

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Saad Dahlab Blida 1 Faculté de technologie

جامعة سعد دحلب البليدة كلية التكنولوجيا

Département des sciences de l'eau et environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière hydraulique

Spécialité ressources hydrauliques

Thème:

ETUDE DES PERFORMANCES DE LA STATION DE DESSALEMENT

D'EAU DE MER DE FOUKA 01

WILAYA DE TIPAZA

Réalisé par:

- BENARBIA Abdelhak

Encadré par :

- Pr. BESSENASSE M

Devant le Jury :

- Pr. REMINI B : Président

- Dr BELKACEM Filali M : Examineur

Année universitaire:2025/2024

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la santé, la patience et la force nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon encadrant, Monsieur professeur **BESSENASSE MOHAMED**, pour son accompagnement, ses conseils judicieux et sa disponibilité tout au long de ce mémoire.*

Je remercie également les membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer mon travail et pour leurs remarques constructives.

Je tiens à remercier l'ensemble des responsables et des enseignants du département des sciences de l'eau et de l'environnement pour leur soutien tout au long de l'année universitaire, ainsi que pour la qualité de leur enseignement et leur dévouement.

Enfin, je n'oublie pas de remercier chaleureusement ma famille et mes amis pour leur soutien moral, leurs encouragements constants et leur présence bienveillante tout au long de mon parcours.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents, qui m'ont toujours soutenu avec amour, patience et bienveillance. Leurs sacrifices, leurs encouragements et leur foi en moi ont été une source constante de motivation tout au long de mon parcours universitaire.

À ma famille, pour sa présence réconfortante, ses prières et ses mots d'encouragement dans les moments les plus difficiles.

À mes amis, pour leur soutien moral, leur compréhension et leurs encouragements constants, qui m'ont permis d'aller jusqu'au bout de ce travail.

À tous mes enseignants, depuis le début de mon parcours scolaire jusqu'à ce jour.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je vous en suis profondément reconnaissant.

ABDELHAK

Résumé

المخلص

نظرًا لندرة موارد المياه العذبة وتزايد الطلب على المياه، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة، أصبح تحلية المياه حلاً استراتيجياً لضمان الأمن المائي. يتناول هذا البحث تقنيات التحلية، مع التركيز بشكل خاص على تقنية التناضح العكسي، التي تُعد الأكثر استخدامًا بفضل كفاءتها العالية. يستعرض البحث المراحل الأساسية لمعالجة المياه، من المعالجة الأولية إلى المعالجة النهائية، ويقدم دراسة حالة لمحطة تحلية المياه في فوكه، موضحة أدائها التشغيلي، وقدرتها الإنتاجية، وآليات مراقبة جودة المياه المنتجة. كما يناقش البحث الآثار البيئية المرتبطة بالتحلية، مثل تصريف المحلول الملحي واستهلاك الطاقة، مع اقتراح حلول للتخفيف من هذه الآثار، مثل دمج مصادر الطاقة المتجددة. يوفر هذا العمل رؤية شاملة من الناحيتين التقنية والبيئية لعملية التحلية، ويؤكد على أهميتها المتزايدة في إدارة الموارد المائية بشكل مستدام.

الكلمات المفتاحية : التحلية – التناضح العكسي – محطة التحلية – الأثر البيئي – معالجة المياه

Résumé

Face à la raréfaction de l'eau douce et à la hausse des besoins hydriques, le dessalement s'impose comme une solution stratégique, notamment dans les régions arides. Ce mémoire explore les procédés de dessalement, en mettant l'accent sur l'osmose inverse, la plus utilisée pour son efficacité. Il détaille les étapes du traitement de l'eau, du prétraitement au post-traitement, et présente une étude de cas sur la station de dessalement de Fouka, analysant ses performances, sa capacité de production et la qualité de l'eau produite. L'étude aborde également les impacts environnementaux du dessalement, tels que les rejets de saumures et la consommation énergétique, tout en évoquant les solutions d'atténuation, comme l'usage des énergies renouvelables. Ce travail offre ainsi une vision globale et technique du dessalement, soulignant son rôle essentiel dans la gestion durable de l'eau.

Mots-clés : Dessalement – Osmose inverse – Station de dessalement – Impact environnemental – Traitement de l'eau

Abstract

In response to the scarcity of freshwater resources and the growing demand for water, particularly in arid and semi-arid regions, desalination has emerged as a strategic solution to ensure water security. This thesis examines desalination technologies, focusing primarily on reverse osmosis, the most widely used method due to its efficiency. It outlines the key stages of water treatment, from pre-treatment to post-treatment, and includes a case study of the Fouka desalination plant, highlighting its operational performance, production capacity, and water quality monitoring. The study also addresses the environmental impacts of desalination, such as brine discharge and energy consumption, while exploring mitigation strategies like the integration of renewable energy sources. Overall, this work provides a comprehensive technical and environmental overview of desalination and emphasizes its growing importance in sustainable water resource management.

Keywords: Desalination – Reverse osmosis – Desalination plant – Environmental impact – Water treatment

SOMMAIR

Introduction général	01
----------------------------	----

Chapitre I : Panorama des ressources en eau en Algérie

1.1. Introduction	03
1.2. Typologie des ressources en eau	04
1.2.1. Eaux de surface	04
1.2.2. Eaux souterraines	04
1.2.3. Eaux non conventionnelles	04
1.3. Répartition spatiale des ressources	05
1.3.1. La zone nord (Tell)	05
1.3.2. Les Hauts Plateaux	06
1.3.3. La région saharienne).....	06
1.4. Ressources renouvelables vs non renouvelables.....	08
1.5. Variabilité climatique et disponibilité.....	10
1.6. la Demande et la consommation en eau	14
1.6.1. La croissance démographique	14
1.6.2. L'urbanisation rapide	15
1.6.3. Les besoins agricoles.....	15
1.6.4. Les besoins industriels et énergétiques.....	16
1.7. Politiques et stratégies nationales depuis 2000	17
1.8. Conclusion	19

Chapitre II : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer en Algérie

2.1. Le contexte hydrique en Algérie	23
2.1.1. Rareté des ressources en eau douce	23
2.1.2. Répartition géographique des ressources	23
2.1.3. Besoins croissants en eau potable (industrie, agriculture, population).....	23

2.2. Historique du dessalement en Algérie	24
2.2.1. Premières installations	24
2.2.2. Évolution des capacités de production au fil des années.....	25
2.2.3. Grands projets réalisés ou en cours.....	26
2.3. Le recours au dessalement comme solution stratégique.....	28
2.3.1. Justification du choix du dessalement.....	28
2.3.2. Objectifs nationaux en matière de sécurité hydrique.....	30
2.3.3. Intégration dans la politique nationale de l'eau.....	30
2.4. Technologies de dessalement utilisées en Algérie.....	30
2.4.1. Prépondérance de l'osmose inverse.....	31
2.4.2. Autres procédés (MED, MSF) : cas rares ou expérimentaux.....	31
2.4.3. Raison du choix technologique (coût, disponibilité, rendement).....	33
2.5. Répartition géographique des stations de dessalement.....	34
2.5.1. tableau des stations (par wilaya ou région).....	34
2.5.2. Stations majeures : Fouka, Beni Saf, Mostaganem, Skikda, etc.....	35
2.6. conclusion	37

Chapitre III : Fonctionnement de la station de dessalement de Fouka

3.1. introduction.....	39
3.2. La Présentation géographique et environnementale de la station Fouka 1	39
3.3. Schéma global de traitement de la station de dessalement de Fouka 1.....	42
3.4. Prélèvement et acheminement de l'eau de mer.....	43
3.5. Prétraitement de l'eau de mer.....	46
3.6. Le procédé d'osmose inverse	49
3.7. Post-traitement et distribution de l'eau dessalée	52
3.8. Gestion des rejets et impact environnemental.....	54
3.9. conclusion.....	57

Chapitre IV : Vers un dessalement durable : l'intégration des énergies renouvelables

4.1. Introduction.....	59
4.2. Besoins énergétiques du dessalement.....	59
4.2.1. Consommation énergétique par procédé.....	59
4.2.2. Part de l'énergie dans le coût de l'eau dessalée.....	60
4.2.3. Exemple concret : la station de dessalement de Fouka (Algérie).....	60
4.2.4. Impact environnemental.....	60
4.2.5. Recherches actuelles pour réduire la consommation énergétique du dessalement.....	61
4.3. Le développement des énergies renouvelables en Algérie.....	63
4.3.1. Potentiel solaire et éolien.....	63
4.3.2. Stratégies et politiques nationales.....	63
4.3.3. Projets en cours et perspectives futures.....	63
4.4. Énergies renouvelables applicables au dessalement.....	64
4.4.1. L'énergie solaire thermique et photovoltaïque.....	64
4.4.2. L'énergie éolienne.....	67
4.5. Limites et obstacles au développement des énergies renouvelables en Algérie...	69
4.5.1. Dépendance aux énergies fossiles.....	69
4.5.2. Retards dans la mise en œuvre des projets.....	69
4.5.3. Cadre réglementaire et institutionnel peu incitatif.....	69
4.5.4. Manque d'expertise technique et industrielle locale.....	69
4.5.5. Déficit en infrastructures de stockage et de réseau intelligent.....	69

Chapitre V : Le développement du dessalement privé : enjeux et perspectives

5.1. Introduction.....	71
5.2. Acteurs du dessalement privé.....	71
5.2.1. Les exploitants agricoles.....	71

5.2.2. Le secteur industriel.....	72
5.2.3. Le secteur touristique et immobilier.....	72
5.2.4. Les sociétés spécialisées dans la fabrication et la maintenance.....	72
5.3. Technologies adaptées au secteur privé.....	74
5.3.1. L’osmose inverse (Reverse Osmoses - RO).....	74
5.3.2. Systèmes de prétraitement et filtration.....	74
5.3.3. Technologies émergentes et hybrides.....	75
5.3.4. Limites et défis techniques.....	75
5.4. Avantages et limites du dessalement privé.....	76
5.4.1 Avantages du dessalement privé.....	76
5.4.2. Limites et contraintes du dessalement privé.....	76
5.5. Réglementations et cadre juridique.....	78
5.5.1. Cadre juridique général de l’eau en Algérie.....	78
5.5.2. Absence d’un cadre spécifique pour le dessalement privé.....	78
5.5.3. Exigences administratives existantes.....	78
5.5.4. Besoin urgent de réforme et d’encadrement.....	79
5.6. Exemples de projets de dessalement privé.....	79
5.6.1. L’entreprise Techn’Eaux.....	79
5.6.2. L’entreprise aquanil	85
5.6.3. L’entreprise Techno-Environnement	88
5.7. Conclusion	91
<u>Conclusion général.....</u>	<u>92</u>

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Chapitre I : Panorama des ressources en eau en Algérie :

- Figure.I.01 : Carte géographique de l'Algérie (01-Le Tell, 02-Les hauts Plateaux, 03-Le Sahara).....	07
- Figure.I.02 : Carte climatique de l'Algérie.....	10
- Figure.I.03 : l'impact de la variabilité climatique sur les ressources stockées barrage Taksebt Tizi ousou.....	12
- Figure.I.04 : Photo représente les effets directs du climat sur le sol.....	13
- Figure.I.05 : Graphe d'évolution démographique en Algérie 1969-2017.....	14
- Figure.I.06 : La Répartition de la population (2008).....	15

Chapitre II : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer en Algérie :

- Figure.II.01 : Principe de fonctionnement de l'osmose inverse.....	32
- Figure.II.02 : MED deux effets avec thermo compression.....	33
- Figure.II.03 : logo des principaux acteurs publics impliqués dans le dessalement...	35
- Figure.II.04: logo des sociétés étrangères partenaires dans le dessalement.....	36

Chapitre III : Fonctionnement de la station de dessalement de Fouka :

- Figure .III.01: Certains équipements utilisés dans le processus de dessalement de l'eau de mer.....	41
- Figure .III.02: Exemple de canalisations de captage de l'eau de mer.....	44
- Figure.III.03: Le dé-grilleurs de la station de pompage.....	44
- Figure.III.04: Le dé-grilleurs de la station de pompage Filtration mécanique sur grilles et tamis.....	46
- Figure .III.05: Réservoirs des produits chimiques.....	47
- Figure .III.06: Le filtre à sable-.....	48
- Figure.III.07: Les filtres à cartouches.....	48

- Figure.III.08: les membranes (OS).....	51
- Figure.III.09: Bâtiment de CO2.....	52
- Figure.III.10: bassin Rejet de la saumure.....	56

Chapitre IV : Vers un dessalement durable (l'intégration des énergies renouvelables) :

- Figure IV.01: (membrane) Module à enroulement spiral.....	61
- Figure IV.02 : Une station solaire-thermique.....	65
- Figure IV.03 : Une station solaire photovoltaïque.....	65
- Figure IV.04 : Station de dessalement éolienne à Gran Canaria (Espagne).....	67
- Figure IV.05 : Le premier parc éolien offshore France.....	68

Chapitre V : Le développement du dessalement privé (enjeux et perspectives) :

- Figure.V.01 : logo techn-eaux	79
- Figure.V.02 : une station de traitement des eaux par osmose inverse 60 m ³ /h automatique (techn-eaux).....	82
- Figure.V.03 : cartouches à eau filtrantes divers micro nages techn-eaux.....	84
- Figure.V.04 : logo entreprise aquanil-dz.....	85
- Figure.V.05 : une station par osmose inverse aquanil	86
- Figure.V.06 : une station de traitement des eaux par osmose inverse aquanil pour une consommation de 100 m ³ par jour.....	87
- Figure.V.07 : logo entreprise techno-environnement.....	88
- Figure.V.08 : une installation techno-environnement OS.....	89
- Figure.V.09 : l'un des Produits SARL TECHNO-ENVI de traitement	90

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Chapitre I : Panorama des ressources en eau en Algérie :

- Tableau.I.01 : synthétique illustrant la typologie des ressources en eau en Algérie, basé sur les données disponibles jusqu'en 2021.....05
- Tableau.I.02 : les volumes des différentes ressources en eau renouvelables en Algérie.....08
- Tableau.I.03 : Répartition des besoins en eau par secteur en Algérie.....16

Chapitre II : Généralités sur le dessalement de l'eau de mer en Algérie :

- Tableau.II.01 : les principales stations de dessalement en Algérie, de 1964 à aujourd'hui,.....26
- Tableau.II.02 : Projets de stations de dessalement en Algérie (2025–2030).....28
- Tableau.II.03 : Justification du choix du dessalement (Causes/ Conséquences).....29
- Tableau.II.04 : comp des Technologies de dessalement utilisées en Algérie.....32
- Tableau.II.05 : Les principaux acteurs publics impliqués dans le dessalement.....34
- Tableau.II.06 : Exemples de sociétés étrangères partenaires dans le dessalement...36

Chapitre III : Fonctionnement de la station de dessalement de Fouka :

- Tableau.III.01 : Performance attendue.....49
- Tableau.III.02 : Paramètres de performance typiques.....50
- Tableau.III.03 : Qualité finale de l'eau produite.....53

Chapitre IV : Vers un dessalement durable : l'intégration des énergies renouvelables :

- Tableau.IV.01 : Tableau comparatif des principales technologies de dessalement en termes de consommation énergétique60
- Tableau .IV.02 : Tableau comparatif : Énergie solaire thermique vs photovoltaïque dans le dessalement.....66

Chapitre V : Le développement du dessalement privé : enjeux et perspectives :

- Tableau.V.01:Tableau récapitulatif des principaux acteurs du dessalement privé en Algérie.....73
- Tableau.V.02:Technologies adaptées au secteur privé.....75
- Tableau.V.03:avantages vs limites du dessalement privé.....77

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviations techniques

RO	Reverse Osmosis (Osmose Inverse)
SWRO	Seawater Reverse Osmosis (Osmose inverse de l'eau de mer)
BWRO	Brackish Water Reverse Osmosis (Osmose inverse pour eau saumâtre)
MED	Multi-Effect Distillation (Distillation à Effets Multiples)
MSF	Multi-Stage Flash (Détente brusque à plusieurs étages)
NF	Nanofiltration
UF	Ultrafiltration
TDS	Total Dissolved Solids (Solides Dissous Totaux)
SDI	Silt Density Index (Indice de densité de colmatage)
L/m ² /h	Litres par mètre carré par heure (débit de flux)
m ³ /j	Mètre cube par jour
kWh/m ³	Kilowattheure par mètre cube (énergie spécifique de dessalement)

Abréviations liées à l'environnement et à l'énergie

ENR	Énergies Renouvelables
PV	Photovoltaïque
CSP	Concentrated Solar Power (Solaire thermodynamique)
GES	Gaz à Effet de Serre
CO ₂	Dioxyde de carbone

ACV	Analyse du Cycle de Vie
DD	Développement Durable
PNAE-DD	Plan National d'Action Environnementale pour le Développement Durable

Abréviations institutionnelles

MRE	Ministère des Ressources en Eau
MEM	Ministère de l'Énergie et des Mines
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ADE	Algérienne des Eaux
SEAAL	Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
ONA	Office National de l'Assainissement
SONATRACH	Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures
AEC	Algérienne des Énergies Renouvelables (ou centre équivalent)

Abréviations scientifiques générales

WHO	World Health Organization (OMS)
ppm	Partie par million
°C	Degré Celsius
RH	Ressources Hydrauliques
NGO	Non-Governmental Organization (ONG)
m.s.n.m.	Mètre au-dessus du niveau de la mer

Introduction Générale

L'eau douce est une ressource vitale, indispensable à la vie humaine, au développement socio-économique et à la préservation des écosystèmes. Pourtant, sa disponibilité devient de plus en plus critique à l'échelle mondiale, en particulier dans les régions arides et semi-arides. L'Algérie, avec son climat majoritairement sec, connaît depuis plusieurs décennies une pression croissante sur ses ressources hydriques, exacerbée par la croissance démographique, l'urbanisation rapide, le développement agricole intensif et les effets du changement climatique.

Dans ce contexte de pénurie structurelle, la mobilisation des ressources en eau non conventionnelles s'impose comme une nécessité stratégique. Le dessalement de l'eau de mer, autrefois marginal, s'est progressivement imposé comme une solution fiable et durable pour répondre aux besoins en eau potable, notamment dans les zones littorales. L'Algérie a ainsi lancé depuis les années 2000 une politique ambitieuse de développement des infrastructures de dessalement, faisant de ce secteur un pilier de sa stratégie de sécurité hydrique.

Ce mémoire s'intéresse à l'évolution et à la mise en œuvre du dessalement de l'eau de mer en Algérie, en mettant en lumière les aspects techniques, environnementaux, énergétiques et institutionnels de cette solution. À travers l'exemple concret de la station de dessalement de Fouka, il s'agira de comprendre comment fonctionne une installation moderne, tout en s'interrogeant sur les défis de durabilité, notamment à travers l'intégration des énergies renouvelables et le développement du secteur privé.

Ce travail est structuré en cinq chapitres. Le premier présente un panorama des ressources en eau en Algérie. Le deuxième expose les fondements du dessalement dans le contexte algérien. Le troisième se focalise sur le fonctionnement détaillé de la station de Fouka. Le quatrième examine les perspectives d'un dessalement durable à travers l'usage des énergies renouvelables. Enfin, le cinquième analyse les enjeux et perspectives liés au développement du dessalement privé dans le pays.

Chapitre I :

Panorama des ressources en eau en Algérie

1.1 Introduction

L'eau est une ressource indispensable à la vie humaine, à l'agriculture, à l'industrie et à la préservation de l'environnement. Elle joue un rôle central dans le développement socio-économique d'un pays. En Algérie, cette ressource vitale est soumise à des pressions considérables en raison de la variabilité climatique, de la croissance démographique rapide et de la surexploitation des ressources naturelles. La gestion de l'eau devient alors un défi majeur pour garantir l'approvisionnement en eau potable et pour répondre aux besoins de l'agriculture, de l'industrie et de la production d'énergie.

L'Algérie est un pays caractérisé par une grande diversité géographique et climatique, allant des régions arides et semi-arides du Sahara aux régions plus tempérées du Nord. Cependant, la répartition des ressources en eau est extrêmement inégale à travers le pays, avec une concentration des ressources dans les zones côtières et montagneuses, tandis que le Sahara, qui occupe plus de 80 % du territoire, souffre d'une grande rareté en eau. Cette situation rend la gestion des ressources hydriques d'autant plus complexe, car elle nécessite des stratégies spécifiques adaptées à chaque région.

Outre la répartition géographique, les ressources en eau en Algérie sont également affectées par le climat méditerranéen, qui entraîne des sécheresses prolongées et une variabilité des précipitations d'une année à l'autre. Le changement climatique exacerbe cette situation, avec des impacts potentiels sur la disponibilité des ressources en eau, notamment la diminution des précipitations et l'augmentation de l'évaporation. Face à ces défis, il devient primordial de développer une approche intégrée pour la gestion durable de l'eau, qui tienne compte à la fois des besoins actuels et des enjeux futurs.

Ce chapitre vise à dresser un panorama global des ressources en eau en Algérie. Il abordera la typologie des différentes ressources disponibles, leur répartition géographique à travers le pays, ainsi que les enjeux liés à leur renouvelable et leur gestion. [02]

Enfin, nous examinerons les politiques et stratégies nationales mises en place pour faire face à ces défis, avec un focus sur les solutions innovantes telles que l'utilisation des eaux non conventionnelles, notamment le dessalement de l'eau de mer

1.2 Typologie des ressources en eau

Les ressources en eau en Algérie se classent en trois grandes catégories : les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux non conventionnelles. Chacune de ces ressources possède des caractéristiques spécifiques en termes de disponibilité, de qualité et de modes d'exploitation.

