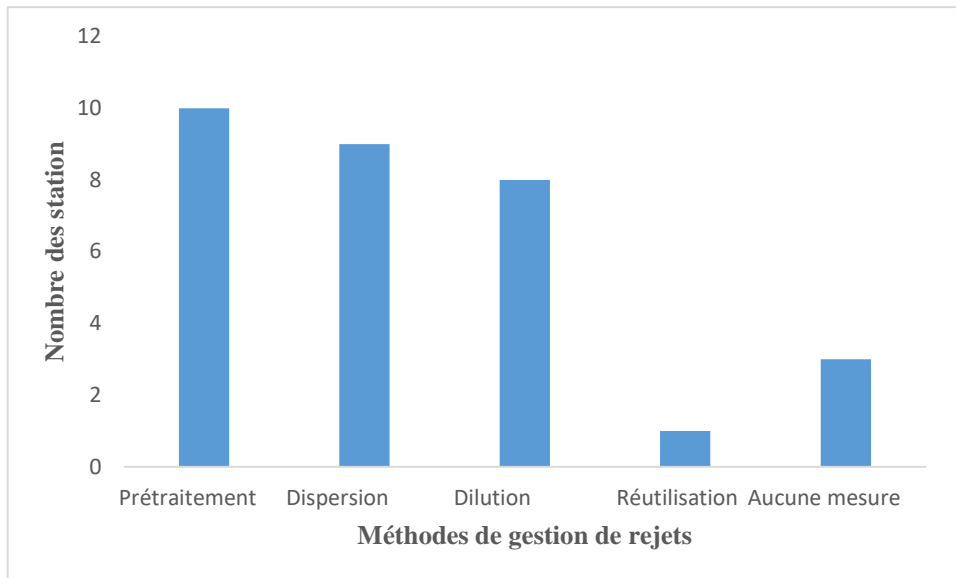


Figure 22. Histogramme des méthodes de gestion de rejets

II.3.5. Certifications

Les résultats de la question 16 (Q16), synthétisés dans la figure [21], indiquent que 15 stations disposent de la certification ISO 9001, 15 autres de l'ISO 14001, tandis que seules 5 sont certifiées ISO 45001 et une seule ISO 50001. Par ailleurs, 5 stations ne possèdent aucune certification.

Les certifications ISO 9001 (management de la qualité) et ISO 14001 (management environnemental) traduisent un engagement formel en faveur de l'amélioration continue de la qualité des services et de la performance environnementale. Toutefois, l'absence de certification dans certaines stations met en évidence des disparités notables dans les pratiques de gestion.

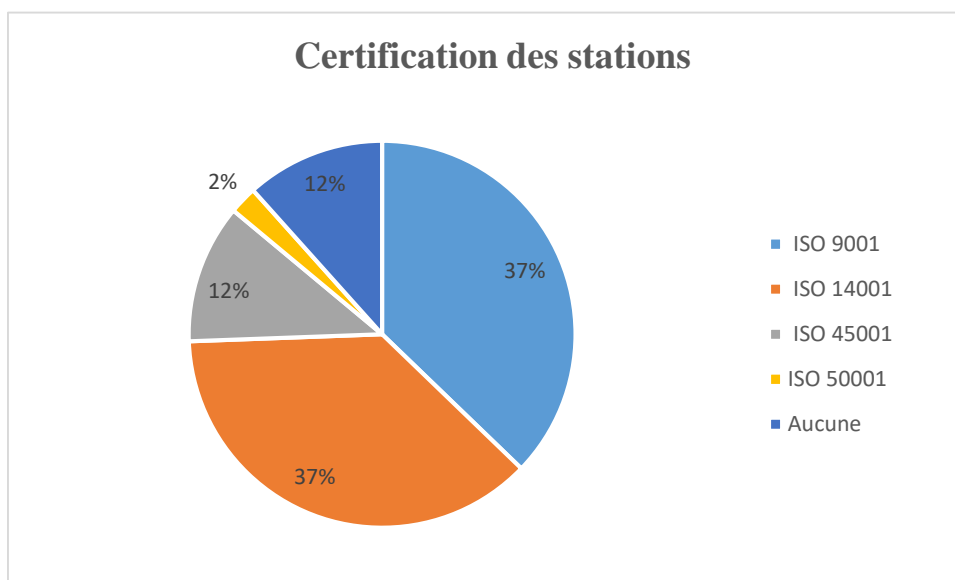


Figure 16. Certification des stations

II. Résumé de l'interview

Cette interview a été réalisée avec M. Khateb Mohamed, directeur d'une usine de dessalement en Algérie. L'échange a principalement porté sur l'évolution de la filière du dessalement dans le pays, en s'appuyant sur l'expérience de l'usine qu'il dirige, opérationnelle depuis 2011. L'entretien s'ouvre par une présentation du contexte de mise en œuvre du projet, mettant en lumière l'implication d'acteurs nationaux et internationaux, notamment à travers une coentreprise incluant la société canadienne SNC-Lavalin.

