

أعمال الملتقى الجهوي للبحث والابتكار بجهة مراكش أسفي
الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية بجهة مراكش أسفي:
التحديات والفرص



الجغرافية التطبيقية في خدمة التنمية الترابية بجهة مراكش أسفي:
التحديات والفرص

La géographie appliquée au service du développement territorial
dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités

متنوعات مهداة إلى الأستاذ
الدكتور أحمد زروال

تنسيق:

محمد الأكلع
طارق العرفي

عبد الجليل الكريفة
ميلود وشالتة

2025

Actes du Colloque régional
de la recherche et de l'innovation de la région Marrakech-Safi:
La géographie appliquée au service du développement territorial
dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités



Mélanges en l'honneur du professeur
Dr. Ahmed ZAROUAL

Coordination:

Abdeljalil Lokrifa
Miloud Ouchala

Mohammed El Aklaa
Tarik El Orfi

2025

**La géographie appliquée au service du
développement territorial dans la région
de Marrakech-Safi : défis et opportunités**



جهة مراكش أسفي
ⵜⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⵏ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⵏ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ
Région Marrakech Safi



LERMA
مختبر الدراسات حول الموارد، الحركية والجاذبية
Laboratoire des Etudes sur les Ressources,
Mobilité et Attractivité



كلية الآداب والعلوم الإنسانية مراكش
ⵜⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⵏ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⵏ ⴰⴳⴷⴰⵢⵜ
MARRAKECH
جامعة القاضي عياض
UNIVERSITÉ CAHI AYYAD
Faculté des Lettres et Sciences Humaines - Marrakech

La géographie appliquée au service du développement territorial dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités

Mélanges en l'honneur du professeur Ahmed ZAROUAL

Coordination:

Abdeljalil LOKRIFA

Mohamed ELAKLAA

Miloud OUCHALA

Tarik ELORFI

2025

**La géographie appliquée au service du développement territorial
dans la région de Marrakech-Safi : défis et opportunités**

Mélanges en l'honneur du professeur Ahmed ZAROUAL

Coordination: Abdeljalil LOKRIFA, Mohamed ELAKLAA, Miloud OUCHALA
et Tarik ELORFI

Publication: Laboratoire des Etudes sur les Ressources, Mobilité et
Attractivité -LERMA - Faculté des Lettres et des Sciences Humaines,
Université CADI AYYAD – Marrakech

Edition: 2025

Dépôt légal : 2025MO2439

ISBN: 978-9920-620-15-4

Conception: Tarik ELORFI, Miloud OUCHALA

Editions et Impressions: Bouregreg - Rabat



Editions & Impressions Bouregreg

10, Avenue Alaouiyine - Hassan - Rabat

Tél: 05 37 20 75 83 / Fax : 05 37 20 75 89

E-mail : editionsbouregreg2015@gmail.com



Ahmed Zaroual est un ancien professeur au Département de Géographie de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Cadi Ayyad de Marrakech. Né le 1er janvier 1954 à El Attaouia, Kelaat Sraghna, il est titulaire d'un Diplôme d'Études Supérieures (DES) en Lettres obtenu en 1987 à la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Rabat, et d'une Habilitation Universitaire obtenue en 2015. Ses recherches portent sur la géographie physique en général, et plus particulièrement sur les dynamiques des milieux naturels montagnards ainsi que sur les problèmes de l'aménagement et du développement.