1.2.1. Eaux de surface :

Les eaux de surface englobent les rivières (oueds), les barrages, les lacs naturels et artificiels, ainsi que les retenues collinaires. Elles constituent la principale source d'eau pour les usages domestiques, agricoles et industriels dans les régions nordiques du pays. L'Algérie dispose d'un réseau hydrographique dense dans le nord, mais caractérisé par un écoulement irrégulier et saisonnier en raison du climat méditerranéen. Afin de valoriser ces eaux, l'État a investi dans la construction de grands barrages (plus de 80 barrages opérationnels) pour capter et stocker les eaux pluviales. Toutefois, la capacité de mobilisation reste limitée par la variabilité interannuelle des précipitations et par les phénomènes d'envasement des barrages.

1.2.2. Eaux souterraines :

Le potentiel en eaux souterraines en Algérie est considérable, en particulier dans les régions sahariennes. On distingue deux grands types de nappes :

Les nappes du Tell, peu profondes mais vulnérables à la pollution et à la surexploitation.

Les nappes profondes du Sahara, telles que le Continental Intercalaire et le Continental Terminal, qui constituent des réserves fossiles majeures mais non renouvelables à l'échelle humaine.

Ces eaux souterraines assurent l'approvisionnement en eau potable et permettent le développement agricole dans des zones arides où l'eau de surface est pratiquement absente.

1.2.3. Eaux non conventionnelles :

Face à la pression croissante sur les ressources naturelles traditionnelles, l'Algérie a misé sur le développement des ressources en eau non conventionnelles, notamment :

Le dessalement de l'eau de mer, avec une capacité installée de plusieurs millions de mètres cubes par jour, concentrée principalement sur le littoral.

La réutilisation des eaux usées traitées, qui commence à se développer dans les secteurs agricole et industriel pour réduire la demande en eau conventionnelle. Ces sources alternatives deviennent incontournables pour garantir la sécurité hydrique du pays, surtout dans un contexte de changement climatique et de croissance démographique rapide.

Tableau.I.01 : synthèse illustrant la typologie des ressources en eau en Algérie, basé sur les données disponibles jusqu'en 2021 . [01]

Type de ressource	Volume estimé	Part dans l'approvisionnement	Remarques
Eaux de surface	5,86millionsm ³ /jour (traitement)	33 %	116 stations de traitement en 2021.
Eaux souterraines	6,6 milliards m ³ /an	50 %	281 000 puits exploités.
Eau non conventionnelles	52,6millionsm ³ /an (dessalement)	17 %	34 stations de dessalement opérationnelles.
Eaux usées traitées	1,1 milliard m ³ /an	Utilisation agricole	200 stations d'épuration, dont 20 dédiées à l'irrigation

1.3 Répartition spatiale des ressources

La répartition des ressources en eau en Algérie présente des disparités notables dues à la diversité géographique et climatique du pays. Cette répartition est influencée par les conditions climatiques locales, les caractéristiques géographiques et les modes de gestion des ressources en eau. Voici une analyse détaillée des trois grandes régions du pays : la zone nord (Tell), les Hauts Plateaux et la région saharienne.

1.3.1. La zone nord (Tell) :

La région du Tell, qui longe le littoral méditerranéen, est la plus riche en ressources en eau du pays. Cette zone bénéficie d'un climat méditerranéen, avec des hivers pluvieux et des étés secs et chauds. Les précipitations y sont relativement régulières, allant de 400 mm/an dans les plaines littorales à plus de 1 000 mm/an dans les montagnes de l'intérieur. Ces précipitations permettent la formation de nombreux cours d'eau permanents et de barrages.

Les eaux de surface dans cette région proviennent principalement des oueds (rivières temporaires), des barrages (comme ceux de Taksebt et de Koudiat Medouar), et des lacs collinaires. Ces réservoirs naturels sont essentiels pour le stockage et la régulation des ressources en eau. Par exemple, le barrage de Taksebt, situé à 50 km au nord d'Alger, a une capacité de stockage de près de 130 millions de m³ d'eau. Il assure l'approvisionnement en eau potable pour la capitale ainsi que pour l'irrigation des terres agricoles avoisinantes. Cependant, la gestion des barrages dans cette région fait face à plusieurs défis, notamment l'envasement rapide et la pollution des sources d'eau due à l'urbanisation croissante et à l'agriculture intensive.

Concernant les eaux souterraines, la région dispose de nappes phréatiques superficielles qui alimentent les villes et villages de la région. Ces nappes sont souvent vulnérables à la pollution, notamment par les produits chimiques issus de l'agriculture et des industries. Bien que cette région bénéficie d'une quantité relativement élevée de précipitations, les ressources en eau de surface sont soumises à des fluctuations importantes en raison des saisons sèches prolongées.

1.3.2. Les Hauts Plateaux :

Les Hauts Plateaux, situés entre les montagnes du Tell et les régions sahariennes, ont un climat semi-aride avec des précipitations variant entre 200 mm/an et 400 mm/an. Les eaux de surface sont plus rares ici, avec quelques oueds qui ne coulent que pendant les périodes de pluie, souvent de manière sporadique. La région est également caractérisée par une variabilité climatique marquée, rendant les périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes et intenses.

Dans cette zone, les eaux souterraines jouent un rôle crucial. Les nappes phréatiques, notamment celles situées sous les formations du bassin de l'Algérois, sont une source importante d'approvisionnement en eau. Toutefois, ces nappes sont relativement peu profondes et sensibles à la surexploitation. Le pompage excessif de ces nappes pour les besoins agricoles et urbains entraîne leur épuisement progressif, une situation d'autant plus critique que les sources de surface sont peu abondantes.

L'agriculture dans les Hauts Plateaux dépend largement de l'irrigation à partir de ces nappes et des retenues d'eau. De plus, cette région subit des défis environnementaux dus à la désertification, ce qui exacerbe la pression sur les ressources en eau. Certaines initiatives récentes ont tenté de gérer plus efficacement ces ressources en introduisant des systèmes de gestion durable, tels que l'irrigation goutte-à-goutte, mais ces efforts restent limités par les contraintes financières et technologiques.

1.3.3. La région saharienne :

La région saharienne, qui couvre plus de 80 % du territoire algérien, est la plus vaste mais aussi la plus pauvre en ressources en eau. La précipitation annuelle dans cette région est extrêmement faible, souvent inférieure à 100 mm/an, ce qui rend l'agriculture et les besoins domestiques dépendants principalement des ressources en eaux souterraines. Les nappes souterraines sahariennes, telles que le Continental

Intercalaire et le Continental Terminal, contiennent de vastes réservoirs d'eau fossile. Ces nappes sont particulièrement importantes pour l'approvisionnement en eau des grandes villes du sud, telles que Ouargla, Biskra, et Ghardaïa, ainsi que pour les projets agricoles comme ceux du système d'irrigation du Touat.

Cependant, ces nappes sont considérées comme non renouvelables à l'échelle humaine, car leur recharge est extrêmement lente. Elles sont donc exploitées de manière intensive, ce qui suscite des préoccupations concernant leur épuisement à long terme. L'utilisation de l'eau souterraine pour l'agriculture, notamment l'irrigation des palmeraies et des cultures céréalières, est courante, mais ces pratiques sont de plus en plus insoutenables, car elles accélèrent la dégradation des nappes.

Pour pallier la pénurie d'eau, plusieurs projets de dessalement de l'eau de mer ont été mis en place dans les zones côtières du Sahara, afin de fournir de l'eau aux villes du sud, qui en sont éloignées des sources naturelles. Les grandes stations de dessalement, comme celles d'El Kala et de Skikda, produisent des millions de mètres cubes d'eau chaque jour, mais ces technologies restent coûteuses et énergivores, nécessitant des solutions innovantes pour garantir leur durabilité.



Figure.I.01 : Carte géographique de l'Algérie (01-Le Tell, 02-Les hauts Plateaux, 03-Le Sahara

1.4 Ressources renouvelables vs non renouvelables

La distinction entre les ressources en eau renouvelables et non renouvelables est essentielle pour comprendre la gestion durable de l'eau en Algérie, un pays caractérisé par une grande variabilité climatique et des défis hydriques majeurs. Ces deux types de ressources en eau jouent un rôle fondamental dans l'approvisionnement en eau, mais leur disponibilité et leur capacité de régénération diffèrent considérablement, ce qui influence les politiques de gestion et de conservation.

1.4.1. Ressources renouvelables :

Les ressources en eau renouvelables sont celles qui peuvent se régénérer naturellement, par le biais des précipitations, des sources de surface et des nappes phréatiques superficielles. Ces ressources dépendent directement du cycle hydrologique et de la variabilité climatique. En Algérie, elles incluent principalement les eaux de surface et les eaux souterraines superficielles.

Les eaux de surface, telles que les rivières, les oueds et les barrages, représentent une part significative de l'approvisionnement en eau dans les régions du Tell et des Hauts Plateaux, où les précipitations sont plus abondantes. Les grands barrages, comme ceux de Koudiat Medouar et Taksebt, sont utilisés pour stocker l'eau et la redistribuer en fonction des besoins agricoles, industriels et domestiques. Toutefois, ces ressources sont vulnérables à la variabilité des précipitations, et leur disponibilité peut fluctuer considérablement d'une année à l'autre, particulièrement en période de sécheresse.

Les nappes phréatiques superficielles, bien que plus vulnérables à la pollution et à la surexploitation, sont aussi considérées comme renouvelables à court terme. Elles peuvent se régénérer grâce aux infiltrations d'eau de pluie, aux crues des oueds et à l'eau provenant des barrages. Cependant, leur régénération dépend de la gestion prudente de l'eau, afin d'éviter leur épuisement rapide, surtout dans les zones de forte urbanisation et d'irrigation intensive.

Tableau.I.02 : les volumes des différentes ressources en eau renouvelables en Algérie. [02]

Type de ressource	Volume (m ³ /an)
Eaux de surface	9,8 milliards
Eaux souterraines (Nord)	1,5 milliard
Eaux souterraines (Sud)	5 milliards

1.4.2. Ressources non renouvelables :

Les ressources non renouvelables sont des réserves d'eau qui ne se régénèrent pas à une échelle de temps humaine. Elles incluent principalement les nappes profondes fossiles et les eaux souterraines du Sahara. Ces ressources sont présentes dans des réservoirs souterrains vieux de milliers voire de millions d'années, et leur renouvellement, s'il existe, est extrêmement lent, voire inexistant à l'échelle des générations humaines.

L'Algérie possède plusieurs nappes profondes non renouvelables, comme les nappes du Continental Intercalaire et du Continental Terminal, qui alimentent principalement les régions du sud et du Sahara. Ces nappes sont essentielles pour les besoins en eau des villes comme Ouargla, Biskra et Ghardaïa, ainsi que pour l'agriculture dans les oasis sahariennes. Toutefois, leur exploitation intensive soulève de nombreuses préoccupations concernant leur épuisement futur, d'autant plus qu'elles ne sont pas rechargées par les précipitations.

L'utilisation de ces eaux fossiles est souvent une solution de dernier recours dans les régions où l'approvisionnement en eau de surface est inexistant. Cependant, à long terme, leur surexploitation pourrait entraîner une crise de l'eau dans ces zones, d'où la nécessité de développer des alternatives comme le dessalement et la réutilisation des eaux usées.

1.4.3. Gestion et durabilité des ressources en eau :

La gestion des ressources renouvelables et non renouvelables doit être abordée avec des stratégies adaptées à chaque type de ressource.

Pour les ressources renouvelables, il est essentiel de garantir leur conservation et leur gestion durable. Cela implique de protéger les bassins versants, de limiter la pollution des sources d'eau, et de mettre en place des systèmes d'irrigation efficaces pour éviter le gaspillage. La réduction de la consommation d'eau à travers des technologies économes en eau, comme l'irrigation goutte-à-goutte, est également une priorité.

Pour les ressources non renouvelables, la priorité doit être donnée à la gestion rationnelle et à l'utilisation parcimonieuse de ces eaux. La surexploitation des nappes fossiles doit être évitée en adoptant des stratégies de gestion basées sur le principe de durabilité, en particulier pour l'agriculture et l'irrigation. Les solutions alternatives comme le dessalement de l'eau de mer et l'optimisation de l'utilisation des eaux usées traitées deviennent cruciales pour répondre à la demande croissante d'eau sans épuiser les nappes profondes.

1.4.4. Impact du changement climatique sur les ressources :

Le changement climatique a un impact direct sur les ressources en eau, qu'elles soient renouvelables ou non renouvelables. En Algérie, la variabilité des précipitations est appelée à s'intensifier, entraînant des périodes de sécheresse plus longues et plus sévères, ainsi qu'une augmentation de l'évaporation. Cela affectera la quantité d'eau disponible, notamment pour les ressources renouvelables, tout en accélérant

l'épuisement des ressources non renouvelables. Il devient donc crucial de diversifier les sources d'approvisionnement en eau et de renforcer la gestion des ressources existantes à travers des politiques de conservation et d'innovation technologique.

1.5 Variabilité climatique et disponibilité

La variabilité climatique est l'un des principaux facteurs qui affectent la disponibilité des ressources en eau en Algérie. Le pays est caractérisé par un climat méditerranéen au nord, un climat semi-aride dans les Hauts Plateaux, et un climat désertique dans le sud saharien. Cette diversité climatique entraîne des différences importantes dans la quantité et la répartition des précipitations, ainsi que dans l'impact de ces variations sur les ressources en eau.

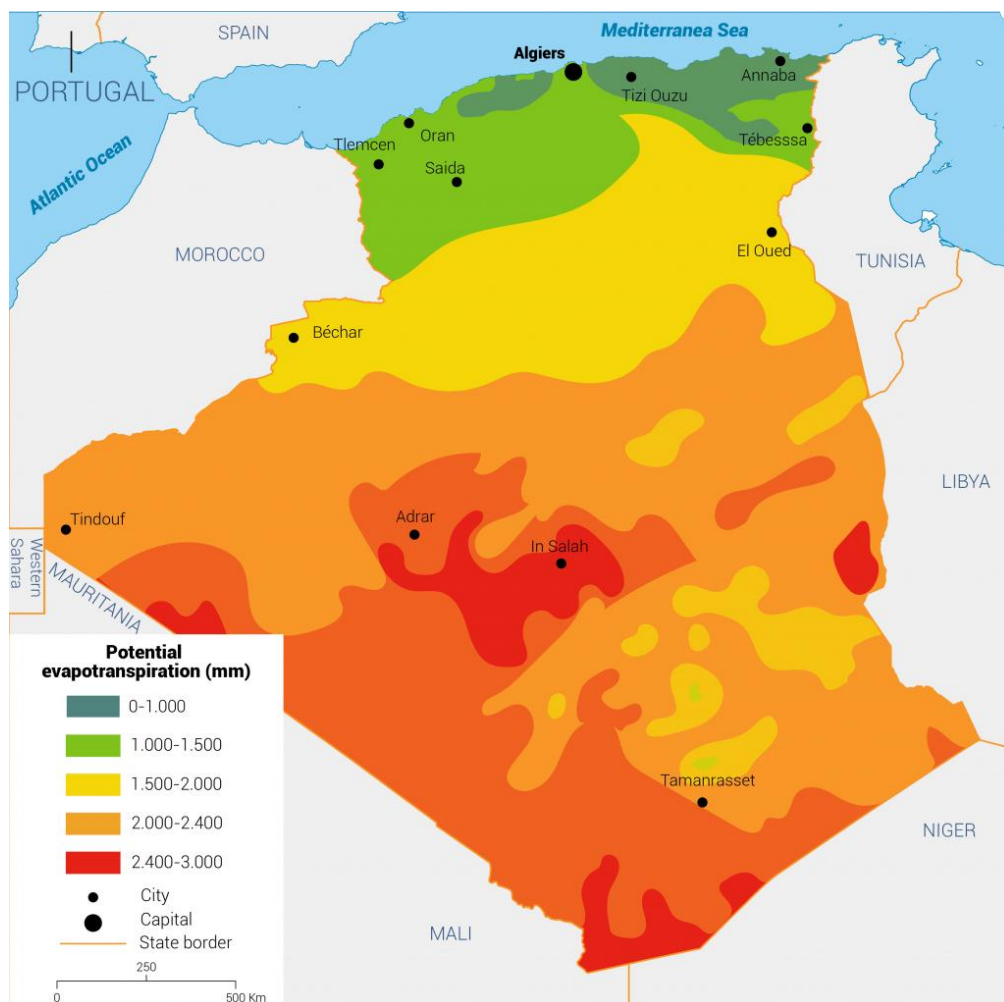


Figure.I.02 : Carte climatique de l'Algérie

1.5.1. Les impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau

La variabilité climatique, qui se manifeste par des fluctuations importantes des précipitations, joue un rôle déterminant dans la gestion de l'eau en Algérie. Les périodes de sécheresse prolongées et les pluies torrentielles influencent directement la disponibilité des ressources en eau de surface et souterraines. Les conséquences de cette variabilité sont multiples et complexes, et elles sont ressenties différemment selon les régions du pays.

A - Région du Tell (zone nord) :

La variabilité des précipitations dans cette région est particulièrement marquée. Bien que la région bénéficie généralement de précipitations annuelles modérées à élevées, celles-ci sont souvent concentrées sur une courte période, principalement en hiver. Les hivers pluvieux alternent avec des étés chauds et secs. Ces fluctuations peuvent entraîner une inondation des barrages en périodes de fortes pluies, mais aussi un manque d'eau pendant les sécheresses. En 2000, par exemple, la capitale Alger a connu une grave sécheresse due à la faiblesse des précipitations durant plusieurs années consécutives.

Les eaux de surface, telles que les rivières et les barrages, dépendent fortement des cycles de pluie, et la gestion de ces ressources devient plus difficile en période de sécheresse. Les barrages, qui sont conçus pour stocker l'eau pendant les périodes pluvieuses, peuvent se retrouver à sec en raison de l'irrégularité des précipitations, affectant ainsi l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation.

B - Hauts Plateaux :

La variabilité climatique dans les Hauts Plateaux est marquée par des précipitations relativement faibles et irrégulières, qui varient entre 200 mm et 400 mm par an. Cette région est particulièrement vulnérable aux effets du changement climatique, car elle subit des périodes de sécheresse plus longues, ce qui affecte directement la recharge des nappes phréatiques et des réservoirs d'eau.

En outre, la variation des températures et l'augmentation de l'évaporation due au réchauffement climatique contribuent à l'accélération de la perte d'eau par évaporation, en particulier pour les étangs et les réservoirs de surface.

C - Région saharienne :

Dans la région saharienne, le changement climatique pourrait entraîner une diminution encore plus marquée des précipitations, rendant la situation encore plus critique. Cette zone est déjà caractérisée par un climat désertique avec des précipitations annuelles inférieures à 100 mm, mais les scientifiques prévoient une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur et une baisse de la pluviométrie.

La baisse des nappes fossiles du Sahara pourrait également résulter de la surexploitation des ressources en eau souterraine, ce qui accentuerait encore la dépendance aux solutions non renouvelables comme le dessalement de l'eau de mer.



Figure.I.03 : l'impact de la variabilité climatique sur les ressources stockées barrage Taksebt Tizi ousou.

1.5.2. Le changement climatique et l'évolution des ressources en eau

Le changement climatique, en particulier l'augmentation des températures globales et les modifications des régimes de précipitations, aura un impact direct sur la quantité et la distribution des ressources en eau en Algérie. Les effets attendus du changement climatique incluent :

Des périodes de sécheresse plus fréquentes et prolongées, ce qui limitera les réserves d'eau dans les barrages et les nappes souterraines. Cela augmentera la pression sur les ressources en eau, surtout dans les régions déjà sèches comme le Sahara et les Hauts Plateaux.

Des périodes de fortes pluies suivies de sécheresses sévères. Ces événements extrêmes peuvent endommager les infrastructures de gestion de l'eau, causer des inondations dans les zones urbaines, et réduire la capacité de stockage dans les réservoirs, tout en augmentant l'évaporation.

L'augmentation de l'évaporation due aux températures plus élevées accentuera la perte d'eau dans les réservoirs de surface, ce qui rendra les ressources en eau plus difficiles à gérer et nécessitera des solutions de gestion plus sophistiquées.



Figure.I.04 : Photo représente les effets directs du climat sur le sol.

1.5.3. Adaptation à la variabilité climatique et gestion durable de l'eau

Face à cette variabilité et aux impacts du changement climatique, l'Algérie doit mettre en place des stratégies de gestion intégrée des ressources en eau. Cela pourrait inclure des mesures telles que :

Renforcer les capacités de stockage de l'eau en construisant des barrages et des réservoirs supplémentaires pour capter les eaux de pluie lors des périodes humides et les redistribuer lors des sécheresses.

Mise en œuvre de technologies de gestion durable de l'eau, comme l'irrigation goutte-à-goutte et la réutilisation des eaux usées, pour réduire la demande en eau et maximiser l'utilisation des ressources disponibles.

Améliorer la gestion des nappes souterraines, en régulant leur exploitation pour éviter leur surexploitation et leur dégradation. Cela inclut également la mise en place de mécanismes pour préserver les nappes fossiles.

Augmenter la capacité de dessalement de l'eau de mer, en particulier dans les régions côtières, pour répondre à la demande en eau des populations urbaines et industrielles.

1.6 La Demande et la Consommation

La demande en eau en Algérie connaît une croissance rapide en raison de plusieurs facteurs, notamment l'augmentation démographique, l'urbanisation rapide, les besoins agricoles et les exigences industrielles et énergétiques. Ces facteurs exercent une pression croissante sur les ressources en eau disponibles, d'autant plus que les ressources en eau, notamment les ressources renouvelables, sont limitées et de plus en plus vulnérables aux effets du changement climatique. Cette section explore les différentes dimensions de la demande en eau et les principaux secteurs consommateurs d'eau en Algérie.

1.6.1. La Croissance Démographique

L'Algérie a connu une croissance démographique rapide au cours des dernières décennies, avec une population passant de 31 millions d'habitants en 1990 à plus de 45 millions en 2020. Cette croissance rapide exerce une pression importante sur les ressources en eau, car chaque nouvelle personne consomme de l'eau pour les besoins domestiques, industriels, agricoles et énergétiques.