L'intervenant retrace l'historique du développement du dessalement en Algérie, en soulignant le passage des premières petites unités installées au début des années 2000 aux projets de plus grande envergure lancés à partir de 2006. Il met en avant les apports de cette technologie pour la sécurité hydrique du pays, notamment l'exploitation durable de l'eau de mer à des fins de production d'eau potable. Toutefois, il reconnaît certaines limites inhérentes au procédé, telles qu'une consommation énergétique importante et des effets environnementaux potentiels.

Sur le plan technique, l'évolution des procédés est évoquée, notamment la transition de la distillation thermique vers l'osmose inverse (Reverse Osmosis, RO), aujourd'hui privilégiée pour sa moindre intensité énergétique. L'impact environnemental constitue également un axe central de la discussion, avec des efforts en cours pour limiter l'utilisation de produits chimiques

et intégrer des études d'impact environnemental en collaboration avec des institutions universitaires.

M. Khateb souligne que l'osmose inverse représente une solution adaptée au contexte algérien, notamment en raison de sa capacité à répondre à la demande croissante en eau, estimée à 60 % des besoins d'ici 2030. Toutefois, il alerte sur les risques liés à une dépendance excessive à une seule technologie, notamment face à des défis tels que la maintenance des membranes et les coûts d'investissement initiaux. Bien que des initiatives de recherche soient actuellement en cours, notamment autour de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), celles-ci restent encore à un stade préliminaire.

M. Khateb a souligné également les efforts de collaboration entre les universités et les partenariats internationaux, renforcent la dynamique en faveur d'une gestion plus durable, notamment grâce à la recherche axée sur la valorisation des déchets pour des applications industrielles ou agricoles.

Enfin, les perspectives à long terme abordées dans l'entretien évoquent des projets d'expansion d'ici 2030, avec une volonté d'intégrer les retours d'expérience des usines existantes afin d'améliorer la durabilité des infrastructures futures. L'entretien s'est conclu par une proposition de visite du site, provisoirement reportée pour des raisons professionnelles

Conclusion

Cette étude a été proposée afin de faire un état des lieux de stations de dessalement en Algérie en soulignant son rôle central dans la résolution de la crise nationale de l'eau et en mettant en lumière les approches environnementales mise en place par ces stations. Ces objectifs ont été réalisés par un questionnaire et une interview avec un expert du domaine de dessalement.

L'examen approfondi du secteur du dessalement en Algérie, indique un recours prononcé à la technologie d'osmose inverse qui, en raison de son efficacité énergétique (3,8 kWh/m³ en moyenne), prédomine parmi les 23 installations opérationnelles produisant 3,69 millions de m³/jour d'ici 2025. Néanmoins, d'importants défis environnementaux persistent, notamment en ce qui concerne la consommation d'énergie, qui repose principalement sur les combustibles fossiles, et la gestion des rejets de saumure qui nuisent aux écosystèmes marins. Des stratégies telles que la dilution, la dispersion et, dans une moindre mesure, la valorisation de la saumure ont été mises en œuvre ; toutefois, la surveillance des émissions de gaz à effet de serre est inadéquate, 85,7 % des stations ne mesurant pas les émissions.

Les perspectives d'avenir, caractérisées par des initiatives d'expansion visant à satisfaire 60 % des besoins en eau potable d'ici 2030, présentent des opportunités encourageantes. L'intégration de sources d'énergie renouvelables, en particulier l'énergie solaire, ainsi que les avancées technologiques telles que les membranes économes en énergie, ont le potentiel de réduire l'empreinte écologique du secteur.

Pour garantir un avenir durable en matière d'eau, il est essentiel que les décideurs politiques investissent dans des solutions durables sur le plan environnemental, améliorent la surveillance environnementale et alignent les cadres réglementaires.