Sommair

Axe 1 : Hydrologie, Changement Climatique et Risques Naturels

Spatio-temporal evolution of rainfall and its impacts on water resources: Case study of the sub-basins of the Al Haouz-Mejjate hydrographic basin 1992-2018 (Morocco)	11
Jalal Aguerd, Meriem Hamid, Youness Bouhafa, Kouldia Nafia, and Mohamed El ghachi	
Analyse des tendances thermiques actuelles et projections futures dans la région Marrakech-Safi	21
Tarik El Orfi, Miloud Ouchala, Mohamed El Ghachi et Chaima Hafid	
Integration of QMNA Analysis into Climate Resilience Planning for Semi-Arid Watersheds: Lessons from Oued Reghaya in the Context of Climate Change	33
Choukri Bahija , El Ghachi Mohamed	
Les inondations dans la vallée de l'Ourika: formation et résilience de la population	41
Ait Zaouit Adil , El Adib Mohamed	
Les crues de référence instantanées dans le bassin versant de l'Oued Zat (Bassin Tensift, Maroc): cas de la crue de 2011	55
Elgzouli Abdelbasset, El Ghachi Mohamed, Lahlou Nadia	
Les stations de dessalement dans la région Marrakech Safi : entre exigences de développement et adaptation au changement climatique	67
El-Louzi Zineb, Mansoum Mohamed	

Axe 2 : Développement Territorial, Gouvernance et Enjeux Socio-économiques

Traditional craft in mountainous areas: an economic backbone between marginalization and the challenge of valuation case study of province Al Haouz, Morocco	85
Soufyane Moussaoui	
Governance of mobility between Tamansourt and Marrakech	101
Loubna Elhoucine	
Construire l'avenir après le séisme : Habitat parasismique, durabilité et préservation du patrimoine dans la province d'AL Haouz	119
Zaineb Lahdachi, Bouazza Sallak, Jihane Lahrour	
La faiblesse de l'appareil économique urbain et ses incidences sur la polarisation territoriale extérieure, l'exemple des quatre petites villes de la zone du Haouz oriental de Marrakech (El'attaouia, Tاملةlet, Sidi Rahal, et Essahrij)	135
El Habbache Nour Eddine	
Vers un indice d'attractivité territoriale institutionnelle : approche mathématique et applications pratiques	151
Laarich Jawad	
Lifelong learning in Mosques and women's socio-economic integration in Morocco, case study of Kelaat Sraghna province	169
Aomar ibourk, kabir elmakhloufi, Mohammed Elaklaa, kabira raziqi , Zakaria elouaourti	

Axe 1 :
Hydrologie, Changement Climatique
et Risques Naturels

Les stations de dessalement dans la région Marrakech Safi : entre exigences de développement et adaptation au changement climatique

Desalination Plants in the Marrakech-Safi Region: Between Development Requirements and Climate Change Adaptation

EL-LOUZI Zineb¹, MANSOUM Mohamed²

¹ Doctorante au Laboratoire Géomorphologie, Environnement
et Société, UCA, FLSH, Marrakech.

² Professeur au Laboratoire Géomorphologie, Environnement
et Société, UCA, FLSH, Marrakech

z.ellouzi.ced@uca.ac.ma - m.mansoum@uca.ac.ma

Résumé : La région de Marrakech-Safi, confrontée à une crise hydrique croissante due au changement climatique et à la surexploitation des nappes phréatiques, adopte le dessalement de l'eau de mer comme solution alternative pour garantir l'approvisionnement en eau potable et industrielle. La station de dessalement de Safi, mise en service en 2022 par l'Office Chérifien des Phosphates (OCP), est un exemple clé de cette stratégie. Sa capacité initiale de 8 Mm³/an a été portée à 42 Mm³/an en 2023, avec 30 Mm³/an destinés à l'eau potable et 12 Mm³/an à l'industrie. Ce projet s'inscrit dans une politique nationale plus large visant la construction de 20 stations de dessalement d'ici 2030. Cependant, cette solution soulève plusieurs impacts majeurs. D'un point de vue environnemental, le rejet de saumure fortement salée dans le milieu marin peut perturber la biodiversité locale en augmentant la salinité et en modifiant les écosystèmes côtiers. De plus, l'utilisation de produits chimiques, comme les biocides et anticalcaires, présente un risque pour la faune et la flore marine. Sur le plan énergétique, le dessalement repose sur des procédés énergivores, notamment l'osmose inverse, ce qui accroît la dépendance aux énergies fossiles et génère des émissions de gaz à effet de serre. Enfin, le coût élevé de cette technologie pose un défi économique, tant pour sa mise en œuvre que pour la tarification de l'eau dessalée. Pour limiter ces impacts, des solutions comme l'utilisation d'énergies renouvelables, la dilution des rejets salins et l'amélioration de l'efficacité énergétique des installations sont envisagées. Malgré ses défis, le dessalement constitue une réponse immédiate aux pénuries d'eau, mais il doit être intégré dans une gestion durable des ressources hydriques incluant la préservation des nappes phréatiques et l'optimisation de l'irrigation. Une approche équilibrée est essentielle pour assurer la résilience hydrique et le développement durable de la région Marrakech-Safi et du Maroc dans son ensemble.