La densité de population dans les zones urbaines, notamment à Alger, Oran, et Constantine, augmente également le demande d'eau potable et d'assainissement. En outre, la croissance de la population dans les zones rurales a augmenté la demande pour les activités agricoles, notamment l'irrigation.

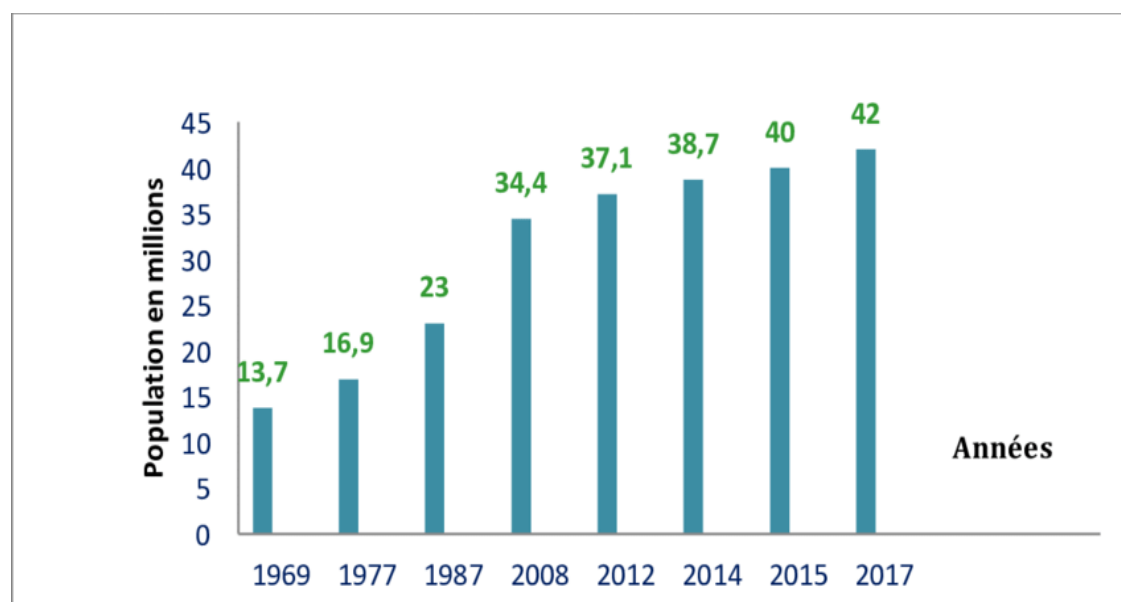


Figure.I.05 : Graphe d'évolution démographique en Algérie 1969-2017 . [03]

1.6.2. L'Urbanisation Rapide

L'urbanisation est un facteur majeur qui influence la demande en eau en Algérie. Le pays a connu une urbanisation rapide, avec une forte migration des populations rurales vers les villes, ce qui a conduit à une augmentation des besoins en eau potable et en services d'assainissement.

Les villes côtières telles que Alger, Oran, et Annaba, qui représentent une proportion importante de la population urbaine, connaissent une demande d'eau très élevée. De plus, la croissance urbaine rapide entraîne une pression accrue sur les infrastructures hydrauliques existantes, notamment les réseaux d'adduction et de distribution d'eau, souvent insuffisants face à l'augmentation de la population.

En conséquence, les systèmes de gestion de l'eau doivent être adaptés pour répondre à cette demande croissante, en intégrant des solutions comme l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation, la mise à jour des infrastructures et l'utilisation des technologies de traitement et de dessalement.

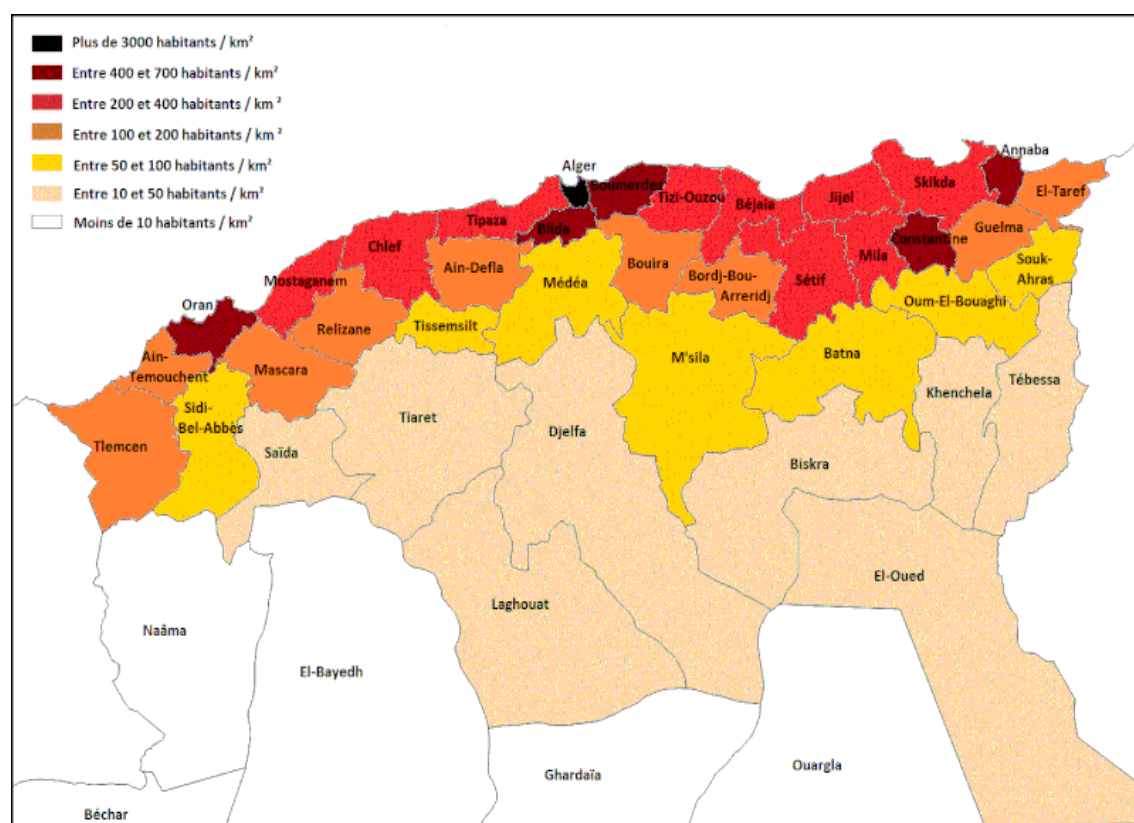


Figure.I.06 : La Répartition de la population (2008).

1.6.3. Les Besoins Agricoles

L'agriculture est l'un des principaux secteurs consommateurs d'eau en Algérie, représentant près de 70 à 80 % de la consommation totale d'eau dans le pays. Les

systèmes d'irrigation sont essentiels pour maintenir la production agricole, notamment dans les régions arides et semi-arides comme les Hauts Plateaux et le Sahara.

La demande en eau pour l'agriculture varie considérablement selon les saisons et les types de cultures. Par exemple, les cultures céréalières et les cultures maraîchères nécessitent une irrigation intensive, tout comme les palmeraies et les cultures fruitières dans les oasis sahariennes. Bien que l'Algérie dispose de nombreuses nappes phréatiques et de barrages, la gestion de l'eau pour l'agriculture reste un défi majeur, car elle est confrontée à l'épuisement des nappes et à l'augmentation de la salinité de l'eau.

1.6.4. Les Besoins Industriels et Énergétiques

La demande en eau des secteurs industriels et énergétiques connaît une augmentation, en particulier dans les zones industrielles du nord et les zones de production d'énergie. Les secteurs pétrolier et gazier ainsi que les centrales électriques nécessitent de grandes quantités d'eau pour les processus de refroidissement, la production d'électricité, et le nettoyage des équipements.

Les usines et les raffineries dans les régions côtières, ainsi que les complexes industriels situés dans les Hauts Plateaux, sont d'importants consommateurs d'eau. Le secteur énergétique, qui repose fortement sur des installations thermiques, utilise des quantités importantes d'eau pour le refroidissement des turbines et des générateurs, ce qui exerce une pression supplémentaire sur les ressources en eau.

Tableau.I.03 : Répartition des besoins en eau par secteur en Algérie. [04]

Secteur	Volume annuel estimé m ³	Part dans la consommation totale	Remarques
Agriculture	7 milliards	≈ 66%	Principal utilisateur de l'eau, avec des efforts en cours pour améliorer l'efficacité de l'irrigation.
Industrie	0,4 milliard	≈ 4%	Consommation variable selon les industries, avec des initiatives pour réduire l'utilisation d'eau.
Énergie (gaz naturel)	6,4 millions de TEP	33% de la consommation de gaz naturel	Utilisé principalement pour le chauffage, la cuisson et la production d'électricité.

1.6.5. Les Défis de la Consommation d'Eau

Les défis liés à la consommation d'eau en Algérie sont nombreux et comprennent :

La gestion inefficace de l'eau : Les fuites dans les réseaux de distribution d'eau et l'inefficacité des systèmes d'irrigation entraînent des pertes importantes d'eau, aggravant la crise hydrique. Selon certaines estimations, près de 30 à 40 % de l'eau produite est perdue avant d'atteindre les consommateurs.

L'agriculture irriguée : Bien que l'agriculture soit la principale source de demande en eau, les pratiques agricoles traditionnelles, telles que l'irrigation à l'inondation, sont souvent très inefficaces et gaspillent de grandes quantités d'eau. Il est nécessaire de promouvoir des méthodes plus durables comme l'irrigation goutte-à-goutte pour améliorer l'efficacité de l'usage de l'eau.

L'impact du changement climatique : Le changement climatique, avec l'augmentation des températures et la variabilité des précipitations, peut perturber la disponibilité de l'eau, ce qui peut entraîner une augmentation de la demande pendant les périodes de sécheresse et affecter l'agriculture, les besoins domestiques et industriels.

La consommation énergétique pour le dessalement : Le recours au dessalement de l'eau de mer pour répondre aux besoins en eau, en particulier dans les régions côtières, représente une solution importante. Cependant, le dessalement est un processus énergivore, et sa dépendance à des sources d'énergie non renouvelables peut nuire à sa durabilité.

1.7 Politiques et Stratégies Nationales

L'Algérie, confrontée à des défis majeurs en matière de gestion des ressources en eau, a mis en place plusieurs politiques et stratégies nationales pour assurer une gestion durable de l'eau, répondre à la croissance démographique et à l'urbanisation rapide, et faire face aux impacts du changement climatique. Ces stratégies sont centrées sur la conservation de l'eau, la réduction des pertes et le développement de sources alternatives d'approvisionnement en eau.

1.7.1. La Politique Nationale de l'Eau (PNE)

La Politique Nationale de l'Eau (PNE), lancée en 2002, constitue le cadre principal pour la gestion des ressources en eau en Algérie. Elle vise à garantir la disponibilité en eau pour tous les secteurs économiques et sociaux, à préserver la qualité des ressources en eau et à assurer leur gestion durable.

Les principaux objectifs de la PNE sont : La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) : Ce concept implique une gestion de l'eau qui prend en compte non seulement les aspects techniques, mais aussi les aspects économiques, sociaux et environnementaux.

L'amélioration de l'efficacité de l'usage de l'eau : Des efforts sont faits pour moderniser les réseaux de distribution, réduire les pertes d'eau et promouvoir des techniques d'irrigation plus efficaces.

La diversification des sources d'approvisionnement en eau, notamment à travers le dessalement de l'eau de mer et l'utilisation des eaux non conventionnelles.

1.7.2. Le Plan National d'Action pour la Gestion Durable de l'Eau

Afin de répondre aux défis de la pénurie d'eau, le gouvernement algérien a mis en place plusieurs plans d'action, dont le Plan National d'Action pour la Gestion Durable de l'Eau, qui se concentre sur :

La construction et la réhabilitation des infrastructures hydrauliques, telles que les barrages, les stations de traitement d'eau et les usines de dessalement.

L'amélioration de la gestion des nappes souterraines et la mise en place de techniques pour préserver ces ressources en eau non renouvelables.

Le développement des infrastructures de dessalement afin de compléter les ressources en eau potable, particulièrement dans les zones côtières, où la demande en eau est élevée.

La promotion de l'utilisation d'eaux usées traitées pour des applications agricoles et industrielles, réduisant ainsi la pression sur les ressources en eau douce.

1.7.3. La Stratégie Nationale de Dessalement

Face à la pénurie croissante d'eau douce, le dessalement est devenu un pilier de la politique de gestion de l'eau en Algérie. En 2012, le pays a lancé sa stratégie nationale de dessalement, visant à augmenter la capacité de production d'eau dessalée à travers des installations de dessalement de grande capacité.

Cette stratégie comprend :

L'extension de la capacité de dessalement avec de nouvelles unités installées le long des côtes, pour fournir de l'eau potable aux zones urbaines et industrielles.

La réduction des coûts énergétiques liés au dessalement, notamment en développant des solutions énergétiques plus durables, telles que l'utilisation de l'énergie solaire pour les stations de dessalement.

L'intégration du dessalement dans les plans de gestion de l'eau, pour compléter les ressources naturelles limitées par des sources d'eau non conventionnelles.

1.7.4 La Gestion des Ressources en Eau en Zones Arides et Semi-Arides

L'Algérie, en raison de sa topographie et de son climat aride, doit faire face à une pression particulière pour la gestion des ressources en eau dans les régions sahariennes et les Hauts Plateaux. En réponse, le gouvernement a développé des stratégies spécifiques pour ces régions, telles que :

Le développement de l'irrigation localisée pour l'agriculture, en particulier dans les oasis sahariennes, afin d'optimiser l'utilisation de l'eau.

La réhabilitation des nappes souterraines dans le Sahara et les Hauts Plateaux pour assurer une gestion durable des ressources en eau souterraine.

La réduction de la consommation d'eau dans les zones rurales et l'introduction de technologies adaptées aux conditions locales, comme l'utilisation de l'eau de pluie et des systèmes d'irrigation à faible consommation.

1.7.5. La Lutte contre la Pollution de l'Eau

Le gouvernement algérien a également mis en place des stratégies pour lutter contre la pollution de l'eau et préserver la qualité des ressources. Ces mesures comprennent :

Le traitement des eaux usées : Les stations d'épuration des eaux usées sont en cours d'extension, avec un objectif de traitement de 80% des eaux usées d'ici 2030.

La surveillance de la qualité de l'eau : Des mesures strictes sont prises pour surveiller la qualité des eaux superficielles et souterraines, afin de détecter les polluants et protéger les sources d'eau potable.

L'assainissement des zones industrielles et urbaines : Des efforts sont faits pour réduire la pollution industrielle, notamment dans les zones côtières et urbaines, où les activités humaines contribuent à la dégradation des ressources en eau.

1.7.6. Les Objectifs de Développement Durable et la Gestion des Ressources en Eau

L'Algérie, dans le cadre de son engagement à atteindre les Objectifs de Développement Durable (ODD), a intégré la gestion durable de l'eau comme un objectif majeur. L'ODD 6 (assurer l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et gérer durablement les ressources en eau) est au cœur de la stratégie nationale, avec des actions concrètes pour :

Garantir l'accès à l'eau potable pour toute la population, en particulier dans les zones rurales éloignées.

Améliorer la gestion de l'eau à travers des politiques de conservation et d'efficacité dans l'utilisation des ressources.

1.8 Conclusion

Le chapitre 1, intitulé "Panorama des ressources en eau en Algérie", a permis de présenter une vue d'ensemble des ressources en eau du pays, en mettant en lumière leur diversité et leur distribution géographique, ainsi que les défis majeurs liés à leur gestion durable. L'Algérie, un pays avec des ressources en eau limitées et réparties de manière inégale, se trouve confrontée à des enjeux importants en matière de gestion de l'eau, notamment en raison de la croissance démographique rapide, de

l'urbanisation, du changement climatique et des besoins croissants en eau pour l'agriculture, l'industrie et l'énergie.

Les ressources en eau de l'Algérie se divisent en eaux de surface, eaux souterraines, et eaux non conventionnelles, chacune ayant ses propres spécificités et défis. Les eaux de surface, principalement issues des rivières et des barrages, représentent une ressource importante mais vulnérable à la variabilité climatique. Les eaux souterraines, bien qu'abondantes dans certaines régions, sont souvent non renouvelables et présentent des risques d'épuisement, surtout dans les zones sahariennes. Les eaux non conventionnelles, comme l'eau dessalée et l'eau issue du recyclage, sont en pleine expansion et offrent de nouvelles perspectives pour pallier la pénurie.

La répartition géographique des ressources en eau est inégale, avec une concentration des ressources dans les régions côtières et du nord, tandis que les régions sahariennes souffrent d'une pénurie d'eau persistante. La variabilité climatique et les changements climatiques exacerbent ces inégalités, créant des périodes de sécheresse prolongées qui affectent la disponibilité de l'eau. La gestion de ces ressources doit donc être adaptée à ces disparités géographiques.

La demande en eau en Algérie est en constante augmentation, en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation rapide, et des besoins croissants en eau pour l'agriculture, l'industrie, et l'énergie. L'agriculture reste le plus grand consommateur d'eau, mais les secteurs industriels et énergétiques exercent également une pression significative sur les ressources en eau. Les défis liés à la gestion de cette demande sont multiples, incluant l'inefficacité des réseaux de distribution, l'agriculture peu efficiente, et la nécessité d'adopter des solutions plus durables pour répondre aux besoins des différents secteurs.

L'Algérie a mis en place plusieurs politiques et stratégies pour améliorer la gestion des ressources en eau, telles que la Politique Nationale de l'Eau, le Plan National d'Action pour la Gestion Durable de l'Eau, et la stratégie nationale de dessalement. Ces politiques visent à optimiser l'utilisation des ressources en eau, à développer de nouvelles sources d'approvisionnement, et à promouvoir l'efficacité de l'utilisation de l'eau à tous les niveaux. Cependant, la mise en œuvre de ces stratégies nécessite une coordination efficace et une attention particulière aux zones les plus vulnérables, comme les régions sahariennes.

Le pays fait face à des enjeux considérables pour garantir une gestion durable des ressources en eau. Cela inclut la nécessité de réformer la gestion des ressources en eau, d'améliorer les infrastructures hydrauliques, et de promouvoir une utilisation plus efficace de l'eau à travers des techniques modernes, telles que l'irrigation goutte-à-goutte, le dessalement, et la réutilisation des eaux usées. L'Algérie devra également renforcer la gouvernance de l'eau pour garantir l'équité d'accès à l'eau pour toutes les populations, en particulier dans les zones rurales et désertiques.

En conclusion, bien que l'Algérie soit confrontée à des défis importants en matière de gestion des ressources en eau, elle dispose également d'opportunités pour surmonter ces obstacles. Le pays doit continuer à développer des solutions innovantes, renforcer la coopération entre les différents acteurs, et mettre en place des stratégies de gestion de l'eau plus efficaces pour assurer un avenir durable pour ses ressources en eau. Il est impératif de poursuivre les efforts pour équilibrer la demande croissante en eau avec la capacité de gestion des ressources, tout en intégrant des pratiques de conservation et de gestion plus durables

Chapitre II :

Généralités sur le dessalement de l'eau de mer en Algérie

2.1 Le contexte hydrique en Algérie

2.1.1 Rareté des ressources en eau douce

Disponibilité par habitant : L'Algérie est classée parmi les pays en situation de stress hydrique sévère, avec une disponibilité moyenne annuelle en eau douce inférieure à 500 m³ par habitant, bien en dessous du seuil critique de 1 000 m³/habitant/an.

Mobilisation des ressources : Sur un potentiel mobilisable d'environ 10 milliards de m³/an, seulement 60 % proviennent des eaux de surface, 35 % des eaux souterraines et 5 % du recyclage des eaux usées.

Capacité des barrages : En 2024, les capacités de mobilisation des barrages atteindront près de 9 milliards de m³, grâce à la mise en service de cinq nouveaux barrages, portant le nombre total à 85.

2.1.2 Répartition géographique des ressources

Concentration des ressources : Environ 90 % des eaux de surface sont situées dans la région du Tell, qui ne couvre que 4 % du territoire national, accentuant les disparités régionales en matière d'accès à l'eau.

Inégalités régionales : Les régions du Sud et des Hauts Plateaux, représentant une grande partie du territoire, souffrent d'un déficit hydrique chronique, aggravé par des précipitations faibles et irrégulières. [05]

2.1.3 Besoins croissants en eau potable

Demande en augmentation : La consommation en eau potable et industrielle est estimée à environ 5 milliards de m³/an, alors que la mobilisation actuelle est à peine de 2 milliards de m³, nécessitant des efforts supplémentaires pour combler le déficit.

Répartition de la consommation : La répartition des ressources hydriques est de 55 % pour l'agriculture, 34 % pour l'alimentation en eau potable et 11 % pour l'industrie.

Face à ces défis, l'Algérie a entrepris des investissements massifs dans le dessalement de l'eau de mer pour diversifier ses sources d'approvisionnement et répondre à la demande croissante.

2.2 Historique du dessalement en Algérie

2.2.1 Premières installations

Le dessalement de l'eau de mer en Algérie remonte à l'époque post-indépendance, une période où l'industrialisation du pays – notamment dans le secteur de l'énergie – exigeait des volumes d'eau importants, souvent indisponibles localement. Le recours au dessalement était alors justifié par des besoins spécifiques, principalement industriels, et non par des nécessités d'approvisionnement en eau potable pour la population.

1964 : Première unité de dessalement à Arzew La toute première installation de dessalement en Algérie a été mise en service en 1964 dans la zone industrielle d'Arzew, située près d'Oran, un pôle pétrochimique majeur.

Procédé utilisé : distillation à effets multiples (MED – Multiple Effet Distillation), une technologie thermique adaptée aux zones disposant d'énergie bon marché.

Capacité : 576 m³/jour, utilisée exclusivement pour les besoins en eau déminéralisée des installations industrielles locales.

Objectif : alimenter les raffineries et complexes pétrochimiques qui nécessitaient de l'eau de haute qualité, difficile à obtenir dans une région aride.