Ce travail ouvre plusieurs perspectives de recherche susceptibles d'approfondir la compréhension et d'optimiser la gestion environnementale des stations de dessalement en Algérie. Il serait pertinent, dans un premier temps, de conduire une évaluation quantitative de l'empreinte carbone des unités de dessalement, en intégrant les spécificités du mix énergétique local et les performances techniques des installations. Par ailleurs, des études éco-toxicologiques ciblées sur les impacts des rejets de saumure sur la biodiversité marine, notamment sur les écosystèmes sensibles tels que les herbiers de *Posidonia oceanica*,

apparaissent nécessaires. Une autre orientation intéressante consisterait à explorer les potentialités de valorisation des rejets salins dans une optique d'économie circulaire. Enfin, une analyse comparative régionale, englobant les pratiques de pays voisins du Maghreb ou du bassin méditerranéen, permettrait de mettre en lumière des approches technologiques et réglementaires innovantes, susceptibles d'enrichir les politiques publiques nationales en matière de gestion durable de l'eau.

Les références bibliographiques

Abderrahmane, D. (2019). *Les enjeux environnementaux et économiques des projets de dessalement de l'eau de mer en Algérie*. Revue LAROS, 11(1), 360-377.

Adda, A., Bezari, S., Abbas, M., & Hanini, S. (2024). Techno-Economic Feasibility of Reverse Osmosis Desalination Scale Coupled with Solar Energy: Case of Algeria. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 10(3).

<https://doi.org/10.18540/jcecvl10iss3pp18299>

Adda, A., Naceur, W. M., & Abbas, M. (2024). Modélisation et optimisation de la consommation d'énergie d'une station de dessalement par procédé d'osmose inverse en Algérie. *Journal of Renewable Energies*, 19(2).

<https://doi.org/10.54966/jreen.v19i2.557>

AE. (2023). Ressources en eau : Les capacités des barrages portées à près de 9 milliards m³ en 2024. *Algérie Eco*.

<https://algerie-eco.com/2023/01/26/ressources-en-eau-les-capacites-des-barrages-portees-a-pres-de-9-milliards-m3-en-2024/>

AE. (2024a). Dessalement : 7 nouvelles stations seront réalisées entre 2025 et 2030. *Algérie Eco*.

<https://algerie-eco.com/2024/02/29/dessalement-7-nouvelles-stations-seront-realisees-entre-2025-et-2030/>

Algeria Renewable Energy. (2023). *Trade.gov*.

<https://www.trade.gov/country-commercial-guides/algeria-renewable-energy>

Ammitouche, M., & Baloul, H. (2022). *Empreinte de Carbone des Stations de Dessalement en Algérie*.

Anis, S. F., Hashaïkeh, R., & Hilal, N. (2019). Reverse osmosis pretreatment technologies and future trends: A comprehensive review. *Desalination*, 452, 159–195.

<https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.11.006>

Belatoui, H., Boudoukha, A., & Laouar, R. (2017). Effets des diffuseurs multiports sur la dilution des rejets de saumure des usines de dessalement. *Revue des Sciences de l'Eau*, 30(2), 155–164.

Benaïssa, F., Bouderbala, M., & Touati, A. (2020). Effets physiologiques de la saumure sur *Patella rustica* au niveau de la station de dessalement de Bousfer. *Mediterranean Marine Science*, 21(1), 204–214.

Bessenasse, L., & Belkacem, F. (2014). Impacts environnementaux des stations de dessalement en Algérie. *Revue des Sciences de l'Environnement*, 19(2), 120–132.

Bouri, S., & Abderrahmane, D. (2019). L'efficacité énergétique des stations de dessalement en Algérie. *Énergie & Environnement*, 33(1), 45–60.

Cath, T. Y., Childress, A. E., & Elimelech, M. (2013). Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments. *Journal of Membrane Science*, 281(1–2), 70–87.

Dehmas, M., Loubar, K., & Hamidat, A. (2011). Étude de faisabilité d'un couplage entre station de dessalement et énergie éolienne. *Journal Algérien des Énergies Renouvelables*, 14(2), 89–98.

Derbal, K. (2024). Développement du dessalement en Algérie : Bilan et perspectives. *Journal Algérien de l'Eau Potable*, 16(1), 7–13.

Drouiche, N., Ghaffour, N., & Lounici, H. (2022). Water scarcity and desalination in Algeria: Status and challenges. *Desalination and Water Treatment*, 262, 203–214.

Fanack Water. (2019). *Water in Algeria*.