Mots clés : dessalement, gestion d'eau, impacts, défis.

Introduction :

Le Maroc, avec ses trois façades maritimes (Méditerranéenne, Atlantique et détroit de Gibraltar), s'inscrit dans une tendance mondiale où les zones côtières subissent une pression croissante. Cette pression est due à divers facteurs tels que la croissance démographique, la raréfaction des ressources naturelles, les pénuries d'eau douce, le réchauffement climatique et les interventions anthropiques. Ces dynamiques affectent le littoral marocain, qui joue un rôle essentiel dans l'écosystème et l'économie du pays. L'eau est une ressource essentielle à la vie et au développement des sociétés, mais sa gestion devient un défi majeur à l'échelle mondiale, notamment dans les régions soumises à un stress hydrique. Le Maroc, et plus particulièrement la région de Marrakech-Safi, fait face à une situation critique. L'augmentation de la demande en eau potable et industrielle,

couplée aux effets du changement climatique¹⁰, entraîne une raréfaction des ressources naturelles. La diminution des nappes phréatiques, la baisse des précipitations et la variabilité des températures accentuent cette crise, mettant en péril l'approvisionnement en eau et fragilisant les écosystèmes locaux. Pour répondre à ces défis, des lois¹¹ et des textes réglementaires ont été adoptés, notamment le 15 octobre 2015, pour protéger le littoral.

Dans ce contexte, le dessalement de l'eau de mer, une technologie qui remonte comme une solution essentielle pour répondre à la pénurie d'eau douce. C'est dans ce cadre que les opérations ont commencé à la construction de plusieurs usines de dessalement d'eau de mer et de construire 20 stations d'ici 2030, au nombre de 15 stations de dessalement de l'eau de mer¹². Parmi les projets phares, on compte :

Le cas de la station de dessalement de Safi :

La station de Safi, construite par l'Office Chérifien des Phosphates (OCP), est en service depuis janvier 2022. Initialement conçue pour une capacité de 8 Mm³/an, elle a vu sa production augmenter à 42 Mm³/an en 2023, avec une répartition de 30 Mm³/an pour l'eau potable et 12 Mm³/an pour l'industrie.

Cette station, située au complexe chimique de Safi, est divisée en deux unités :

1. Une unité industrielle pour répondre aux besoins du complexe industriel de Safi.
2. Une unité d'eau potable, acheminée par pipeline jusqu'au réservoir Azib Draï pour approvisionner la population locale.

Conformément aux principes du développement durable, l'OCP a lancé une étude d'impact environnemental pour ses stations modulaires de dessalement¹³, en s'alignant sur les normes marocaines et internationales.

Cependant, si le dessalement apparaît comme une solution prometteuse, il soulève de nombreux défis. Son coût énergétique est considérable, nécessitant des infrastructures adaptées et une forte consommation d'électricité. De plus, l'impact environnemental du rejet des saumures dans le milieu marin et les conséquences sur la biodiversité locale restent des préoccupations majeures. Enfin, l'accessibilité à cette eau dessalée pour l'ensemble des populations et son intégration dans une gestion durable des ressources hydriques nécessitent une réflexion approfondie.

Dans un contexte de changement climatique marqué par la raréfaction des ressources en eau et l'aggravation des sécheresses, le dessalement de l'eau de mer peut-il constituer une solution durable et adaptée pour faire face aux défis hydriques de la région Marrakech-Safi, tout en limitant ses impacts environnementaux ?