1969 : Renforcement de la capacité à Arzew (Face à l'augmentation de la demande industrielle, une deuxième unité de dessalement a été installée à Arzew en 1969)

Procédé : distillation multi-étagée (MSF – Multi Stage Flash), plus robuste et adaptée aux installations de grande échelle. Capacité : 4 560 m³/jour. Cette station est restée en service pendant plusieurs décennies et a marqué le début de la spécialisation algérienne dans les procédés thermiques.

Contexte énergétique favorable: À cette époque, le coût de l'énergie était relativement bas en Algérie, ce qui permettait d'utiliser les procédés thermiques, très énergivores, sans contrainte majeure.

1970–2000 : Période de stagnation, mais quelques projets localisés

Entre 1970 et 2000, le développement du dessalement en Algérie reste limité et localisé. Aucune politique nationale structurée n'était encore en place. Toutefois, certaines unités de petite capacité ont été mises en place pour des usages spécifiques :

Unités de dessalement dans des bases de vie pétrolières au Sahara (utilisant souvent l'osmose inverse pour les eaux saumâtres locales). Expérimentations dans les installations de Sonatrach (comme à Hassi Messaoud ou In Amenas), avec des unités compactes produisant de l'eau pour usage domestique ou technique. Malgré cela, le dessalement n'était pas envisagé comme une solution stratégique au stress hydrique

national. Les pouvoirs publics privilégiaient à cette époque la construction de barrages, le captage de nappes phréatiques et les transferts interbassins.

Capacité nationale en 2020 :

Nombre total de stations : 11 grandes stations principales en service.

Capacité cumulée : environ 2,3 millions de m³/jour.

Part de l'eau potable nationale couverte : près de 17 à 20 %, selon les régions.

Contexte de crise (2020–2021) À partir de 2020, l'Algérie subit une sécheresse historique, accompagnée d'une baisse significative du niveau des barrages (certains remplis à moins de 20 %).

Des pénuries d'eau potable sont signalées dans plusieurs grandes villes : Alger, Tizi-Ouzou, Blida, Oran... . Le gouvernement déclare une urgence hydrique nationale.

Réaction de l'État : stratégie de dessalement 2021–2030 (En 2021, le gouvernement lance un plan d'urgence pour renforcer la sécurité hydrique du pays à travers) :

La construction de nouvelles stations de dessalement, L'entretien et modernisation des stations existantes, La réduction de la dépendance aux eaux de surface (barrages).

Objectif à court terme (2025) : atteindre 3,8 millions de m³/jour de capacité de dessalement.

Objectif à moyen terme (2030) : atteindre 60 % de couverture des besoins en eau potable par dessalement.

2.2.2 Évolution des capacités de production au fil des années

Face à l'aggravation du stress hydrique et à l'augmentation de la demande en eau potable, l'Algérie commence à généraliser l'usage du dessalement à partir des années 2000.

En 2007, la première station de dessalement par osmose inverse est mise en service à Boumerdès. Ce procédé, plus économique que les méthodes thermiques, permet de produire de l'eau potable à grande échelle.

Le tournant décisif arrive en 2014 avec la mise en service de la méga-station de Magtaa (Oran), dotée d'une capacité impressionnante de 500 000 m³/jour, ce qui en fait la plus grande d'Afrique à cette date.

En 2025, l'Algérie compte 19 stations de dessalement opérationnelles, réparties principalement sur la façade littorale. La capacité nationale atteint alors 3,7 millions de m³/jour, ce qui couvre environ 42 % des besoins nationaux en eau potable.

Analyse : Cette évolution témoigne d'une volonté politique claire d'intégrer le dessalement comme pilier de la sécurité hydrique du pays.

2.2.3 Évolution des capacités de production au fil des années

Face à l'aggravation du stress hydrique et à l'augmentation de la demande en eau potable, l'Algérie commence à généraliser l'usage du dessalement à partir des années 2000.

En 2007, la première station de dessalement par osmose inverse est mise en service à Boumerdès. Ce procédé, plus économique que les méthodes thermiques, permet de produire de l'eau potable à grande échelle.

Le tournant décisif arrive en 2014 avec la mise en service de la méga-station de Magtaa (Oran), dotée d'une capacité impressionnante de 500 000 m³/jour, ce qui en fait la plus grande d'Afrique à cette date.

En 2025, l'Algérie compte 19 stations de dessalement opérationnelles, réparties principalement sur la façade littorale. La capacité nationale atteint alors 3,7 millions de m³/jour, ce qui couvre environ 42 % des besoins nationaux en eau potable.

Tableau.II.01 : les principales stations de dessalement en Algérie, de 1964 à aujourd'hui, [06]

N°	Nom / Localisation de la station	Année de mise en service	Technologie	Capacité (m ³ /j)
1	Arzew (première unité)	1964	Distillation thermique	~3000 (expérimental)
2	Skikda (ancienne unité)	1970s	Thermique	Données limitées
3	Tamentit (Adrar)	2001	Osmose inverse	5 000
4	Hassi Messaoud	2002	Osmose inverse	6 000
5	Tipaza (Fouka)	2008	Osmose inverse	120 000
6	Beni Saf	2008	Osmose inverse	200 000
7	Skikda (nouvelle station)	2009	Osmose inverse	100 000
8	El Hamma (Alger)	2008	Osmose inverse	200 000
9	Ténès	2011	Osmose inverse	200 000
10	Kahrama (Arzew)	2009	Osmose inverse	500 000
11	Souk Tleta (Tlemcen)	2011	Osmose inverse	200 000

12	Cap Djinet (Boumerdès)	2011	Osmose inverse	100 000
13	Mostaganem	2010	Osmose inverse	200 000
14	Tighremt (Béjaïa)	En projet (redémarrage)	Osmose inverse	100 000 (prévu)
15	Zéralda	2022 (réhabilitation)	Osmose inverse	10 000
16	Palm Beach (Staoueli)	2022	Osmose inverse	10 000
17	Bateau Cassé (Aïn Benian)	2022	Osmose inverse	10 000
18	El Marsa (Alger)	2023	Osmose inverse	10 000
19	Corso (Boumerdès)	2023	Osmose inverse	80 000
20	El Tarf (Grand projet stratégique)	En cours de réalisation	Osmose inverse	300 000 (prévu)

2.2.4 Grands projets réalisés ou en cours

Pour consolider cette stratégie, les autorités algériennes ont lancé une série de projets ambitieux : En 2025, quatre grandes stations sont mises en service : El Tarf (Koudiet Draouche), Boumerdès (Cap Djinet), Tipaza (Fouka), Oran (Cap Blanc), chacune avec une capacité de 300 000 m³/jour. Entre 2026 et 2030, six nouvelles stations sont prévues dans les wilayas de : Skikda, Jijel, Tizi Ouzou, Chlef, Mostaganem, et Tlemcen. Chaque nouvelle station aura également une capacité de 300 000 m³/jour, permettant ainsi de porter la capacité totale du pays à 5,8 millions de m³/jour.

Objectif national : Couvrir 60 % des besoins en eau potable par dessalement d'ici 2030, et réduire la dépendance aux ressources conventionnelles, soumises à la variabilité climatique.

L'Algérie est devenue un acteur majeur du dessalement dans la région méditerranéenne. Cette orientation stratégique s'est construite sur plusieurs décennies, passant d'une solution industrielle à un pilier national de l'approvisionnement en eau potable. Le développement rapide et ambitieux des infrastructures de dessalement montre une volonté d'anticiper les défis de pénurie d'eau liés au changement climatique et à la pression démographique.

Tableau.II.02 : Projets de stations de dessalement en Algérie (2025–2030) . [07]

N°	Localisation prévue	État du projet	Mise en service prévue	Technologie	Capacité prévue (m³/j)
1	El Tarf	En construction	Fin 2025	Osmose inverse	300 000
2	Bejaïa (Tighremt)	Projet relancé	2026	Osmose inverse	100 000
3	Annaba	Nouvelle station	2026–2027	Osmose inverse	200 000
4	Béchar	Étude en cours	2027	Osmose inverse	50 000
5	Oran II (extension)	En planification	2026	Osmose inverse	300 000
6	Mostaganem II (extension)	Programmée	2027	Osmose inverse	200 000
7	Ain Témouchent	En étude	2027–2028	Osmose inverse	100 000
8	Tizi Ouzou (côte est)	Projet annoncé	2028	Osmose inverse	50 000 – 80 000
9	Cherchell (Tipaza)	Études préliminaires	2028–2029	Osmose inverse	100 000
10	Alger Est (grande station)	Projet stratégique	2029–2030	Osmose inverse	300 000 – 500 000

2.3. Le recours au dessalement comme solution stratégique

Face à une situation de stress hydrique chronique, l'Algérie a fait le choix stratégique de recourir au dessalement de l'eau de mer comme pilier central de sa politique de sécurité hydrique. Ce choix n'est pas simplement technique, mais répond à des enjeux économiques, environnementaux et sociaux majeurs.

2.3.1 Justification du choix du dessalement

L'Algérie se caractérise par :

- Une rareté structurelle des ressources en eau douce : seulement 400 m³/hab/an disponibles en moyenne (seuil critique de pénurie = 1 000 m³/hab/an).
- Une répartition géographique déséquilibrée : 80 % de la population vit au nord, mais les ressources en eau douce y sont très limitées.
- Une demande croissante en eau due : (à l'urbanisation rapide, à la croissance démographique, à l'expansion des secteurs agricole et industriel).
- En parallèle, les ressources classiques (barrages, nappes) sont : (Surexploitées, Sensibles aux sécheresses, Polluées dans certaines zones).
- Le dessalement est donc apparu comme une solution fiable et indépendante du climat, permettant : (Une production continue toute l'année, Une proximité avec les grandes villes côtières, Une qualité d'eau maîtrisée).

Tableau.II.03 : Justification du choix du dessalement (Causes/ Conséquences).
[08]

Causes	Conséquences / Justifications
Faible pluviométrie et sécheresses fréquentes	Disponibilité insuffisante d'eau douce renouvelable ; nécessité de sources alternatives.
Répartition inégale des ressources hydriques (Nord vs Sud, zones côtières vs intérieures)	Pression sur les grandes villes côtières ; besoin de produire localement de l'eau potable.
Croissance démographique rapide	Augmentation de la demande en eau potable ; insuffisance des ressources conventionnelles.
Développement économique (industrie, agriculture, tourisme)	Consommation croissante dans tous les secteurs ; conflits d'usage entre secteurs.
Surexploitation des nappes et pollution des eaux de surface	Dégradation de la qualité et de la quantité des ressources traditionnelles.
Disponibilité de l'eau de mer 1 200 km	Avantage géographique.
Amélioration des technologies de dessalement (osmose inverse)	Rendement plus élevé, baisse des coûts, meilleure efficacité énergétique.
Objectif national de sécurité hydrique	Politique proactive de diversification des ressources, incluant le dessalement.

2.3.2 Objectifs nationaux en matière de sécurité hydrique

L'État algérien a intégré le dessalement dans une vision stratégique à long terme, avec des objectifs quantitatifs clairs :

Horizon	Capacité visée (m ³ /jour)	Part de la demande couverte
2025	3,8 millions	≈ 42 % de l'eau potable
2030	5 à 6 millions	≈ 60 % ou plus

Ces objectifs visent à : Réduire la dépendance aux barrages affectés par la variabilité climatique, Alléger la pression sur les nappes souterraines, notamment au nord, Sécuriser l'alimentation des grandes agglomérations (Alger, Oran, Annaba...), Renforcer la résilience hydrique du pays en cas de sécheresse prolongée. [09]

2.3.3 Intégration dans la politique nationale de l'eau

Le dessalement a été intégré de manière formelle dans la Stratégie nationale de l'eau via plusieurs actions :

- Plan d'investissement massif porté par l'État (via l'AEC, l'ADE et les wilayas),
- Loi sur l'eau (n°05-12 de 2005) qui reconnaît le dessalement comme source de mobilisation,
- Partenariats publics-privés (PPP) pour attirer les investisseurs étrangers (ex. GE, Abengoa, Hyflux),
- Création d'une filière technique nationale, avec transfert de compétences en construction, gestion et maintenance.
- Le dessalement est désormais considéré comme un complément durable aux ressources conventionnelles et non plus comme une solution d'appoint.
- Le recours au dessalement en Algérie est un choix stratégique structuré, fondé sur la nécessité de garantir un accès équitable et durable à l'eau potable. En combinant expertise technique, vision politique et engagement financier, l'Algérie s'est positionnée comme un acteur majeur du dessalement en Méditerranée et en Afrique.

2.4. Technologies de dessalement utilisées en Algérie

L'Algérie utilise principalement deux grandes familles de technologies pour le dessalement de l'eau de mer :

- Les procédés membranaires, en particulier l'osmose inverse (RO – Reverse Osmoses)

- Les procédés thermiques, comme MED (Multiple Effet Distillation)

L'évolution du secteur montre une préférence nette pour les technologies membranaires, en raison de leur efficacité, de leur coût réduit et de leur adaptabilité aux besoins nationaux.

2.4.1 Prépondérance de l'osmose inverse (RO)

L'osmose inverse repose sur le passage de l'eau de mer à travers une membrane semi-perméable, sous pression, qui retient les sels dissous.

Avantage :

- Faible consommation énergétique par rapport aux procédés thermiques: 3 à 4 kWh/m³.
- Moins de besoins en chaleur ou vapeur (pas de combustion directe).
- Technologie modulaire : facile à adapter selon les capacités souhaitées.
- Moins coûteuse à l'investissement et à l'exploitation.

Adoption en Algérie :

+95 % des stations de dessalement algériennes utilisent l'osmose inverse.

Exemples : Magtaa, Hamma, Beni Saf, Cap Djinet, El Tarf...

Capacité de traitement cumulée via RO (en 2025) : plus de 3,5 millions de m³/jour.

2.4.2 Autres procédés (MED) : cas rares ou expérimentaux

MED Multiple Effet Distillation

Fonctionne par évaporation multiple sous vide à faible température.

Plus économe que le MSF, mais plus complexe à maintenir. Quelques expérimentations ont été menées (projets pilotes), mais aucune grande station ne l'utilise aujourd'hui en Algérie.

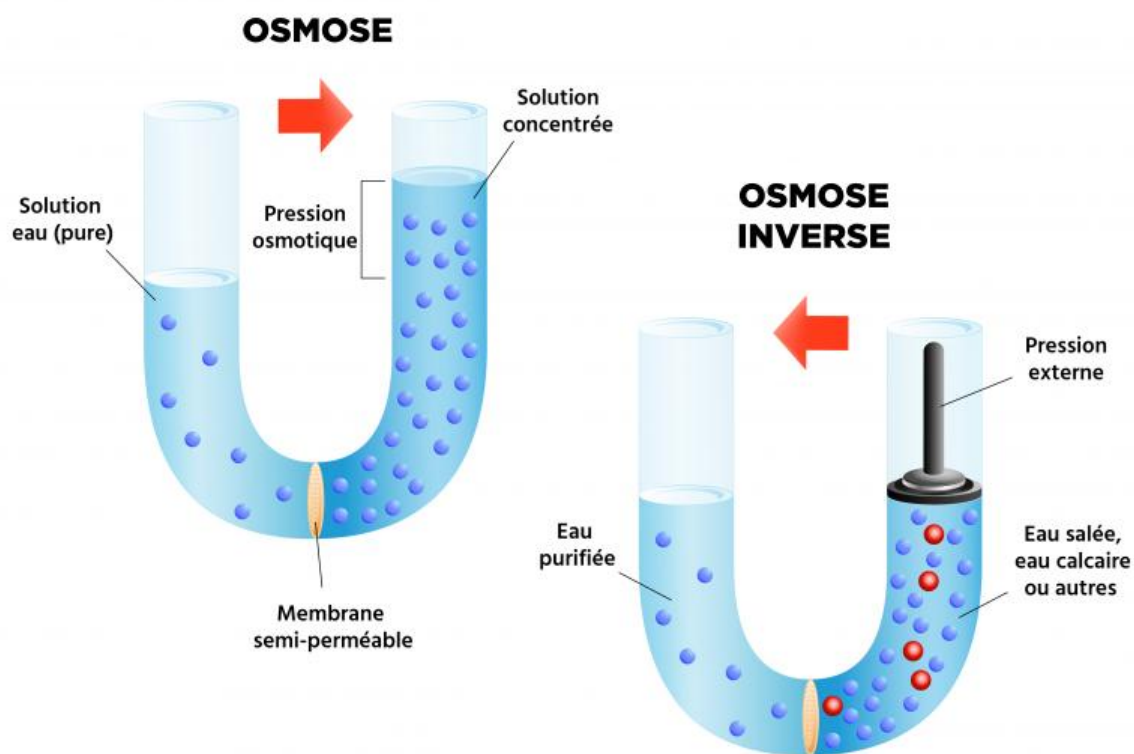


Figure.II.01 : Principe de fonctionnement de l’osmose inverse

Tableau.II.04 : comparaisent des Technologies de dessalement utilisées en Algérie

Critère	Osmose Inverse (RO)	MSF / MED
Coût d’investissement	Moyen	Élevé
Coût d’exploitation	Faible (~0,5 \$/m ³)	Élevé (>1 \$/m ³)
Consommation d’énergie	3–4 kWh/m ³	8–12 kWh/m ³ (MSF)
Complexité technique	Moyenne	Élevée
Adaptabilité locale	Très bonne (zone littorale)	Faible (besoin de vapeur, chaleur)

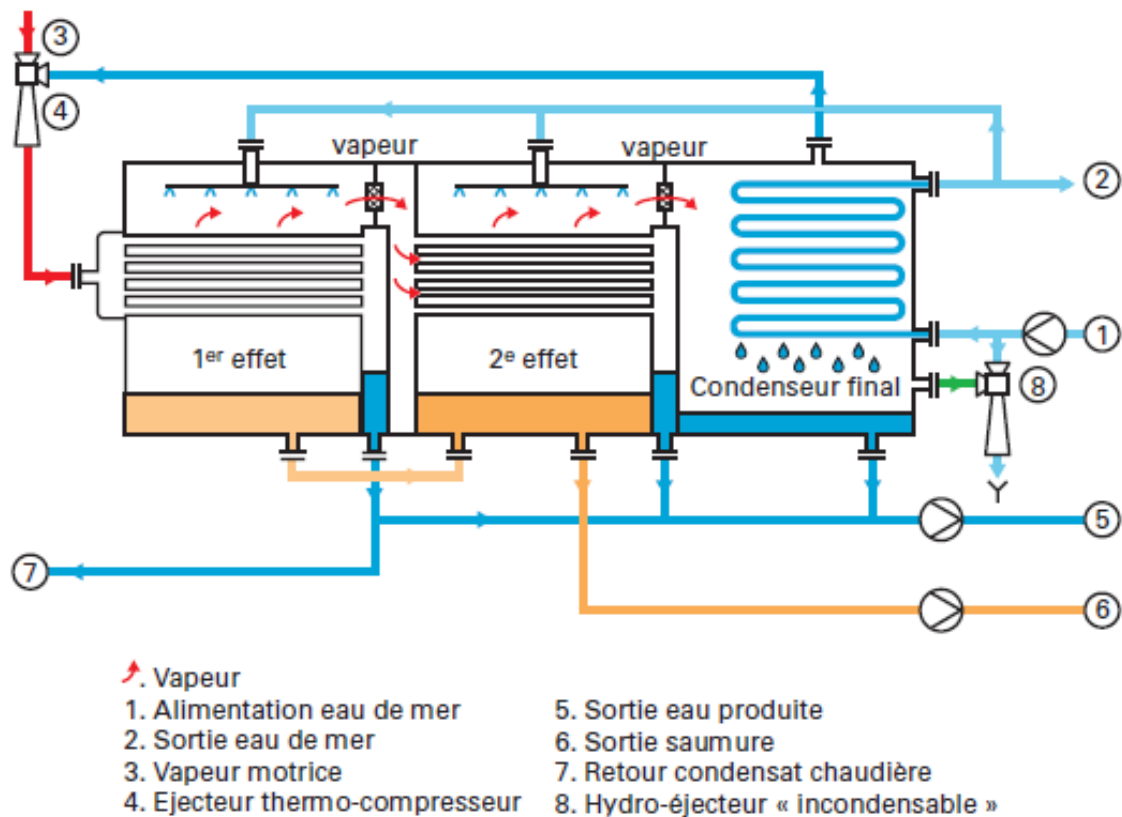


Figure.II.02 : MED deux effets avec thermo compression

2.4.3 Raisons du choix technologique en Algérie :

- Disponibilité des pièces et des compétences techniques locales.
- Moindre dépendance énergétique.
- Facilité de maintenance et modularité pour adapter les unités aux besoins locaux.
- Compatibilité avec les politiques d'efficacité énergétique.
- L'Algérie a fait un choix technologique clair et rationnel : privilégier l'osmose inverse pour son efficacité énergétique, son faible coût et sa facilité de déploiement. Les technologies thermiques (MSF, MED) sont marginales, en raison de leur inadaptation au contexte algérien, notamment en matière de coûts, de ressources énergétiques disponibles et d'infrastructures.

2.5. Cadre institutionnel et gestion du secteur

Le développement du dessalement en Algérie repose sur une organisation institutionnelle structurée, impliquant des acteurs publics nationaux, des opérateurs techniques ainsi que des partenaires étrangers à travers des mécanismes de financement et de gestion déléguée.

2.5.1 Acteurs publics et parapublics :

Tableau.II.05 : Les principaux acteurs publics impliqués dans le dessalement

Organisme	Rôle principal
Ministère de l'Hydraulique	Supervision globale de la stratégie nationale en eau
Algérienne des Eaux (ADE)	Exploitation et distribution de l'eau potable dans les villes et communes
Office National de l'Assainissement (ONA)	Gestion des eaux usées et des réseaux d'assainissement
Algérienne de l'Énergie (AEC)	Promotion, planification et gestion des projets de dessalement (filiale Sonatrach)
Sonatrach / Sonelgaz	Fourniture d'énergie pour les unités (gaz, électricité), implication dans la construction
SEAAL (Alger et Tipaza)	Gestion déléguée de l'eau potable et de l'assainissement (avec Suez, jusqu'en 2021)

- ADE est responsable de la distribution finale de l'eau dessalée aux usagers dans la plupart des wilayas.