<https://water.fanack.com/algeria/>

Gacia, E., Invers, O., & Manzanera, M. (2007). Impact of brine discharge from a desalination plant on a Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow. *Marine Environmental Research*, 62(2), 135–148.

Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197–207.

Goosen, M. F. A. (2025). Algeria commits \$5.4B to desalination for long-term water security. *Energy Capital Power*.

<https://energycapitalpower.com/algeria-commits-5-4b-to-desalination-for-long-term-water-security/>

Hamiche, A. M., Stambouli, A. B., & Flazi, S. (2018). A review of energy in Algeria: Current situation and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1190–1208.

Isamuel, S. (2023). Sustainable use of Sahara fossil aquifers in Algeria. *Water Resources Management*, 37(3), 543–556.

Kassouar, I., & Abi-Ayad, A. (2024). Analyse de l'impact des rejets de saumure sur la qualité de l'eau marine à Bou-Ismaïl. *Revue des Sciences Marines*, 25(1), 90–102.

Kettab, A. (2001). *L'eau en Algérie : Ressource vitale et enjeux stratégiques*. Office des Publications Universitaires.

Lattemann, S., & Höpner, T. (2008). Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. *Desalination*, 220(1–3), 1–15.

Ouali, M., & Doucouré, L. (2024). Vers une production nationale de membranes d'osmose inverse : défis et perspectives. *Revue Algérienne de l'Eau*, 18(2), 34–41.

Pica, R. (2023). Water scarcity in MENA: A looming crisis. *World Bank Publications*.

Rizou, A. (2019). Carte des stations de dessalement en Algérie. *ANDE Publications*.

Rovel, J. (2010). Le dessalement d'eau de mer : Techniques et retours d'expérience. *Hydrotechnologie*, 47(3), 25–34.

Saada, Y. (2025a). Projets de dessalement en Algérie : Focus sur la wilaya de Skikda. *Hydraulique Maghreb*, 19(1), 17–22.

Saada, Y. (2025b). Nouveaux enjeux pour l'eau en Algérie : Modernisation et durabilité. *Cahiers de l'eau*, 13(2), 56–64.

Sidhom, H. (2019). Analyse prospective de la demande en eau en Algérie. *Plan Bleu*, (35), 78–89.

Souad, H. (2023). Imagerie satellitaire appliquée au suivi des stations de dessalement en Algérie. *Géomatique & Environnement*, 12(1), 21–32.

Tayeh, H. (2024). Optimisation énergétique des usines de dessalement par osmose inverse. *Énergies Renouvelables et Développement Durable*, 15(1), 55–64.

Tigrine, R., Adda, A., & Naceur, W. (2023). Performance d'un système de dessalement solaire par osmose inverse à Bou Ismail. *Journal Algérien de l'Énergie Solaire*, 10(4), 133–145.

Viviane, J. (2008). Guide technique du dessalement d'eau de mer. *Éditions Techniques de l'Ingénieur*.

Annexes

Annexe 1. Images satellitaires des station



image satellitaire de la station de El Hamma



Image satellitaire de la station de Ténés



Image satellitaires de la station de Honaine

Annexe 2 : Questionnaire



Les stations de dessalement en Algérie : État de lieux et Approche Environnementale

Je suis étudiante à L'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de L'Aménagement du Littoral (ENSSMAL). Ce questionnaire fait partie de mon projet de fin d'études.

Son but est de recueillir des données pour évaluer l'état des lieux des stations de dessalement et analyser leurs environnements environnementaux.

Toutes vos réponses seront traitées d'une manière anonyme et toutes les informations obtenues ne seront utilisées que dans les analyses dans le cadre de ce mémoire.

Cela prend 5 à 6 minutes
Merci d'avance.

Active Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q2 : Pouvez-vous indiquer le nom de votre établissement ainsi que sa localisation précise ?

← Retour

Suivant →

Active Windows
Go to Settings to activate Windows.