¹⁰Institut Royal des Etudes Stratégiques : Programme d'études « Changement climatique : impacts sur le Maroc et options d'adaptation globales », Littoral marocain et changement climatique

¹¹ Loi de littoral

¹²https://static.medias24.com/content/uploads/2023/02/15/Carte-stations-dessalement2_en-service.svg?x42630 consulté le 25/11/2024

¹³Rapport EIES Projet de dessalement SAFI

Localisation de la zone d'étude :

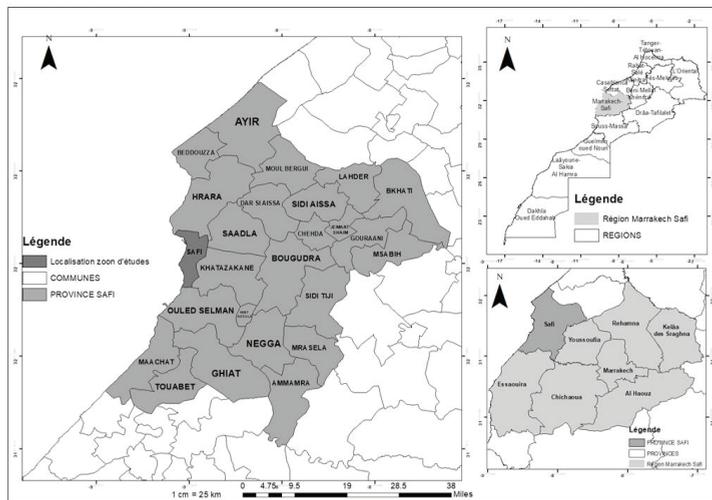


Figure n°1 : La localisation de la zone d'Etude.

Source : à la base de découpage administrative de Maroc 2015

Situation géographique du projet de point de vue administratif, le projet se situe dans la commune de Safi, province de Safi qui se rattache administrativement à la région de Marrakech – Safi. Il consiste en la réalisation de deux stations de dessalement d'eau de mer, la première se situe à l'intérieur du complexe industriel de Safi, sur une superficie de 2 ha, pour satisfaire les besoins en eaux industrielles du complexe de Safi ; et la deuxième se situe à proximité du complexe industriel de Safi, sur une superficie de 2,5 ha, pour satisfaire les besoins en eau potable de la population de la ville de Safi. Les sites du projet sont accessibles par la route régionale 301 reliant El Jadida à Safi, et la route régionale 204 assurant l'accès à l'autoroute A1.

1. Politiques publiques : Stratégie nationale dans le secteur d'eau au Maroc, à l'horizon 2030.

La stratégie nationale du Maroc pour le secteur de l'eau à l'horizon 2030 repose sur une approche intégrée visant à assurer la sécurité hydrique du pays face aux défis climatiques et au stress hydrique croissant. Cette politique se décline à travers plusieurs axes d'action, notamment la construction de soixante grands barrages d'une capacité totale de 7 milliards de m³, le transfert d'eau du Nord vers le Sud pour équilibrer les ressources entre les bassins, ainsi que le développement des infrastructures de dessalement et de déminéralisation des eaux saumâtres afin de produire près de 400 Mm³ d'eau potable par an. Dans cette optique, des stations de dessalement sont prévues dans plusieurs villes côtières, dont Casablanca, Agadir, Safi et Dakhla, afin de garantir l'alimentation en eau des zones urbaines et de réduire la pression sur les ressources conventionnelles. En parallèle, le Plan National de l'Eau (PNE) 2020-2050 intègre une vision à long terme pour sécuriser l'approvisionnement en eau en renforçant la complémentarité entre les ressources conventionnelles (barrages, nappes phréatiques) et non conventionnelles (dessalement, recyclage des eaux usées). La réutilisation des eaux usées, bien que sous-exploitée, représente un levier essentiel avec un potentiel estimé à 300 Mm³/an, utilisé principalement pour l'irrigation agricole et les espaces verts. Grâce

aux avancées technologiques, telles que la filtration membranaire et la désinfection par UV, cette ressource pourrait être élargie à d'autres usages, y compris l'alimentation en eau potable.