Figure.II.03 : logo des principaux acteurs publics impliqués dans le dessalement

2.5.2 Gestion des stations de dessalement

Le modèle de gestion adopté par l'Algérie repose sur :

La gestion publique directe : certaines stations sont exploitées par l'État via l'AEC ou des sociétés publiques (ADE).

La gestion déléguée (PPP) : l'État confie la construction, l'exploitation et la maintenance à des partenaires privés dans le cadre de contrats BOO (Build–Own–Operate).

Avantage des PPP :

- Accès à financements étrangers (BEI, BAD, Fonds arabes...)
- Transfert de savoir-faire et de technologie
- Respect de normes internationales de qualité

Tableau.II.06 : Exemples de sociétés étrangères partenaires dans le dessalement

Société	Pays	Projet(s) concernés
Hyflux	Singapour	Station de Souk Tleta (Annaba)
GS Engineering	Corée du Sud	Station de Kahrama (Arzew)
Abengoa	Espagne	Stations de Hamma (Alger) et Skikda
Suez / SEAAL	France	Gestion de l'eau à Alger et Tipaza (2006–2021)
Befesa Agua	Espagne	Cap Djinet

ABENGOA *Hyflux*[®] **BEFESA**



Figure.II.04: logo des sociétés étrangères partenaires dans le dessalement

2.5.3 Financements et partenariats internationaux

Le secteur bénéficie de plusieurs sources de financement complémentaires :

- Fonds publics de l'État via les programmes quinquennaux.
- Banques de développement : Banque islamique de développement (BID), Banque africaine de développement (BAD).

- Institutions européennes : BEI, KfW, coopération espagnole.
- Contrats BOO/BOT avec retour de propriété à long terme à l'État.

Exemple : la station de Magtaa (Oran), d'une capacité de 500 000 m³/jour, a été construite par Hyundai Engineering en partenariat avec AEC, dans le cadre d'un contrat BOO.

Le cadre institutionnel du dessalement en Algérie repose sur une interaction cohérente entre l'État, les entreprises publiques et les partenaires privés étrangers. Ce modèle permet de mobiliser les ressources financières, techniques et humaines nécessaires au développement rapide de la capacité de dessalement dans un contexte de pression hydrique croissante.

2.6. Conclusion

Face à une pression hydrique croissante due à la rareté des ressources en eau douce, à une répartition géographique inégale et à des besoins croissants en eau potable, l'Algérie a fait le choix stratégique de recourir massivement au dessalement de l'eau de mer.

Depuis les premières installations des années 1960 jusqu'aux grands projets post-2000, le pays a investi dans une infrastructure de dessalement moderne, évolutive et diversifiée, centrée principalement sur la technologie de l'osmose inverse (RO). Ces stations sont principalement situées sur le littoral, là où se concentre plus de 70 % de la population.

Le secteur est géré par une structure institutionnelle bien définie, impliquant à la fois des acteurs publics nationaux (ADE, AEC, Sonatrach, SEAAL) et des partenariats étrangers apportant expertise et financement.

Cependant, le développement du dessalement en Algérie reste confronté à plusieurs défis majeurs, notamment :

- (Le coût énergétique élevé des procédés, Les impacts environnementaux des rejets de saumure et des émissions de CO₂, Le besoin de maintenance spécialisée et de compétences techniques nationales).

Ces défis exigent une approche durable, fondée sur l'innovation, l'optimisation énergétique, la planification stratégique et la montée en compétence des ressources humaines locales. Le dessalement ne doit pas être vu comme une solution isolée, mais comme un levier complémentaire au sein d'une politique intégrée de gestion de l'eau en Algérie.

Chapitre III :
Fonctionnement de la station de
dessalement de Fouka

3.1. Introduction

Face à la raréfaction croissante des ressources en eau douce en Algérie, le dessalement de l'eau de mer s'impose comme une solution stratégique pour assurer la sécurité hydrique du pays. La station de dessalement de Fouka, mise en service dans ce contexte, constitue un exemple concret d'infrastructure moderne dédiée à la production d'eau potable à partir de l'eau de mer. Ce chapitre a pour objectif de présenter en détail le fonctionnement de cette station, en mettant en lumière ses différentes composantes techniques, le procédé de dessalement par osmose inverse qui y est employé, ainsi que les étapes successives de traitement et de distribution de l'eau. À travers cette étude de cas, nous chercherons à comprendre les choix technologiques adoptés, leur efficacité, ainsi que les défis opérationnels liés à l'exploitation d'une telle installation en Algérie.

3.2. La Présentation géographique et environnementale de la station Fouka 1 :

1. Localisation géographique

- Implantée dans la commune de Fouka (wilaya de Tipaza), au nord-est de Tipaza et à environ 35 km au sud-ouest d'Alger. Coordonnées : 36.7543 N, 3.0672 E .

2. Contexte topographique et environnement local

La commune s'étend sur 15,86 km², avec une altitude variant de 0 m à 230 m (falaise côtière) .

Le site est dominé par une falaise de ~130 m surplombant une bande agricole côtière d'environ 300 m de large.

Aucun cours d'eau important ne traverse la zone ; le littoral repose donc entièrement sur le prélèvement marin pour l'usine.

3. Superficie de la station

La station Fouka 1 se développe sur 10 ha (quartier Haï Mouaz) La commune dans son ensemble couvre 15,86 km², mais l'installation proprement dite occupe une fraction de cette surface

4. Capacité et distribution de l'eau produite

- Capacité nominale : 120 000 m³/j (osmose inverse).

- Répartition : 60 000 m³/j pour Alger, 60 000 m³/j pour Tipaza.

- Lancement de l'exploitation partielle en août 2011 : 20 000 m³/j distribués aux communes de Koléa et Fouka.
- À pleine capacité, l'installation dessert 17 communes, pour 476 372 habitants répartis entre Tipaza et Alger.

5. Aspects financiers et opérationnels

- Coût d'investissement estimé à 180 M USD (> 180 M \$) ou 900 M DA, financé à 80 % localement via CPA, le reste par AEC, SNC-Lavalin et Acciona Agua.
- Production vendue pendant 25 ans à Sonatrach et à l'ADE à un tarif de 54 DA/m³.

6. Exploitants et mode de gestion

- Conçue, construite et exploitée par Myah Tipaza, consortium formé entre AEC (filiale de Sonatrach/Sonelgaz) et les firmes SNC-Lavalin (Canada) et Acciona Agua (Espagne) via un modèle BOO (Build-Own-Operate)
- Technologie utilisée : osmose inverse, un des procédés les plus répandus pour le dessalement

7. Enjeux environnementaux

- Installation en bord de mer sur une falaise, avec rejets salins dans la Méditerranée ; l'absence de cours d'eau naturels accentue la contrainte écologique.
- La proximité des exploitations agricoles (bande de 300 m) et l'absence de rivière exigent une gestion prudente des rejets salins et une surveillance environnementale stricte.

8. Données de comparaison nationale

- Fouka 1 (120 000 m³/j) compte parmi les plus grandes stations algériennes ; à titre de référence, l'usine d'Arzew produisait 90 000 m³/j et celle de Cap Djinet 100 000 m³/j en 2019.
- En 2019, l'Algérie exploitait environ 25 usines de dessalement, avec une production globale couvrant 42 % de l'eau consommée.



Figure .III.01: Certains équipements utilisés dans le processus de dessalement de l'eau de mer.

3.3. Schéma global de traitement de la station de dessalement de Fouka 1

Le processus de dessalement mis en œuvre à la station de Fouka 1 repose sur la technologie de l'osmose inverse, une méthode efficace pour séparer le sel de l'eau de mer afin de produire de l'eau potable. Le schéma de traitement adopté suit une chaîne d'étapes techniques soigneusement ordonnées, visant à garantir la qualité de l'eau, la protection des équipements et l'optimisation énergétique. [10]

Étapes principales du traitement :

Captage de l'eau de mer

- L'eau est prélevée via une prise en mer installée à environ 1 000 mètres du rivage.
- Deux canalisations d'adduction assurent l'acheminement continu vers la station, équipées de grilles pour bloquer les gros débris.

Prétraitement

- Cette étape est essentielle pour éliminer les particules, les algues, les sédiments et les micro-organismes qui risqueraient d'endommager les membranes. Elle comprend :
 - Filtration sur tamis (grille grossière et fine) - Flocculation / coagulation
 - Filtration sur sable - Dosage d'anti-scalants pour prévenir les dépôts de calcaire

Dessalement par osmose inverse

- L'eau est mise sous pression (60 à 70 bars) à l'aide de pompes haute pression.
- Elle traverse ensuite des membranes semi-perméables en spirale (modules RO).
- Rendement typique : 45 à 50 % (pour 100 litres d'eau de mer, 45 à 50 litres d'eau douce sont récupérés, le reste est rejeté sous forme de concentrât).

Post-traitement et reminéralisation

- L'eau dessalée, trop pure, est agressive pour les conduites et peu agréable au goût.
- Elle est reminéralisée par ajout contrôlé de carbonate de calcium et CO₂ ou hydroxyde de calcium, pour rétablir un pH neutre et une dureté adéquate.
- Une désinfection finale est réalisée à l'aide de chlore ou hypochlorite de sodium.

Stockage et distribution

- L'eau est stockée dans des réservoirs tampon avant d'être injectée dans les réseaux de distribution d'Alger et de Tipaza.
- La station alimente 17 communes, soit environ 476 000 habitants.

Gestion des rejets

- La saumure (eau résiduelle concentrée en sel) est rejetée en mer via un émissaire marin équipé d'un diffuseur.
- Des mesures de dispersion sont appliquées pour réduire l'impact sur l'écosystème marin.

3.4. Prélèvement et acheminement de l'eau de mer

Le captage de l'eau de mer est une étape critique du processus de dessalement. Il conditionne la qualité de l'eau brute, la stabilité du fonctionnement des unités de traitement et l'impact environnemental du projet. [11]

Localisation du captage

L'eau de mer est prélevée directement dans la mer Méditerranée, à environ 1 000 mètres au large du littoral de Fouka.

La prise d'eau est immergée à une profondeur de 7 à 10 mètres, dans une zone où la qualité de l'eau est relativement stable et exempte de pollution côtière directe.

Type de système de captage

Le système de captage est de type ouvert (intake marin) :

Deux canalisations en PEHD (polyéthylène haute densité) de grand diamètre (1 600 mm chacune) acheminent l'eau jusqu'à la station.

Les extrémités en mer sont équipées de grilles filtrantes pour empêcher l'entrée de gros débris, algues, poissons et autres macro-organismes.

Mesures de protection et sécurité de captage

Pour éviter l'envasement ou les problèmes liés à l'accumulation de matières organiques :

- Des grilles à fentes en acier inoxydable sont installées au niveau de l'entrée.
- Des dispositifs de rinçage périodique à l'air comprimé peuvent être utilisés pour le nettoyage.
- L'eau est aspirée avec une vitesse contrôlée ($< 0,15$ m/s) pour limiter l'aspiration de plancton et protéger l'écosystème marin.

Débit et pompage

Le débit brut capté est d'environ 270 000 m³/j, soit plus du double de la production d'eau potable, afin de compenser :- les pertes dans les filtres, les volumes rejetés (saumures), et les besoins de lavage des membranes. L'eau est acheminée vers des bassins tampons ou prétraitements via des stations de pompage intermédiaires haute capacité.

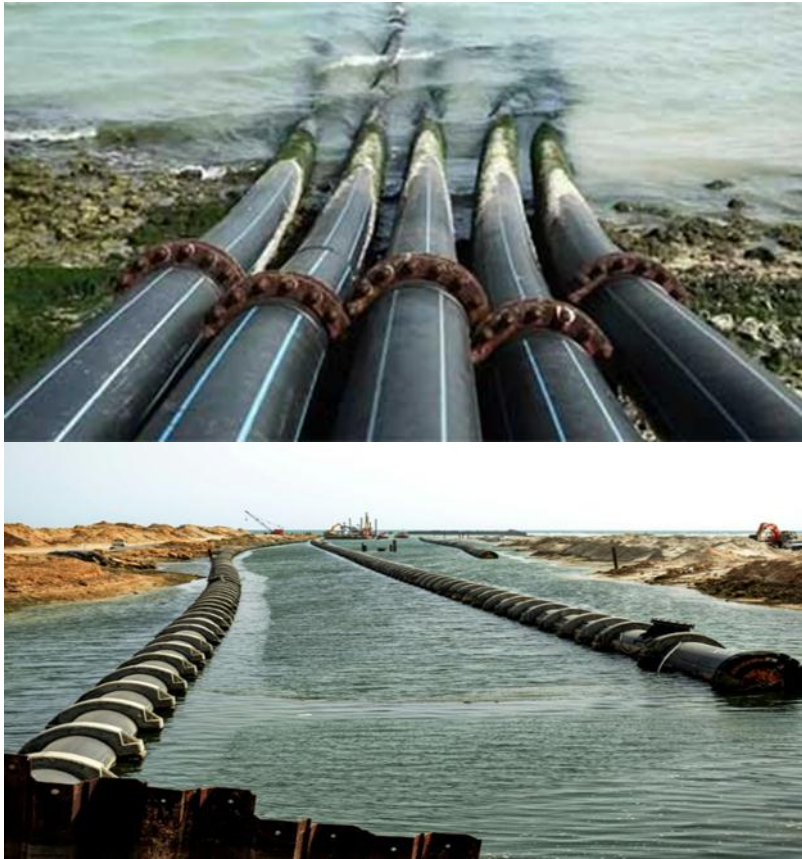


Figure .III.02: Exemple de canalisations de captage de l'eau de mer



Figure .III.03: Le dé-grilleurs de la station de pompage

5. Contexte environnemental

- La zone de captage est située en dehors des zones de baignade et loin des sources de pollution anthropique (portuaire, industrielle).
- Aucune rivière ni rejet urbain ne se jette dans la mer à proximité immédiate, ce qui garantit une bonne qualité d'eau d'entrée.
- Les études d'impact ont évalué et validé que le captage n'affecte pas significativement la faune benthique (vivant sur les fonds marins).
- Ce système d'adduction assure un apport stable, continu et sécurisé d'eau de mer brute à l'installation, conditionnant l'efficacité et la durabilité de l'ensemble de la chaîne de dessalement.

6. Impacts écologiques du captage marin : approche scientifique

Le captage de l'eau de mer par des installations de dessalement peut entraîner plusieurs impacts écologiques sur les écosystèmes marins littoraux. Bien que le système de captage de la station de dessalement de Fouka 1 soit de type ouvert, il a été conçu de manière à minimiser l'effet d'aspiration sur la biodiversité marine. Le principal risque écologique réside dans l'entraînement d'organismes vivants, en particulier du plancton, des larves de poissons et des petits invertébrés benthiques, qui peuvent être aspirés dans les conduites et détruits dans les étapes de traitement.

L'aspiration contrôlée à faible vitesse ($< 0,15$ m/s) permet de réduire l'effet d'aspiration létale directe sur les espèces mobiles. De plus, les grilles à fentes fines et les dispositifs de préfiltration mécanique installés à l'entrée du système permettent d'éliminer les organismes de grande taille et les débris. Des études d'impact menées lors de la conception du projet ont confirmé que la zone de prélèvement est exempte d'habitats sensibles, comme les herbiers de Posidonie ou les zones de reproduction de poissons commerciaux, ce qui limite les perturbations sur les chaînes trophiques locales.

Cependant, des effets indirects sont possibles, notamment par modification locale de la dynamique sédimentaire ou perturbation temporaire du micro habitat benthique autour de la prise d'eau. Pour y répondre, un suivi environnemental périodique est recommandé, incluant des campagnes d'échantillonnage de la faune marine, de la turbidité et de la qualité de l'eau dans la zone de captage. Ce suivi permet d'assurer que l'activité de la station reste compatible avec la préservation des équilibres écologiques marins à long terme.

3.5. Prétraitement de l'eau de mer

Le prétraitement est une phase essentielle dans le processus de dessalement par osmose inverse. Il permet de conditionner l'eau de mer brute avant son passage à travers les membranes, afin d'assurer leur longévité et d'éviter les phénomènes d'encrassement (biofouling, colmatage, précipitation minérale). À la station de Fouka 1, ce prétraitement est conçu pour traiter un débit brut de 270 000 m³/j, soit plus du double de la capacité de production nominale, afin de compenser les pertes et d'assurer un fonctionnement optimal. [12]

Objectifs du prétraitement

- Réduction des matières en suspension (sables, limons, algues)
- Élimination des colloïdes, plancton et micro-organismes
- Protection des membranes d'osmose inverse
- Prévention du colmatage et du scaling (dépôts minéraux)

Étapes du prétraitement à Fouka 1

- Filtration mécanique sur grilles et tamis
- Dès l'arrivée de l'eau de mer, des grilles de 10 mm puis des tamis fins de 3 à 5 mm éliminent les gros débris flottants, coquillages, algues, méduses, etc.
- Ces étapes protègent les pompes et équipements en aval.



Figure .III.04: Le dé-grilleurs de la station de pompage Filtration mécanique sur grilles et tamis

Coagulation-floculation

- Injection d'un coagulant chimique (généralement du chlorure ferrique ou de l'alun) pour agglomérer les particules fines et colloïdes.
- Un agent polymère peut être ajouté pour renforcer l'agglomération (floculation).
- Cette étape facilite la séparation des matières lors de la filtration suivante.



Figure .III.05: Réservoirs des produits chimiques

Filtration sur lit de sable (ou media filtrant dual)

- L'eau coagule est ensuite filtrée à travers des filtres à sable multilayer de grande dimension.
- Taux de filtration : 10 à 15 m³/h/m².
- Cette étape permet d'éliminer jusqu'à 95 % des matières en suspension et réduit significativement la turbidité (< 0,5 NTU).

Filtration sur cartouches

- Avant l'entrée dans les membranes, l'eau subit une ultra-filtration sur cartouches de 5 µm, puis 1 µm, pour éliminer les dernières particules.
- Ces filtres sont souvent en polypropylène ou fibre de verre.



Figure .III.06: Le filtre à sable



Figure .III.07: Les filtres à cartouches

Injection d'anti-scalants

- Des produits chimiques anti-tartre sont ajoutés pour empêcher la précipitation du carbonate de calcium, sulfate de baryum, silice, etc.
- Exemple : phosphonates ou acide citrique.

Pré-désinfection (si nécessaire)

- En cas de risque biologique élevé (eaux chaudes, prolifération d'algues), un traitement au chlore peut être appliqué.
- Toutefois, le chlore est neutralisé avant l'osmose inverse (avec du bisulfite de sodium) pour ne pas endommager les membranes.

Tableau.III.01 : Performance attendue . [13]

Paramètre	Eau brute (entrée)	Après prétraitement
Turbidité	2 – 5 NTU	< 0,5 NTU
Teneur en MES	~10 – 50 mg/L	< 2 mg/L
Colloïdes (SDI15)	5 – 8	< 3
Débris organiques	Élevés (variable)	Faibles

- Le prétraitement mis en œuvre à Fouka 1 est robuste, adapté aux conditions locales et conforme aux standards internationaux. Il permet de maximiser la durée de vie des membranes d'osmose inverse (jusqu'à 5 à 7 ans) tout en réduisant les coûts d'exploitation liés au nettoyage et à la maintenance.

3.6. Le procédé d'osmose inverse

L'osmose inverse (OI) constitue le cœur du processus de dessalement de la station de Fouka 1. Il s'agit d'une technologie membranaire de haute performance qui permet de séparer les sels dissous de l'eau de mer à travers des membranes semi-perméables, en utilisant une pression supérieure à la pression osmotique naturelle.

Principe de fonctionnement

L'eau de mer est mise sous pression (60 à 70 bars), puis dirigée vers des membranes d'osmose inverse qui permettent le passage des molécules d'eau, tout en retenant les sels dissous, les ions, les métaux lourds, les bactéries et les virus. [15]

- Taille de pores des membranes : environ 0,0001 micromètre
- Taux de réjection des sels : supérieur à 99,5 %
- Types de membranes : membranes spirales (spiral-wound) en polyamide composite

Configuration technique à Fouka 1

- Nombre de trains de traitement : environ 14 trains d'OI indépendants
- Modules membranaires : plus de 7 000 modules installés
- Pression appliquée : 65 à 70 bars
- Rendement de récupération : 45 à 50 %
- Pour 100 litres d'eau de mer, environ 45 à 50 litres d'eau douce sont produits.
- Production moyenne par train : environ 8 500 m³/j

Tableau.III.02 : Paramètres de performance typiques . [14]

Paramètre	Valeur moyenne
Salinité de l'eau brute	~38 000 – 40 000 mg/L
Salinité de l'eau produite	< 500 mg/L
pH d'entrée dans les membranes	6,5 – 7,5
Température de fonctionnement	20 – 30 °C
Taux de conversion global	45 – 50 %
Consommation énergétique spécifique	3,5 – 4,0 kWh/m ³

Avantages du procédé OI

Très haute efficacité de dessalement

Réduction maximale des contaminants (même traces de polluants organiques)

Fonctionnement automatisé et modulaire

Moins d'impact environnemental que l'évaporation (pas de rejets thermiques)

Contraintes techniques

- Encrassement des membranes (biofouling, scaling)
- Coûts de remplacement élevés (cycle de vie de 5 à 7 ans)
- Nécessité d'une eau parfaitement prétraitée
- Rejets concentrés (brine) riches en sels et produits chimiques

Exemple de calcul

Pour produire 120 000 m³/jour d'eau potable :

Il faut capter environ 270 000 m³/jour d'eau de mer.

La partie rejetée sous forme de saumure (non dessalée) est donc d'environ 150 000 m³/jour.