Q3 : Quelle est la taille de votre station ? (une seule réponse) *

- Très petite entreprise (TPE) (< 10 personnes)
- Petite et moyenne entreprise (PME) (<250 salariés)
- Entreprise de taille intermédiaire (ETI) (< 500 salariés)
- Grande entreprise (> 500 salariés)

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q4 : Quelle est la capacité quotidienne de production d'eau potable de votre station (en m³/jour) ? *

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q5 : Quelle est la technologie utilisée dans votre station ? *

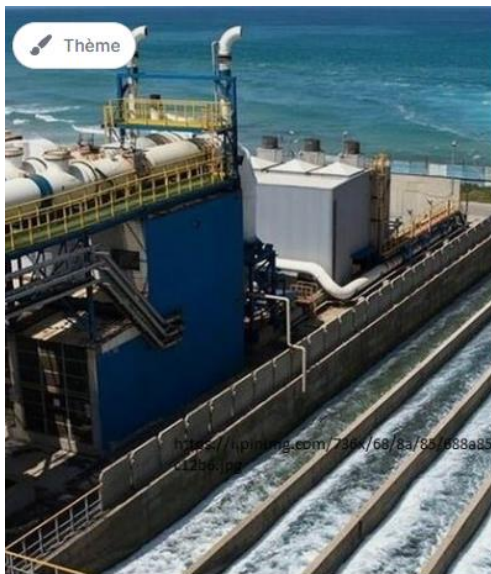
- Osmose Inverse
- Distillation à effet multiple
- Distillation multi - flash
- Autre

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.





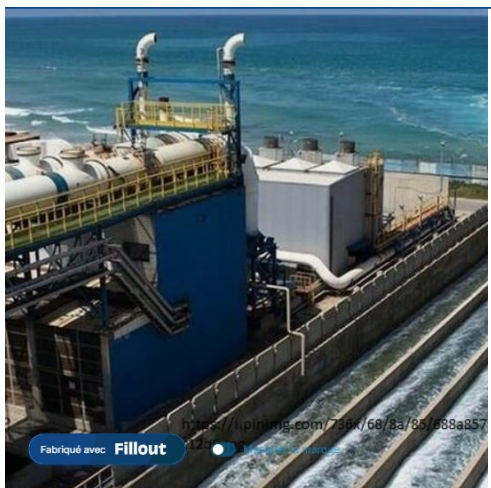
Q6 : Quelle (s) est/sont la (les) source (s) d'énergie utilisée (s) dans votre station ?

- Source électrique
- Gaz
- Panneaux photovoltaïques
- Autre

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.

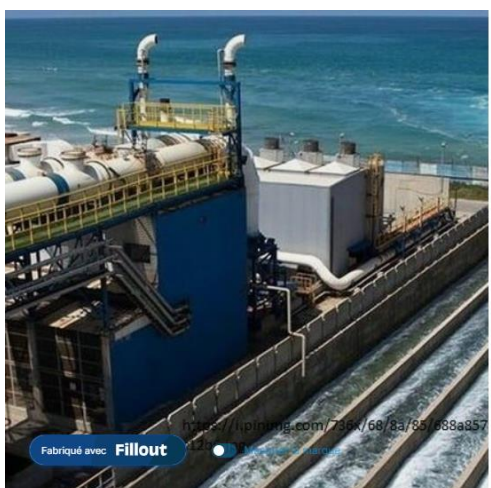


Q7 : Pouvez-vous préciser la quantité d'énergie en kWh/m³ ? *

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q8 : Quelles mesures votre station à-elle mise en place pour réduire sa consommation d'énergie ? (plusieurs réponses possibles) *

- Utilisation de technologies de dessalement à haut rendement énergétique
- Recyclage ou récupération d'énergie (ex : chaleur, pression de rejet)
- Utilisation d'énergies renouvelables (solaire, éolienne, etc.)
- Autre

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q9 : Votre station émet-elle des gaz à effet de serre dans l'atmosphère ? *

- Oui
- Non
- Non mesurable

Si oui, quelle est la quantité estimée d'émissions annuelles ?

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q10 : Des actions ont-elles été mises en place pour réduire les émissions dans l'air ?

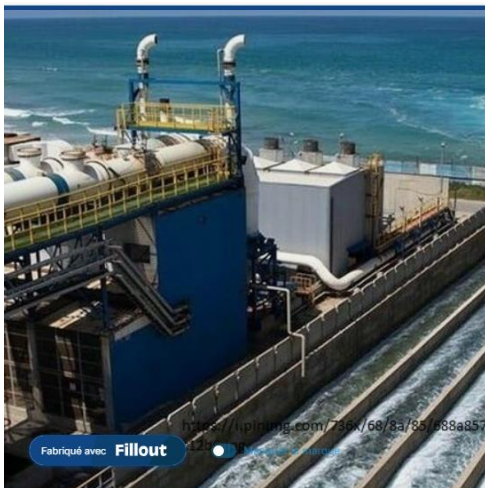
- Oui
- NON

Si oui lesquelles

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q11 : Quel(s) type(s) de rejet(s) génèrent votre station ? (plusieurs réponses possibles) *

- Saumure concentrée
- Produits chimiques résiduels (antitartres, chlore...)
- Rejets thermiques
- Autre

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.