Figure .III.08: les membranes (OS)

3.7. Post-traitement et distribution de l'eau dessalée

Une fois l'eau de mer traitée par osmose inverse, elle est purifiée mais aussi très faiblement minéralisée et légèrement acide. Pour répondre aux normes de potabilité et assurer une stabilité chimique et microbiologique, un post-traitement est indispensable avant la distribution vers les réseaux publics.

Objectifs du post-traitement

- Reminéralisation de l'eau pour corriger son agressivité chimique
- Stabilisation du pH
- Désinfection finale pour garantir l'innocuité bactériologique
- Conformité aux normes de l'OMS et de l'ADE

Étapes du post-traitement à Fouka 1

Reminéralisation (correction de la dureté et alcalinité)

- Injection de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ou passage à travers des filtres calcaires (CaCO_3) pour augmenter la dureté.
- Adjonction éventuelle de CO_2 pour ajuster le pH et équilibrer l'alcalinité.
- Objectif : obtenir une eau avec une dureté totale de 100 à 120 mg/L (en CaCO_3) et un pH entre 7,0 et 8,5.



Figure .III.09: Bâtiment de CO2

Désinfection finale

- Injection de chlore gazeux ou d'hypochlorite de sodium à faible dose (0,2 à 0,5 mg/L) pour assurer une protection résiduelle jusqu'au consommateur.
- Ce traitement permet d'éliminer tout germe pathogène éventuellement présent après l'OI ou dans les réservoirs.

Stockage intermédiaire

- L'eau traitée est stockée dans des réservoirs tampon d'une capacité de 10 000 à 15 000 m³, permettant de réguler le débit et d'assurer la continuité de la distribution en cas de maintenance.

Distribution de l'eau dessalée

- La station de Fouka 1 alimente en priorité les wilayas de Tipaza et d'Alger, notamment les zones à forte pression démographique.
- L'eau est injectée dans le réseau public d'ADE, via des conduites principales à haute pression.
- Les débits de distribution journaliers peuvent atteindre 120 000 m³/j, avec possibilité d'augmentation en cas de demande exceptionnelle.
- Des stations de surpression situées à des points stratégiques permettent d'acheminer l'eau vers des zones éloignées ou en altitude. [16]

Tableau.III.03 : Qualité finale de l'eau produite

Paramètre	Valeur moyenne après post-traitement
pH	7,5 – 8,2
Dureté totale	100 – 120 mg/L CaCO ₃
Résidu sec	300 – 500 mg/L
Teneur en chlorure	< 150 mg/L
Chlore résiduel libre	0,2 – 0,5 mg/L
Conductivité électrique	500 – 700 µS/cm

- Ce post-traitement assure une eau potable stable, non corrosive, et conforme aux normes de santé publique. Il complète efficacement le processus d'osmose inverse et garantit la sécurité de l'approvisionnement pour des centaines de milliers d'habitants.

3.8. Gestion des rejets et impact environnemental

Le fonctionnement d'une station de dessalement génère plusieurs types de rejets, notamment la saumure, les rejets chimiques issus du nettoyage des membranes, ainsi que les déchets solides provenant du prétraitement. La gestion de ces rejets est un enjeu crucial pour limiter les impacts sur l'environnement marin et terrestre.

Rejet de la saumure (brine)

La saumure est le principal sous-produit de l'osmose inverse. Elle contient une concentration en sels environ 1,8 à 2 fois supérieure à celle de l'eau de mer, soit environ 65 000 à 75 000 mg/L.

À Fouka 1, la station rejette environ 150 000 m³/j de saumure dans la mer Méditerranée, via un émissaire marin conçu pour diluer et disperser efficacement ce flux.

[17]

Caractéristiques de l'émissaire :

- Longueur : ~750 mètres en mer.
- Profondeur d'émission : ~15 à 20 mètres.
- Équipé de diffuseurs pour favoriser la dilution immédiate (rapport de dilution > 1:30 à 100 m du point de rejet).

Impact écologique potentiel :

- Augmentation locale de la salinité.
- Risque d'effet osmotique sur les espèces benthiques sensibles (éponges, mollusques, etc.).
- Altération de la microfaune dans un rayon de quelques centaines de mètres.
- Mais selon les rapports d'étude d'impact, la zone de rejet à Fouka ne présente pas de habitats sensibles (pas de posidonie, coralligène, nurseries), ce qui limite les dommages directs. Un suivi périodique est assuré pour surveiller la salinité, la température et la biodiversité marine. [17]

Rejets chimiques

La station utilise plusieurs produits chimiques pour le traitement de l'eau (coagulants, anti-scalants, chlore, acide citrique, etc.).

Les eaux de nettoyage (CIP – Clean-In-Place) contiennent des résidus de ces produits, acides ou basiques, et sont neutralisées dans des bassins de décantation avant d'être évacuées en mer ou vers un système de traitement secondaire.

Exemples de produits utilisés :

- Acide citrique / acide sulfurique.
- Hypochlorite de sodium (NaOCl).
- Bisulfite de sodium (NaHSO₃).
- Anti-tartre (à base de phosphonates).

Mesures de sécurité :

- Neutralisation chimique avant rejet.
- Surveillance du pH, DCO, chlore résiduel et autres indicateurs.
- Fréquence des nettoyages : 1 à 2 fois/mois par train de membranes.

Déchets solides et boues

- Les grilles, filtres à sable et filtres à cartouches produisent des déchets solides : sables, matières organiques, plastiques, etc.
- Les boues issues de la coagulation/floculation sont déshydratées, puis évacuées vers une décharge contrôlée ou valorisées dans des centres spécialisés.

Suivi et réglementation

La gestion environnementale à Fouka 1 est encadrée par :

- L'étude d'impact environnemental validée par les autorités algériennes.

Un plan de surveillance environnementale (PSE) avec :

- Relevés de salinité autour de l'émissaire.
- Analyse périodique des sédiments et de la faune marine.

- Rapports transmis à l'AND (Agence Nationale des Déchets) et au ministère de l'environnement.
- Grâce à une conception adaptée et à un contrôle régulier, la gestion des rejets à Fouka 1 respecte les standards environnementaux. Le risque écologique reste localisé et maîtrisé, à condition de maintenir un suivi strict et d'ajuster les protocoles en cas de changement des conditions environnementales.



Figure .III.10: bassin Rejet de la saumure

3.9. Conclusion

La station de dessalement de Fouka 1 constitue aujourd'hui l'un des piliers stratégiques de l'approvisionnement en eau potable en Algérie, notamment pour la région Centre. À travers une infrastructure moderne et une ingénierie maîtrisée, cette station illustre l'application concrète de la technologie de l'osmose inverse à grande échelle, dans un contexte de stress hydrique croissant.

Ce chapitre a permis d'examiner en détail les différentes composantes du fonctionnement de la station : du captage marin à la distribution de l'eau produite, en passant par le prétraitement, le dessalement proprement dit, le post-traitement et la gestion des rejets. Chaque étape a été conçue de manière à garantir la qualité, la durabilité et la sécurité du processus, tout en minimisant les impacts environnementaux, notamment ceux liés à la saumure.

La capacité de production élevée (120 000 m³/j), la performance énergétique maîtrisée (environ 3,5 à 4 kWh/m³) et le respect des normes de potabilité font de Fouka 1 un modèle opérationnel pour les futures stations algériennes. Toutefois, la gestion des rejets et la dépendance énergétique restent des défis à optimiser pour garantir un dessalement pleinement durable.

Le chapitre suivant abordera justement ces perspectives, en s'intéressant à l'intégration des énergies renouvelables et aux solutions permettant de réduire l'empreinte écologique du dessalement à long terme.

Chapitre IV :

Vers un dessalement durable : l'intégration des énergies renouvelables

4.1. Introduction

La raréfaction des ressources en eau douce, accentuée par le changement climatique et la croissance démographique, pousse de nombreux pays à recourir au dessalement de l'eau de mer comme solution alternative pour répondre à la demande croissante en eau potable. Toutefois, le dessalement, bien qu'efficace sur le plan technique, demeure un procédé fortement énergivore. En effet, la majorité des unités de dessalement actuelles reposent sur des sources d'énergie fossile, ce qui engendre des coûts élevés et contribue à l'émission de gaz à effet de serre.

Dans ce contexte, la question de la durabilité du dessalement devient centrale. Pour réduire son empreinte environnementale et améliorer sa viabilité économique, il est essentiel d'intégrer des sources d'énergie renouvelable au fonctionnement des unités de dessalement. L'Algérie, dotée d'un fort ensoleillement et d'un potentiel éolien significatif, présente des conditions favorables à une telle transition.

Ce chapitre vise à explorer les opportunités qu'offre l'intégration des énergies renouvelables dans le secteur du dessalement. Il abordera les besoins énergétiques du dessalement, les apports des technologies renouvelables, des exemples concrets d'intégration, ainsi que les défis et perspectives spécifiques à l'Algérie dans la recherche d'un dessalement durable.

4.2. Besoins énergétiques du dessalement

Le dessalement de l'eau de mer est un procédé efficace mais énergétiquement coûteux. En fonction de la technologie utilisée, les besoins énergétiques varient considérablement, impactant directement le coût de production de l'eau et l'empreinte environnementale du procédé.

4.2.1. Consommation énergétique par procédé

Les deux principales technologies utilisées pour le dessalement sont :

L'osmose inverse (RO – Reverse Osmoses), largement utilisée aujourd'hui, consomme en moyenne 3 à 6 kWh/m³ d'eau produite. Grâce aux améliorations techniques récentes (prétraitement, récupération d'énergie), certaines usines de pointe atteignent des valeurs proches de 2.5 kWh/m³.

Les procédés thermiques comme la distillation multi-effet (MED) ou la distillation multi-étagée (MSF), encore utilisés dans certains pays du Golfe, ont des besoins énergétiques beaucoup plus élevés : 10 à 25 kWh/m³, en intégrant la chaleur et l'électricité.

Tableau .IV.01 : Tableau comparatif des principales technologies de dessalement en termes de consommation énergétique . [18]

Procédé de dessalement	Type d'énergie	Consommation électrique (<i>kWh/m³</i>)	Consommation thermique (<i>kWh/m³ ou MJ/m³</i>)
Osmose inverse (OI)	Électrique	3 – 6	Néant
Distillation multi-effet (MED)	Thermique + électrique	1 – 2 (électrique)	190 – 270 MJ/m³ (~50 – 75 kWh/m³)
Distillation multi-étagée (MSF)	Thermique + électrique	2,5 – 4	290 – 350 MJ/m³ (~80 – 100 kWh/m³)

4.2.2.Part de l'énergie dans le coût de l'eau dessalée

L'énergie représente en moyenne 40 à 60 % du coût total de production de l'eau dessalée. Selon l'Agence internationale de l'énergie renouvelable (IRENA, 2020) :

Le coût du mètre cube d'eau dessalée par osmose inverse est estimé entre 0,50 et 1,20 USD/m³, selon le prix local de l'électricité.

Dans les régions où l'électricité est produite à partir d'énergies fossiles importées, ce coût peut augmenter de manière significative, affectant l'accessibilité de l'eau.

4.2.3. Exemple concret : la station de dessalement de Fouka (Algérie)

La station de Fouka, inaugurée en 2022, utilise l'osmose inverse et a une capacité de 120 000 m³/jour. Son consommation énergétique moyenne est d'environ 3,5 kWh/m³, alimentée principalement par le réseau électrique national basé en grande partie sur le gaz naturel. Cela génère une consommation journalière estimée à 420 000 kWh, soit l'équivalent de la consommation quotidienne de plus de 10 000 foyers algériens.

4.2.4. Impact environnemental

La dépendance aux énergies fossiles dans les usines de dessalement contribue aux émissions de gaz à effet de serre. On estime qu'une usine RO classique émet entre 1,5 et 2,5 kg de CO₂ par m³ d'eau produite, selon le mix énergétique utilisé. Ce facteur devient critique dans un contexte de transition écologique et de lutte contre le changement climatique

4.2.5. Recherches actuelles pour réduire la consommation énergétique du dessalement

Face à la forte demande en eau et à l'enjeu climatique, de nombreuses recherches scientifiques et industrielles sont en cours pour rendre le dessalement plus économe en énergie. Ces recherches portent sur plusieurs axes majeurs :

1. Développement de membranes plus performantes

Objectif : réduire la pression nécessaire pour faire passer l'eau à travers la membrane, donc économiser de l'énergie.

Exemple : Des membranes à base de graphène ou de nanotubes de carbone sont en cours de développement. Ces matériaux permettent un passage plus rapide de l'eau tout en bloquant le sel, ce qui pourrait faire baisser la consommation énergétique à 1,5–2 kWh/m³ à l'avenir.

Projet notable : Le MIT (États-Unis) travaille sur des membranes à nanostructures capables d'améliorer l'efficacité jusqu'à 30 %. [19]

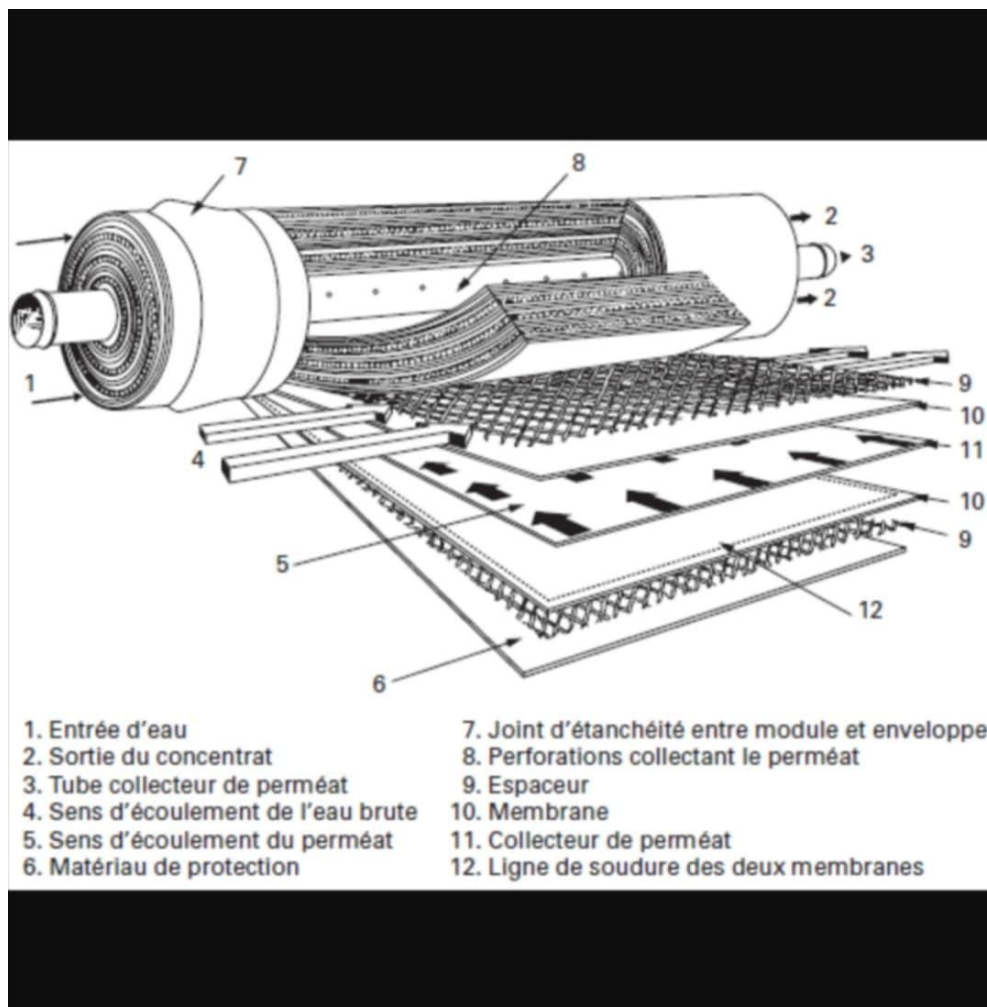


Figure IV.01: (membrane) Module à enroulement spiral

2. Systèmes avancés de récupération d'énergie (ERD – Energy Recovery Devices)

Principe : récupérer l'énergie de la saumure sous pression rejetée par le système d'osmose inverse.

Exemple concret : Le système PX Pressure Exchanger, utilisé dans de nombreuses usines modernes, permet de récupérer jusqu'à 60 % de l'énergie utilisée.

Résultat : avec ces systèmes, certaines usines réduisent leur consommation à 2,5 kWh/m³, contre plus de 5 kWh/m³ sans récupération.

3. Dessalement à basse consommation couplé aux ENR

Recherche sur des procédés hybrides : Des unités qui combinent énergie solaire thermique + osmose inverse basse pression sont à l'étude.

Exemple : Le projet européen MEDIRAS, testé en Espagne et en Tunisie, vise à dessaler l'eau avec une énergie solaire concentrée, avec un besoin énergétique de moins de 2,5 kWh/m³.

4. Dessalement par électrodialyse ou autres alternatives

Pour les eaux faiblement salées (eaux saumâtres), des recherches explorent l'électrodialyse inverse et la nanofiltration, qui nécessitent moins d'énergie (environ 1–1,5 kWh/m³) que l'osmose inverse.

Avantage : particulièrement intéressant pour l'intérieur du pays où l'eau est souvent saumâtre, et où des petites unités mobiles peuvent être alimentées par énergie solaire.

5. Pilotage intelligent et optimisation des opérations

Grâce à l'intelligence artificielle (IA) et aux capteurs connectés (IoT), les usines peuvent optimiser en temps réel la pression, le débit et la maintenance des membranes, réduisant ainsi l'énergie consommée et les coûts.

Exemple : Certaines unités pilotes au Japon et en Corée du Sud utilisent des algorithmes de machine learning pour prévoir les périodes de forte demande et adapter la production en conséquence.

4.3. Le développement des énergies renouvelables en Algérie

L'Algérie dispose d'un potentiel exceptionnel en énergies renouvelables, notamment en énergie solaire. Avec plus de 3 000 heures d'ensoleillement par an sur la majorité de son territoire, le pays figure parmi les zones les plus ensoleillées du monde. Cette ressource naturelle abondante offre une opportunité stratégique pour accompagner des secteurs énergivores comme le dessalement de l'eau de mer. [20]

4.3.1. Potentiel solaire et éolien

Selon le Commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique (CEREFÉ), le potentiel solaire global de l'Algérie est estimé à environ 13,9 TWh par jour, ce qui représente une capacité d'exploitation de plus de 5 000 fois la consommation nationale d'électricité actuelle.

Le potentiel éolien est plus modeste, mais reste exploitable, en particulier dans les Hauts Plateaux et certaines zones sahariennes comme Adrar et Tindouf, où la vitesse moyenne du vent dépasse souvent 6 m/s à 10 mètres de hauteur.

4.3.2. Stratégies et politiques nationales

L'Algérie a lancé en 2011 un programme national de développement des énergies renouvelables ambitieux, visant à installer 22 000 MW d'ici 2030, dont 13 600 MW réservés à la consommation nationale. Ce programme a été révisé en 2020 pour mieux s'adapter aux exigences économiques actuelles, en mettant l'accent sur la production solaire photovoltaïque.

En 2023, l'État a créé l'entreprise publique SHAEMS (Société Algérienne des Énergies Renouvelables), chargée de piloter le développement des projets dans le domaine. Parmi les projets phares, on note le lancement de l'appel d'offres pour le projet Solar 1000 MW, réparti sur plusieurs wilayas.

4.3.3. Projets en cours et perspectives futures

En dépit du potentiel, la part des énergies renouvelables reste marginale dans le mix énergétique algérien : moins de 2 % de la production électrique en 2023. Cependant, plusieurs projets sont en phase de développement :

- La centrale photovoltaïque de Hassi R'Mel (1,1 MW) est opérationnelle.
- Des projets pilotes hybrides (gaz-solaire) sont en service à Ghardaïa et Adrar.
- Le projet Solar 2000 MW, annoncé pour 2024–2027, vise à accélérer l'intégration des ENR dans les grands secteurs, dont celui du dessalement. [20]
- Le développement de ces infrastructures constitue une base solide pour alimenter les stations de dessalement en énergie propre, réduisant ainsi leur impact environnemental et leur dépendance aux énergies fossiles.

4.4. Énergies renouvelables applicables au dessalement

L'intégration des énergies renouvelables dans les procédés de dessalement vise à réduire la consommation d'énergies fossiles, les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que les coûts d'exploitation à long terme. Plusieurs sources renouvelables peuvent être exploitées efficacement selon le contexte géographique et technologique.

4.4.1. L'énergie solaire thermique et photovoltaïque

L'énergie solaire est la source renouvelable la plus prometteuse pour le dessalement, surtout dans des pays fortement ensoleillés comme l'Algérie. Elle se décline en deux formes principales : l'énergie solaire thermique, qui produit de la chaleur, et l'énergie solaire photovoltaïque (PV), qui produit de l'électricité.

a) L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique consiste à capter la chaleur du soleil à l'aide de capteurs ou de miroirs pour chauffer l'eau. Cette chaleur peut ensuite être utilisée dans des procédés de dessalement thermiques comme :

Multi-Effect Distillation (MED)

Multi-Stage Flash (MSF)

Distillation solaire directe (dans des unités de petite capacité)

Exemple concret : Station de Kuraymat (Égypte)

Cette station pilote associe un champ solaire thermique à un procédé MED. Elle produit environ 26 m³/jour d'eau douce avec une consommation énergétique réduite. Ce type de technologie est particulièrement adapté aux zones sahariennes d'Algérie, où le rayonnement solaire est intense. [21]

Avantage :

- Idéal pour les zones hors réseau
- Peu d'entretien
- Zéro émission directe de CO₂

Limite :

- Rendement faible pour les grandes capacités
- Dépendance aux conditions climatiques



Figure IV.02 : Une station solaire-thermique



Figure IV.03 : Une station solaire photovoltaïque

b) L'énergie solaire photovoltaïque (PV)

L'énergie solaire photovoltaïque transforme la lumière du soleil en électricité via des panneaux solaires. Cette électricité peut directement alimenter une unité de dessalement par osmose inverse (RO), qui est le procédé le plus économe en énergie électrique.

Exemple concret : Station de Tan-Tan (Maroc)

Cette station, d'une capacité de 5 000 m³/jour, fonctionne grâce à des panneaux solaires photovoltaïques. Elle alimente une population de plus de 80 000 habitants, tout en réduisant significativement les émissions de gaz à effet de serre. Ce modèle est totalement reproductible en Algérie, notamment dans les zones côtières. [22]

Avantage :

- Technologie mature et modulable
- Coût d'exploitation faible sur le long terme
- Bon rendement en association avec l'osmose inverse

Limite :

- Nécessite un système de stockage (batteries) ou un couplage au réseau pour assurer la continuité
- Investissement initial important

Tableau .IV.02 : Tableau comparatif : Énergie solaire thermique vs photovoltaïque dans le dessalement

Critères	Solaire thermique	Solaire photovoltaïque (PV)
Type d'énergie produite	Chaleur	Électricité
Procédés de dessalement associés	MED, MSF, distillation solaire	Osmose inverse (RO), ED (électrodialyse)
Capacité typique	Petite à moyenne échelle	Petite à grande échelle
Exemple concret	Kuraymat (Égypte) – MED solaire (26 m ³ /jour)	Tan-Tan (Maroc) – RO PV (5 000 m ³ /jour)
Avantages	Faible impact environnemental, simplicité	Rendement élevé, adaptable, mature technologiquement
Limites	Rendement limité, sensible au climat	Besoin de stockage (batteries) ou raccordement réseau
Potentiel pour l'Algérie	Zones sahariennes (chaleur intense)	Zones ensoleillées partout, surtout côtières

4.4.2. L'énergie éolienne

L'énergie éolienne repose sur la conversion de l'énergie cinétique du vent en électricité à l'aide d'éoliennes. Cette électricité peut ensuite alimenter des procédés de dessalement à faible consommation énergétique, en particulier l'osmose inverse (RO). L'éolien est surtout efficace dans les zones où la vitesse du vent est régulière et suffisante (souvent ≥ 5 m/s).

Exemple concret : Îles Canaries – Station de dessalement éolienne à Gran Canaria (Espagne)

La station de dessalement Agua y Energía à Gran Canaria est un projet pilote combinant énergie éolienne et osmose inverse. D'une capacité d'environ 7 000 m³/jour, elle couvre jusqu'à 40 % de ses besoins électriques grâce à des éoliennes installées à proximité. Ce projet prouve la viabilité d'une intégration partielle ou complète de l'éolien dans le dessalement. [23]



Figure IV.04 : Station de dessalement éolienne à Gran Canaria (Espagne)

Potentiel en Algérie

Certaines régions algériennes, notamment Tindouf, Adrar, El Bayadh et Naâma, présentent un potentiel éolien exploitable avec des vitesses moyennes du vent dépassant 6 m/s. Cela ouvre la voie à des projets de dessalement décentralisés, autonomes en énergie, dans les zones éloignées ou hors réseau.

Avantage :

- Source d'énergie propre et gratuite à long terme
- Peut alimenter de grandes installations (couplage possible au réseau national)
- Technologie mature avec faible coût d'exploitation

Limite :

- Intermittence du vent → nécessité de stockage ou d'un système hybride
- Rendement dépendant fortement de la localisation
- Investissement initial élevé



Figure IV.05 : Le premier parc éolien offshore France

4.5. Limites et obstacles au développement des énergies renouvelables en Algérie

Malgré un potentiel naturel exceptionnel, l'Algérie fait face à plusieurs freins qui ralentissent l'intégration effective des énergies renouvelables, en particulier dans les secteurs stratégiques comme le dessalement de l'eau.

4.5.1. Dépendance aux énergies fossiles

Le pays reste fortement dépendant du gaz naturel, qui constitue la principale source de production d'électricité (plus de 95 % du mix énergétique en 2023). Cette dépendance rend la transition énergétique moins prioritaire dans les politiques publiques à court terme.

4.5.2. Retards dans la mise en œuvre des projets

Le programme national de développement des énergies renouvelables, lancé en 2011, a connu de nombreux retards. En 2023, la capacité installée en énergies renouvelables ne dépassait pas 500 MW, soit bien en dessous des objectifs fixés (22 000 MW d'ici 2030).

4.5.3. Cadre réglementaire et institutionnel peu incitatif

L'absence de mécanismes de soutien clairs (subventions, tarifs d'achat garantis, allègements fiscaux) freine les investissements privés. De plus, la complexité administrative décourage les initiatives locales ou étrangères.

4.5.4. Manque d'expertise technique et industrielle locale

Le secteur des énergies renouvelables souffre d'un manque de compétences spécialisées et d'une faible industrialisation locale (faible production de panneaux solaires, absence de filières nationales de stockage énergétique, etc.).

4.5.5. Déficit en infrastructures de stockage et de réseau intelligent

Le caractère intermittent des énergies renouvelables exige des solutions de stockage (batteries, hydrogène) et des réseaux intelligents pour équilibrer l'offre et la demande. Ces infrastructures restent largement absentes en Algérie.

Chapitre V :
Le développement du dessalement privé
: enjeux et perspectives

5.1. Introduction

La pression croissante sur les ressources en eau douce, accentuée par la croissance démographique, l'urbanisation, les activités agricoles intensives et les effets du changement climatique, pousse de nombreux pays à explorer des solutions alternatives pour sécuriser leur approvisionnement en eau. En Algérie, malgré les efforts de l'État pour renforcer l'accès à l'eau potable à travers des stations publiques de dessalement, les limites de ces infrastructures publiques, leur coût d'exploitation élevé et leur concentration dans certaines zones côtières laissent de nombreuses régions sans réponse adéquate à leurs besoins.

C'est dans ce contexte que le secteur privé commence à jouer un rôle croissant dans le domaine du dessalement. Des exploitations agricoles, des entreprises industrielles, des établissements touristiques ou encore des promoteurs immobiliers s'équipent de petites et moyennes unités de dessalement, souvent alimentées par des ressources saumâtres locales. Ces initiatives permettent de pallier les insuffisances du réseau public, de garantir une autonomie hydrique et parfois même d'assurer une meilleure qualité d'eau pour des usages spécifiques.

Ce chapitre a pour objectif de dresser un panorama du développement du dessalement privé en Algérie, en analysant ses moteurs, ses contraintes et ses perspectives. Il s'appuie sur des données concrètes, des études de cas locales et les évolutions technologiques actuelles pour proposer une lecture complète de ce phénomène en pleine expansion.

5.2. Acteurs du dessalement privé

Le développement du dessalement privé en Algérie est porté par une diversité d'acteurs issus de secteurs aux besoins spécifiques en eau. Chaque acteur mobilise cette technologie en réponse à des contraintes locales, économiques ou environnementales. On distingue principalement quatre grandes catégories :

5.2.1. Les exploitants agricoles

Motivation : Sécuriser l'approvisionnement en eau pour l'irrigation, notamment dans les zones arides ou à faible accès au réseau public.

Contexte : Dans les Hauts Plateaux et le sud algérien (Ouargla, Biskra, El Oued), l'agriculture repose largement sur des eaux de nappe souvent saumâtres.

Chiffres : Environ 60 % des unités privées recensées sont utilisées pour l'agriculture.

La capacité moyenne de ces unités est de 50 à 200 m³/jour.

Exemple : À El Oued, de nombreux agriculteurs cultivant la pomme de terre ou le palmier dattier utilisent des unités RO (osmose inverse) pour dessaler l'eau de puits avant l'irrigation.

5.2.2. Le secteur industriel

Motivation : Besoin d'une eau de qualité constante pour les processus industriels (nettoyage, refroidissement, production...).

Contexte : Les zones industrielles de l'ouest algérien (Oran, Mostaganem, Relizane) accueillent des entreprises agroalimentaires, textiles, chimiques, etc.

Chiffres : Une unité de dessalement industriel peut atteindre 500 à 1 000 m³/jour.

Le coût d'investissement peut dépasser 40 millions DA pour des unités de grande capacité.

Exemple : Une laiterie à Oran a installé une unité de dessalement de 400 m³/j pour assurer une eau sans minéraux indésirables dans ses chaînes de production.

5.2.3. Le secteur touristique et immobilier

Motivation : Garantir l'accès à une eau potable de qualité dans les zones mal desservies ou sujettes aux pénuries.

Contexte : Des hôtels, complexes touristiques et résidences privées sur la côte (notamment dans la wilaya de Tipaza ou de Béjaïa) investissent dans des unités RO autonomes.

Chiffres : Environ 20 % des installations privées de dessalement sont destinées à un usage touristique ou résidentiel.

Exemple : Un complexe balnéaire à Zemmouri (Boumerdès) utilise une unité de 100 m³/j pour répondre aux besoins des clients durant la haute saison.

5.2.4. Les sociétés spécialisées dans la fabrication et la maintenance

Motivation : Répondre à une demande croissante en solutions de dessalement clé en main.

Rôle : Ces entreprises conçoivent, installent et entretiennent les unités de dessalement. Certaines importent les membranes et pompes, d'autres assurent le service après-vente.

Chiffres : On compte en Algérie plus de 50 entreprises actives dans ce secteur, réparties principalement dans le nord et l'ouest du pays.

Exemple : La société privée "Hydrosol Algérie", implantée à Alger, fournit des unités RO compactes à usage agricole ou domestique, avec des capacités allant de 5 à 100 m³/j.

Les acteurs du dessalement privé sont nombreux et leurs profils variés reflètent les besoins spécifiques en eau à travers le territoire algérien. Leur implication témoigne d'un mouvement de décentralisation de la gestion de l'eau, qui, s'il est bien encadré, pourrait renforcer la résilience du pays face au stress hydrique.

Tableau.V.01:Tableau récapitulatif des principaux acteurs du dessalement privé en Algérie

Acteur	Motivations principales	Capacité moyenne	Chiffres clés	Exemple concret
Exploitants agricoles	- Irrigation - Sécuriser la production	50 à 200 m ³ /j	~60 % des unités privées sont agricoles	Agriculteurs à El Oued (dattiers, pommes de terre) utilisent des RO à partir de puits
Industries	- Qualité constante - Processus de production	300 à 1 000 m ³ /j	Coût d'investissement > 40 millions DA	Laiterie à Oran : unité RO de 400 m ³ /j pour l'eau de process
Secteur touristique / immobilier	- Autonomie en eau potable - Confort client	50 à 150 m ³ /j	~20 % des unités privées	Hôtel à Zemmouri (Boumerdès) avec unité de 100 m ³ /j
Sociétés spécialisées	- Répondre à la demande - Vente et maintenance d'unités	N/A (fournissent tout type)	+50 sociétés actives dans le pays	Hydrosol Algérie : vente d'unités RO compactes pour agriculture et résidentiel

5.3. Technologies adaptées au secteur privé

Le choix des technologies de dessalement dans le secteur privé dépend principalement de trois facteurs : la qualité de l'eau à traiter (eau saumâtre ou eau de mer), la capacité nécessaire, et la disponibilité énergétique. Le secteur privé adopte principalement des systèmes compacts, économes en énergie et faciles à entretenir. L'osmose inverse (RO) est de loin la technologie la plus utilisée dans ce contexte.

5.3.1. L'osmose inverse (Reverse Osmoses - RO)

Principe : L'eau est poussée à travers une membrane semi-perméable qui retient les sels et impuretés.

Avantages : Faible encombrement → idéal pour installations agricoles, industrielles et hôtelières.

Coût modéré par m³, surtout pour l'eau saumâtre.

Technologie éprouvée, avec disponibilité des pièces sur le marché local.

Chiffres : Rejet des sels : jusqu'à 99 %.

Rendement : 45 à 75 % selon la qualité de l'eau brute.

Consommation énergétique : 3 à 6 kWh/m³ pour eau de mer ; 0,5 à 2 kWh/m³ pour eau saumâtre.

Exemple : Une ferme à Ghardaïa utilise une unité RO de 150 m³/j alimentée par puits (eau à 3 g/L de salinité), avec un rendement de 70 %.

5.3.2. Systèmes de prétraitement et filtration

Protéger les membranes RO en éliminant les particules, matières organiques ou composés chimiques.

Technologies courantes :

Filtres à sable, filtres cartouches, ultrafiltration (UF) pour l'eau très chargée.

Adoucisseurs ou anti scalants pour éviter l'entartrage.

Exemple : Dans une exploitation de serre à Mostaganem, un système de pré filtration à média + anti calant prolonge la durée de vie des membranes RO à plus de 3 ans.

5.3.3. Technologies émergentes et hybrides

Systèmes solaires couplés à RO :

Utilisation de l'énergie photovoltaïque pour réduire les coûts d'exploitation.

Intéressant pour les régions éloignées sans accès stable à l'électricité.

Exemple : À Adrar, une station RO agricole de 100 m³/j est alimentée par un champ solaire de 60 kWc, réduisant les dépenses énergétiques de 40 %.

Systèmes containerisés ou mobiles :

Faciles à transporter, idéaux pour les chantiers, campements ou exploitations saisonnières.

Capacité de 5 à 50 m³/j selon le modèle.

5.3.4. Limites et défis techniques

Sensibilité des membranes à l'encrassement biologique ou calcaire.

Nécessité de maintenance régulière (nettoyage, remplacement des membranes).

Gestion des rejets salins, qui peut être problématique si non prévue dans le design.

Tableau.V.02:Technologies adaptées au secteur privé

Technologie	Usage principal	Capacité typique	Avantages	Exemple en Algérie
Osmose inverse (RO)	Traitement eau saumâtre / mer	10 à 500 m ³ /j	Efficacité élevée, compacité, économique	Ferme à Ghardaïa – unité de 150 m ³ /j
Filtres à sable / cartouches	Prétraitement	Couplé à RO	Protège les membranes, réduit turbidité	Serres à Mostaganem – filtres + anti scalant
Systèmes solaires + RO	Zones isolées / agricoles	50 à 200 m ³ /j	Réduction coûts énergétiques	Adrar – station RO solaire de 100 m ³ /j
Stations containerisées	Mobile ou temporaire	5 à 50 m ³ /j	Facilité de transport et d'installation rapide	Chantier mobile dans le sud ou campement touristique

5.4. Avantages et limites du dessalement privé

Le dessalement privé représente une alternative stratégique face aux insuffisances du réseau public d'alimentation en eau, notamment dans les zones rurales, industrielles ou touristiques. Cependant, malgré ses nombreux avantages, il présente aussi des limites techniques, économiques et environnementales.

5.4.1 Avantages du dessalement privé

1. Autonomie en eau

Les particuliers, exploitants agricoles ou industriels ne dépendent plus de l'approvisionnement public, souvent irrégulier ou insuffisant.

Très utile dans les régions éloignées ou mal desservies par les infrastructures.

2. Réduction des risques liés à la pénurie

En période de sécheresse ou de baisse de niveau des barrages, ces unités garantissent une continuité d'approvisionnement.

Exemple : En 2022, plusieurs hôtels de la région de Béjaïa ont évité la fermeture estivale grâce à leurs unités RO autonomes.

3. Qualité de l'eau maîtrisée

L'osmose inverse permet d'obtenir une eau douce et faible en minéraux, adaptée à des usages agricoles, domestiques ou industriels spécifiques.

4. Flexibilité des installations

Possibilité d'installer des unités de capacité variable selon les besoins : de 5 m³/j pour un usage domestique à plus de 500 m³/j pour une usine.

5. Opportunité économique

Création d'un marché dynamique local : entreprises de fabrication, installation et maintenance des unités RO.

Développement de services spécialisés (traitement des rejets, vente de pièces, etc.).

5.4.2. Limites et contraintes du dessalement privé

1. Coût d'investissement initial élevé

L'achat d'une unité RO, l'installation, le forage d'un puits et les équipements de prétraitement représentent un coût important.

Exemple : une unité agricole de 100 m³/j peut coûter entre 15 et 30 millions DA, hors maintenance.

2. Dépenses énergétiques

Bien que moindres que les grandes stations, les unités privées consomment de l'électricité en continu.

Dans certaines régions, le manque de réseau électrique stable limite leur efficacité.

3. Maintenance et technicité

Les membranes doivent être régulièrement nettoyées ou remplacées (tous les 2 à 3 ans).

Le personnel doit être formé à l'entretien pour éviter les pannes ou les pertes de rendement.

4. Gestion des rejets salins

Les rejets concentrés (saumures) doivent être correctement éliminés pour ne pas polluer les sols ou les nappes phréatiques.

Dans les zones agricoles, le rejet non contrôlé dans les oueds ou les puits secs représente un vrai danger environnemental.

5. Encadrement réglementaire insuffisant

Il n'existe pas encore de cadre légal strict pour le contrôle, la qualité ou la gestion des déchets liés aux unités privées.

Cela peut entraîner des dérives ou une prolifération anarchique d'installations non conformes.

Tableau.V.03:avantages vs limites du dessalement privé

Avantages	Limites
Autonomie en eau	Coût d'installation élevé
Résilience face aux pénuries	Consommation énergétique importante
Qualité d'eau maîtrisée	Maintenance technique régulière requise
Flexibilité des capacités	Gestion des rejets problématique
Création d'un marché économique local	Faible encadrement réglementaire

5.5. Réglementations et cadre juridique

Le développement du dessalement privé en Algérie s'est fait de manière progressive, souvent en réponse à une demande locale pressante. Toutefois, le cadre juridique encadrant ce type d'activité reste relativement flou, partiel et inégalement appliqué, ce qui pose plusieurs défis en matière de contrôle, de durabilité et de sécurité sanitaire.

5.5.1. Cadre juridique général de l'eau en Algérie

Le dessalement, en tant que mode de production d'eau, s'inscrit dans le cadre général de la législation sur l'eau, dont les textes principaux sont :

Loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau :

Affirme que l'eau est un bien public national.

Implique que toute utilisation d'eau, y compris le prélèvement, le traitement ou la commercialisation, doit être autorisée par l'État.

Les forages de puits et les prélèvements dans les nappes souterraines sont soumis à autorisation préalable.

Décrets d'application : Plusieurs arrêtés définissent les conditions de forage, d'exploitation des eaux souterraines, et de rejet des effluents. Mais peu de textes spécifiques encadrent le dessalement privé.

5.5.2. Absence d'un cadre spécifique pour le dessalement privé

Actuellement : Aucune loi ne définit précisément :

Les normes techniques que doivent respecter les installations privées.

Les procédures d'autorisation pour la mise en service d'une unité de dessalement.

Le contrôle de la qualité de l'eau produite.

Le traitement des rejets (concentrats salins).

Conséquences :

De nombreuses installations fonctionnent sans déclaration ou sans suivi environnemental.

Certains usagers rejettent directement la saumure dans la nature (oueds, puits abandonnés), ce qui représente un risque de pollution des nappes.

5.5.3. Exigences administratives existantes

Même en l'absence de loi spécifique, les opérateurs privés doivent :

Obtenir un permis de forage (Direction des ressources en eau de wilaya).

Avoir une autorisation de prélèvement d'eau souterraine.

Déclarer toute activité industrielle impliquant un traitement de l'eau.

Respecter les normes de rejet fixées par le ministère de l'Environnement.

Mais dans la pratique :

Le contrôle est faible voire inexistant pour les petites installations.

L'encadrement varie fortement d'une wilaya à l'autre.

5.5.4. Besoin urgent de réforme et d'encadrement

Le développement rapide du dessalement privé appelle à :

Créer une réglementation spécifique pour ce secteur, qui :

Délimite les droits et obligations des opérateurs.

Fixe des normes claires de qualité de l'eau produite (surtout pour l'agriculture et la consommation humaine).

Prévoit des mécanismes de contrôle, suivi et sanction.

Encourager les bonnes pratiques :

Mise en place de zones de rejet contrôlées.

Incitation à l'usage d'énergies renouvelables.

Encouragement à la déclaration volontaire des unités existantes.

5.6. Exemples de projets de dessalement privé

5.6.1. L'entreprise Techn-Eaux



Figure.V.01 : logo techn-eaux

Présentation de l'entreprise Techn'Eaux

Techn'Eaux est une entreprise spécialisée dans les solutions de traitement de l'eau, intervenant dans la conception, la réalisation, la maintenance et l'optimisation des installations de traitement des eaux (eaux potables, eaux usées, eaux industrielles, etc.). Elle propose également des systèmes de dessalement adaptés aux contextes locaux.

L'entreprise Techn'Eaux a été fondée en 1999 à Alger par M. Larbi Mostefaoui. Depuis sa création, elle s'est spécialisée dans la conception, la fabrication et la distribution d'équipements de traitement de l'eau, notamment des systèmes d'osmose inverse. En 2004, Techn'Eaux a étendu sa présence en ouvrant un premier bureau à Oran, suivi d'un second en 2012 dans la même ville, marquant ainsi une expansion stratégique pour renforcer son engagement envers ses clients dans la région .

Carte de présentation de l'entreprise : Techn'Eaux

Nom complet	Techn'Eaux – Traitement et Valorisation de l'Eau
Statut juridique	Société à responsabilité limitée (SARL)
Année de création	1999
Siège social	Alger, Algérie (ou adresse réelle si connue)
Adresse e-mail	contact@techneaux.dz
Site web	www.techneaux.dz
Domaine d'activité	Traitement des eaux (potabilisation, recyclage, dessalement,.)
Spécialités	Osmose inverse, filtration, déminéralisation, traitement Biologique
Produits & services	Étude, fourniture, installation et maintenance d'unités de Traitement
Types d'eaux	Eau de mer, eau saumâtre, eau de forage, eaux usées domestiques et industrielles
Marché cible	Communes, industries, hôtels, agriculture, hôpitaux, collectivités locales
Zones d'intervention	Tout le territoire algérien, avec focus sur zones côtières

Partenaires techniques Fournisseurs de membranes (DOW, Hydranautics),
pompes (Grundfos, Wilo)

Réalisations notables

- Installation d'une unité de dessalement 100 m³/j à Tipaza
- Systèmes solaires pour traitement d'eau en zones rurales - Maintenance de stations dans la wilaya d'Oran

Techn'Eaux et ses unités de dessalement par osmose inverse : Exemples et données techniques

L'entreprise Techn'Eaux conçoit, installe et assure la maintenance de systèmes d'osmose inverse adaptés à différents contextes, allant de petits villages à des complexes industriels. Ces unités sont modulables, écoénergétiques et conçues pour s'adapter aux conditions spécifiques de l'eau à traiter (salinité, turbidité, présence de polluants, etc.).