Q12 : Vers quel milieu, ces rejets sont-ils évacués ?
(plusieurs réponses possibles)

- En mer
- Dans une nappe souterraine
- Dans un bassin d'évaporation
- Dans un réseau d'eaux usées
- Autre

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q13 : Quelles actions votre entreprise a mis en place pour réduire l'impact environnemental des rejets ?
(plusieurs réponses possibles)

- Dilution de la saumure avant son rejet en mer
- Prétraitement chimique contrôlé
- Systèmes de dispersion (diffuseurs sous-marins)
- Réutilisation ou valorisation partielle des rejets
- Aucune mesure spécifique

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



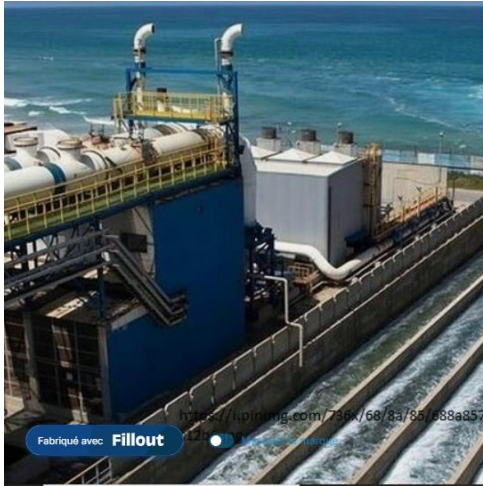
Q14 : Votre station est-elle conforme-t-elle aux réglementations environnementales en vigueur, qu'elles soient nationales ou internationales (précisez en %) ?

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.





Q15 : Votre station fait-elle l'objet d'inspections par les services concernés ?

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

Si oui, à quelle fréquence ces inspections sont-elles réalisées ?

(plusieurs réponses possibles)

- Une seule fois par mois

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



- Non
- Je ne sais pas

Si oui, à quelle fréquence ces inspections sont-elles réalisées ?

(plusieurs réponses possibles)

- Une seule fois par mois
- Une fois par trimestre
- Une fois par an
- Autre

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Q16 : Votre entreprise dispose-t-elle d'une ou plusieurs certifications officielles ? (plusieurs réponses possibles) *

- ISO 9001 (Qualité)
- ISO 14001 (Environnement)
- ISO 50001 (Gestion énergétique)
- Aucune
- Autre

← Retour

Suivant →

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



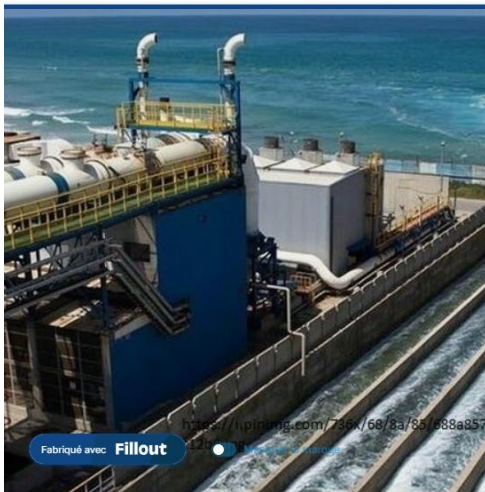


Q17 : Souhaitez-vous ajouter un commentaire concernant l'approche environnementale de votre entreprise ?

← Retour

Soumettre

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Merçi



Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.



Annexe 3 : Les questions de l'interview

- Pouvez-vous me parler de vous ainsi que de votre entreprise ? pouvez-vous également préciser votre rôle au sein de celle-ci ?
- Pouvez-vous nous donner un aperçu global de l'état actuel du dessalement dans notre pays ?
- Quels sont les avantages du dessalement par rapport à d'autres sources d'approvisionnement en eau douce ?
- Quelles sont aujourd'hui les principales technologies de dessalement utilisées dans notre pays et pourquoi ce choix ?
- Quelle est la durée de vie d'une station de dessalement ?
- Face aux enjeux de dessalement, Des mesures de réduction ou de compensation environnementale sont-elles mises en œuvre ? Si oui, lesquelles ?