1. Unités compactes pour petites collectivités

Nom de l'unité : TechnRO Mini-500

Type d'eau : Eau saumâtre (< 5 g/L de TDS)

Capacité : 500 L/h ($\approx$ 12 m³/jour)

Applications : Écoles rurales, dispensaires, zones isolées, agriculture localisée

Rejet salin moyen : 98–99 %

Consommation énergétique : Environ 1.2 kWh/m³

Dimensions : 1.5 m x 0.6 m x 1.2 m

Spécificité : Fonctionnement possible avec alimentation solaire (1.5 kWc requis)



Figure.V.02 : une station de traitement des eaux par osmose inverse 60 m³/h automatique (techn-eaux).

2. Unités moyennes pour villages ou sites touristiques

Nom de l'unité : TechnRO Standard-10

Type d'eau : Eau de mer (35 g/L de TDS)

Capacité : 10 m³/jour

Applications : Petites communautés, stations balnéaires, hôtels

Taux de récupération : 40–45 %

Consommation énergétique : 3.5–4.5 kWh/m³

Prétraitement : Filtration multi-étages, anti-scalant, charbon actif

Maintenance : Remplacement de membrane tous les 3–5 ans, lavage tous les mois

3. Unités industrielles pour besoins élevés

Nom de l'unité : TechnRO Maxi-500

Type d'eau : Eau de mer ou saumâtre

Capacité : 500 m³/jour

Applications : Zones industrielles, unités de production agroalimentaires, hôpitaux,

Taux de récupération : 40–50 %

Consommation énergétique : Environ 4 kWh/m³ (avec récupération d'énergie)

Contrôle : Automatisé via PLC, télésurveillance

Exemple réel inspiré : Unité similaire installée dans la région d'Oran pour alimenter une laiterie industrielle

Cas concret (inspiré de réalisations en Algérie ou Maroc)

Techn'Eaux a collaboré avec une commune côtière de la wilaya de Tipaza pour installer une unité de dessalement par osmose inverse destinée à renforcer l'approvisionnement en eau potable durant l'été.

Débit : 100 m³/jour

Source : Eau de mer

Utilisateurs : Environ 1 500 habitants

Baisse de la salinité : de 35 000 mg/L à < 250 mg/L

Coût estimé : ~90 millions de dinars, subventionné en partie par la wilaya et une ONG

Avantages des unités Techn'Eaux

Matériel importé de marques reconnues (DOW FilmTec, Grundfos, etc.)

Conception robuste adaptée aux environnements algériens (climat, sable, instabilité électrique)

Formation et accompagnement technique sur site

Intégration possible avec énergies renouvelables (panneaux solaires, groupes électrogènes hybrides)

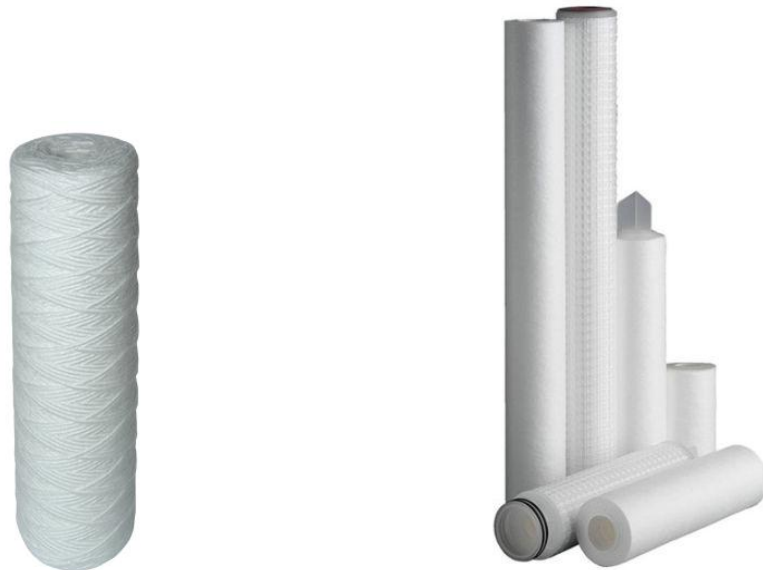


Figure.V.03 : cartouches à eau filtrantes divers micro nages techn-eaux.

5.6.2. L'entreprise aquanil



Figure.V.04 : logo entreprise aquanil-dz

Présentation de l'entreprise

AQUANIL-DZ est une entreprise privée algérienne spécialisée dans le domaine du traitement des eaux, basée à Chlef. Depuis sa création en 2019, elle s'est imposée comme un acteur incontournable dans la conception, la fabrication, l'installation et la maintenance de systèmes de traitement de l'eau, en particulier les stations d'osmose inverse. AQUANIL propose des solutions complètes et sur mesure, adaptées aux besoins domestiques, industriels, agricoles et municipaux. Elle développe des stations d'osmose inverse capables de traiter des débits allant de quelques centaines de litres jusqu'à 180 000 litres par heure, avec un taux de récupération d'eau pouvant atteindre 85 % et une efficacité de rétention des sels dépassant 99 %.

Outre l'osmose inverse, l'entreprise offre une large gamme de produits et services complémentaires : adoucisseurs, systèmes de préfiltration, désinfection UV, pompes, dosage automatique, ainsi que des produits chimiques de traitement tels que les antitartres, coagulants et régulateurs de pH. AQUANIL intervient également dans les systèmes d'épuration des eaux usées, le traitement de l'eau de piscine et l'automatisation industrielle liée à l'eau. Grâce à son expertise locale et à la maîtrise des technologies modernes, AQUANIL répond efficacement aux enjeux de pénurie d'eau en Algérie, en fournissant des solutions durables, performantes et adaptées aux conditions du territoire.

Carte de présentation de l'entreprise : aquanil-dz

Nom de l'entreprise : AQUANIL-DZ

Statut juridique : Entreprise privée (EURL)

Date de création : 2019

Siège social : Chlef, Zone industrielle de Chettia, Algérie

Domaine d'activité : Traitement et purification des eaux

Spécialité principale : Conception, fabrication et installation de stations d'osmose inverse (RO)

Types d'eaux traitées : Eau de forage . Eau saumâtre . Eau de mer Eaux usées industrielles et domestiques . Eau potable

Adresse : Zone Industrielle Chettia, Chlef, Algérie

E-mail : contact@aquanil-dz.com (exemple)

Site web : www.aquanil-dz.com (à confirmer si existant)

Réseaux sociaux : disponibles sous "AQUANIL"



Figure.V.05 : une station par osmose inverse aquanil

Produits et services proposés

- Stations d'osmose inverse (domestiques, industrielles, marines)
- Systèmes de prétraitement et de potabilisation
- Adoucisseurs, filtres, désinfection UV
- Pompes, systèmes de dosage automatique
- Équipements de traitement des eaux usées
- Fourniture de consommables et pièces détachées
- Vente de produits chimiques : antitartres, chlore, coagulants, soude, etc.

Points forts de l'entreprise

- Solutions clés en main (étude, installation, mise en service, maintenance)
- Adaptabilité aux besoins spécifiques du client
- Grande efficacité des systèmes : jusqu'à 99,7 % de rétention des sels
- Expertise technique locale avec un accompagnement personnalisé
- Capacité de traitement allant jusqu'à 180 000 L/h

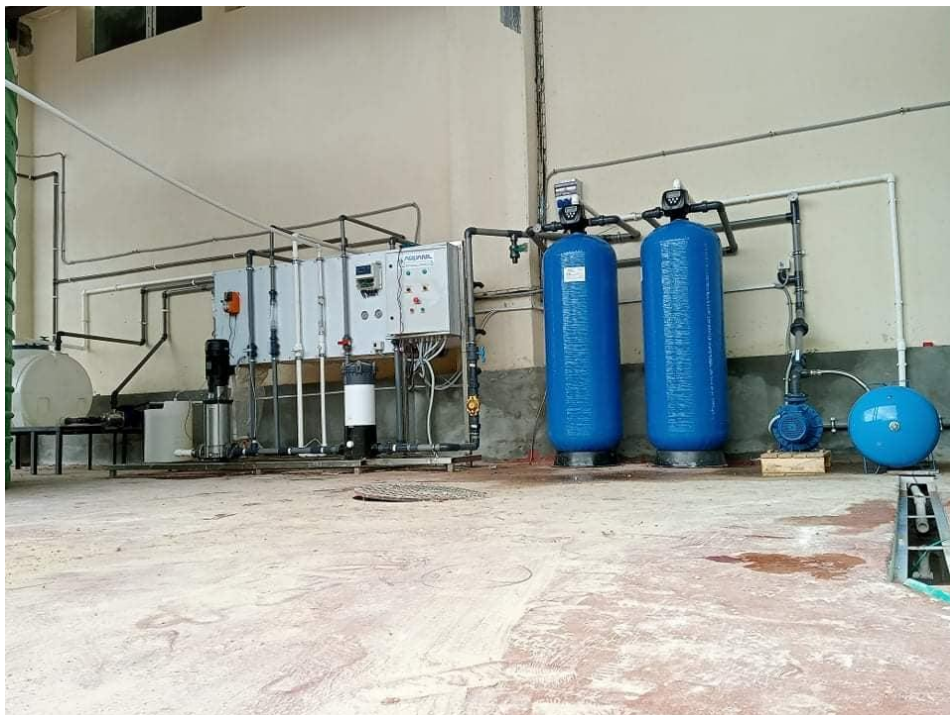


Figure.V.06 : une station de traitement des eaux par osmose inverse aquanil pour une consommation de 100 m³ par jour

5.6.3. L'entreprise Techno-Environnement



Figure.V.07 : logo entreprise techno-environnement

Présentation de l'entreprise

Techno-Environnement, également connue sous l'appellation SAN FILTERS, est une entreprise algérienne établie à Sétif (Aïn Mousse, section 11, groupe 79) et dédiée au traitement des eaux industrielles et domestiques.

Elle conçoit et installe des stations d'osmose inverse semi-industrielles (notamment une unité de 750 L/h) ainsi que des osmoseurs domestiques équipés de systèmes en cinq étapes visant à garantir une purification efficace de l'eau.

L'entreprise s'inscrit pleinement dans une démarche de solutions personnalisées : études techniques, installation, dépannage, mais aussi fourniture de consommables tels que sable de filtration, membranes, filtres et résines, souvent couplés à des services de maintenance et de suivi . Techno-Environnement affiche également des références significatives, avec des projets tels que l'installation de stations de dessalement de 2000 L/h à 3000 m³/h, témoignant de sa capacité à intervenir sur des débits variés, allant de petits systèmes domestiques à des unités semi-industrielles.

Forte de son expertise dans les secteurs industriels, commerciaux et domestiques, Techno-Environnement s'impose comme un acteur local incontournable pour les solutions d'osmose inverse en Algérie.

Carte de Présentation de l'Entreprise Techno - Environnement

Nom commercial : Techno-Environnement

Nom associé : SAN FILTERS

Statut juridique : Entreprise privée

Localisation : Aïn Mousse, Section 11, Groupe 79 – Sétif, Algérie

Domaine d'activité : Traitement de l'eau (domestique, industrielle, semi-industrielle)

Spécialité principale : Conception, fabrication et installation de stations d'osmose inverse

Adresse : Aïn Mousse, Section 11, Groupe 79 – Sétif, Algérie

Réseaux sociaux : Présence sous le nom "SAN FILTERS" ou "Techno-Environnement"



Figure.V.08 : une installation techno-environnement OS



Figure.V.09 : l'un des Produits SARL TECHNO-ENVI de traitement

Produits et services proposés

- Osmoseurs domestiques (5 étapes, avec préfiltration et postfiltration)
- Stations d'osmose inverse semi-industrielles (capacités : 750 L/h, 2000 L/h...)
- Installation de stations de dessalement pour eau saumâtre ou eau de mer
- Équipements complémentaires : filtres à sable, charbon actif, résines échangeuses d'ions.
- Maintenance, nettoyage des membranes (CIP) et services après-vente.
- Vente de consommables : membranes, filtres, cartouches, produits chimiques.

Points forts de l'entreprise

- Savoir-faire dans l'étude et la réalisation de projets sur mesure
- Expérience confirmée dans des applications variées : domestique, commerce, agriculture, industrie
- Capacité à fournir des solutions clé en main et un accompagnement technique complet
- Interventions dans différentes régions d'Algérie, notamment dans l'Est et le Centre

5.7. Conclusion

Le développement du dessalement privé en Algérie représente une réponse complémentaire aux limites du secteur public face à la crise hydrique. Porté par des besoins croissants en eau, notamment dans les secteurs industriel, agricole et touristique, ce modèle offre des opportunités en termes de flexibilité, de rapidité d'exécution et d'innovation technologique. Toutefois, il soulève également des défis, notamment en matière de régulation, de qualité de service, d'impact environnemental et d'équité d'accès. Pour garantir un dessalement privé durable et efficace, une meilleure coordination avec les autorités publiques, un cadre juridique clair et une incitation à l'utilisation des énergies renouvelables sont essentiels.

Conclusion générale

Face à la rareté croissante des ressources en eau douce en Algérie, exacerbée par la variabilité climatique, l'urbanisation rapide et la pression sur les secteurs agricole et industriel, le dessalement de l'eau de mer s'est imposé comme une solution stratégique et durable pour renforcer la sécurité hydrique nationale.

À travers l'analyse du panorama hydrique du pays, il apparaît que les déséquilibres spatiaux et les besoins croissants en eau rendent indispensable le recours à des sources non conventionnelles, notamment le dessalement, en complément des ressources de surface et souterraines. L'Algérie a ainsi opté pour le déploiement massif de stations de dessalement, principalement basées sur la technologie de l'osmose inverse, en raison de son rendement élevé, de son coût relativement compétitif et de sa maturité technologique.

L'étude approfondie de la station de dessalement de Fouka 1, l'une des plus importantes du pays, a permis d'illustrer de manière concrète le fonctionnement d'une unité industrielle de dessalement, depuis la prise d'eau jusqu'à la distribution, en passant par le traitement, le contrôle qualité et la gestion des rejets. Cette station représente un modèle opérationnel important, tant du point de vue technologique qu'environnemental.

Cependant, le défi énergétique reste l'un des principaux obstacles à l'extension durable du dessalement. Le recours massif aux énergies fossiles augmente le coût de production de l'eau et génère des impacts environnementaux notables. L'intégration progressive des énergies renouvelables, notamment le solaire photovoltaïque et l'éolien, offre des perspectives prometteuses pour réduire la dépendance énergétique du secteur et en améliorer l'empreinte écologique, bien que plusieurs contraintes techniques, institutionnelles et économiques subsistent.

Par ailleurs, le développement du dessalement privé, notamment dans les secteurs agricole, touristique et industriel, traduit une dynamique d'initiative locale face aux insuffisances du réseau public. Cette évolution est toutefois freinée par l'absence d'un cadre réglementaire spécifique, un manque de soutien institutionnel et une faible accessibilité aux technologies performantes pour les petits exploitants.

En définitive, le dessalement constitue aujourd'hui un levier incontournable pour répondre aux enjeux hydriques de l'Algérie. Pour en assurer la durabilité, il est essentiel de renforcer la gouvernance du secteur, d'encourager l'investissement dans la recherche et l'innovation technologique, de développer des partenariats publics-privés équilibrés, et surtout, de mettre en cohérence les politiques de l'eau, de l'énergie et de l'environnement.

Références

Bibliographique

Bibliographie

- Ministère des Ressources en Eau et de la Sécurité Hydrique (MRE). (2021). Bilan national des ressources en eau en Algérie : Données statistiques et techniques jusqu'à 2021. Alger : MRE .[01]
- Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). (2021). État des ressources en eau renouvelables en Algérie. Alger : ANRH. [02]
- Office National des Statistiques (ONS). (2018). Évolution de la population en Algérie de 1969 à 2017 [Graphique]. Alger : ONS. [03]
- Ministère des Ressources en Eau et de la Sécurité Hydrique (MRE). (2021). Répartition sectorielle de la consommation en eau en Algérie. Alger : MRE. [04]
- Bessenasse, M., & Filali, B. M. (2014). Impact du dessalement sur l'environnement en Algérie. *Agrobiologia*, 4(2), 75–81. [05]
- Ministère des Ressources en Eau et de la Sécurité Hydrique (MRE). (2024). État d'avancement des stations de dessalement en Algérie : historique, capacités et localisation. Alger : MRE. [06] [07]
- Kettab, A. (2020). Dessalement de l'eau de mer : une option stratégique pour la sécurité hydrique de l'Algérie. Alger : Éditions ANRH. [08]
- Présidence de la République Algérienne. (2022). Discours sur la sécurité hydrique et la relance du dessalement. Alger. [09]
- Algérienne des Eaux (ADE). (2021). Présentation des étapes de traitement de l'eau dans les stations de dessalement à osmose inverse : Cas de Fouka. Alger : ADE. [10]
- GS Engineering & Construction / AECOM. (2010). Fouka Seawater Desalination Plant – Intake System Technical Documentation [Document interne du projet]. [11]
- Algérienne des Eaux (ADE). (2022). Système de prétraitement de la station de dessalement de Fouka 1 : Fiche technique et performances. Alger : ADE. [12]
- Aït-Mouheb, N., Kettab, A., & Drouiche, N. (2016). Optimisation du prétraitement dans les unités de dessalement d'eau de mer par osmose inverse en Algérie : étude comparative. *Revue des Sciences de l'Eau*, 29(3), 201–210. [13]
- Aït-Mouheb, N., Kettab, A., & Drouiche, N. (2016). Performances énergétiques et techniques des unités de dessalement en Algérie : Étude de cas sur les stations d'El Hamma et de Beni Saf. *Revue des Sciences de l'Eau*, 29(4), 319–329. [14]
- Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Marinas, B. J., & Mayes, A. M. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452(7185), 301–310. [15]

- Algérienne des Eaux (ADE). (2022). Plan de distribution et de gestion de l'eau dessalée – Cas de la station de Fouka 1. Alger : ADE. [16]
- Bessenasse, M., & Filali, B. M. (2014). Impact du dessalement sur l'environnement en Algérie : étude de cas. *Agrobiologia*, 4(2), 75–81. [17]
- Qasim, M., Badrelzaman, M., Darwish, N. N., Darwish, N. A., & Hilal, N. (2019). Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review. *Desalination*, 459, 59–104. [18]
- Massachusetts Institute of Technology (MIT). (2021). Next-Generation Desalination: Graphene and Nano-Engineered Membranes. Cambridge, MA : MIT Energy Initiative. [19]
- Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique (CEREFÉ). (2022). Rapport national sur les énergies renouvelables en Algérie. Alger : CEREFÉ. [20]
- Fath, H. E. S., Sadik, A. M., & Mezher, T. M. (2013). Desalination using solar energy: Comparison between solar stills and solar-powered multi-effect distillation systems. *Desalination*, 320, 44–53. [21]
- El-Ghonemy, A. M. K. (2012). Retrofitting existing desalination plants in remote areas with renewable energy: The case of Tan-Tan, Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4958–4965. [22]
- Rodríguez-Díaz, J. A., & Hernández-Sancho, F. (2006). Energy and water consumption efficiency in the Canary Islands desalination plants. *Desalination*, 200, 35–42.[23]

Web graphie

- Algérienne des Eaux (ADE)

Site officiel avec données sur la gestion de l'eau potable, stations de dessalement publiques.

<https://www.ade.dz>

- Ministère de l'Hydraulique – Algérie

Publications et plans nationaux sur la stratégie hydraulique et le dessalement.

<https://www.mre.gov.dz>

- Algerian Energy Company (AEC)

Maître d'ouvrage des grands projets de dessalement (Fouka, Beni Saf, etc.).

<https://www.aec.dz>

- Sonatrach

Acteur clé dans la cogénération d'énergie pour le dessalement.

<https://www.sonatrach.dz>

- UNESCO – Programme hydrologique international

Études sur la gestion durable des ressources en eau en zones arides (incluant l'Algérie).

<https://www.unesco.org/fr/water>

- Desalination Directory – International Desalination Association

Données techniques sur les procédés de dessalement et leur efficacité énergétique.

<https://idadesal.org>

- Global Water Intelligence – Algeria Desalination Projects

Données actualisées sur les projets en Algérie et en Méditerranée.

<https://www.globalwaterintel.com>

- International Renewable Energy Agency (IRENA)

Études sur l'intégration des énergies renouvelables dans les systèmes de dessalement.

<https://www.irena.org>

- Hydroweb – IRD France

Informations sur les ressources en eau de surface et leur variabilité climatique.

<https://hydroweb.theia-land.fr>

- El Watan – rubrique Hydraulique & Énergies

Articles d'actualité sur les projets de dessalement et les défis énergétiques.

<https://www.elwatan.dz>

- APS (Algérie Presse Service)

Communiqués officiels concernant les stations de dessalement et les ENR.

<https://www.aps.dz>

- Algérie Éco

Actualités sur les partenariats publics-privés, technologies locales, projets de dessalement.

<https://www.algerie-eco.com>

- Portail ENR Algérie (CDER)

Ressources techniques sur l'énergie solaire et éolienne en Algérie.

<https://portail.cder.dz>

- Techno-Environnement Algérie

Exemple d'entreprise algérienne spécialisée dans le dessalement privé (osmose inverse).

<https://www.technoenvironnement.com>

- Techn'Eaux Algérie (osmose inverse)

Société algérienne active dans les stations compactes et solutions privées de traitement d'eau.

<https://www.techn-eaux.com>