L'amélioration des infrastructures de traitement permettrait ainsi de diversifier les sources d'eau et de réduire la dépendance au dessalement dans certaines régions. En outre, les interconnexions hydriques, comme l'autoroute de l'eau reliant Sebou à Bouregreg, constituent un élément clé de cette stratégie en facilitant le transfert des ressources entre les bassins excédentaires et déficitaires. L'optimisation des réseaux de distribution et de l'irrigation est également une priorité, étant donné que les pertes en eau atteignent parfois 30 % en milieu urbain. Les barrages agricoles, qui retiennent actuellement 3,71 milliards de m³ d'eau, sont principalement situés dans les bassins du Sebou et du Loukkos, avec 722 millions de m³ alloués à l'irrigation des périmètres agricoles. Cependant, certaines régions comme Doukkala, Al Haouz et Souss-Massa restent dépendantes de l'augmentation du niveau des réservoirs pour assurer leurs besoins en eau. Pour répondre à ces enjeux, le Maroc prévoit d'accélérer ses projets de dessalement afin d'atteindre une capacité de 1,7 milliard de m³ d'eau dessalée d'ici 2030, ce qui permettrait de renforcer l'approvisionnement des villes côtières et de préserver les ressources hydriques pour l'agriculture. En combinant la mobilisation de nouvelles ressources, la modernisation des infrastructures et la gestion rationnelle de la demande, cette stratégie ambitieuse vise à garantir la résilience hydrique du pays et à assurer un développement socio-économique durable dans toutes les régions¹⁴.

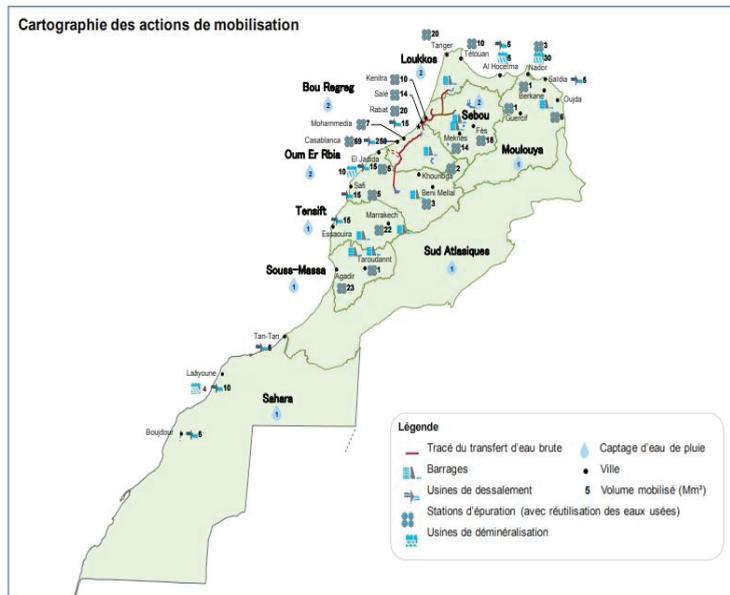


Figure n°2 : cartographie des actions de mobilisation.

Source : Ministère de l'Équipement et de l'Eau (Maroc).

La cartographie des actions de mobilisation des ressources en eau au Maroc révèle une stratégie nationale ambitieuse et diversifiée, axée sur plusieurs axes principaux. Le

¹⁴ Ministère de l'Équipement et de l'Eau (Maroc).

tracé du projet de transfert Nord-Sud, reliant les bassins de Sebou, Bouregreg et Oum Er-Rbia jusqu'au Tensift, témoigne d'une volonté d'interconnecter les principaux bassins hydrauliques, tandis que la concentration des barrages dans la partie nord du pays illustre l'importance accordée aux ressources en eau conventionnelles. Par ailleurs, la forte présence d'usines de dessalement le long de la côte atlantique souligne l'option stratégique de recourir aux ressources non conventionnelles pour garantir l'accès à l'eau, notamment dans les régions arides ou semi-arides. De même, la multiplication des stations d'épuration et de déminéralisation dans différentes régions montre une volonté de décentralisation et d'adaptation aux spécificités locales. L'ensemble de ces infrastructures, qu'il s'agisse de captages d'eau de pluie, de barrages, d'usines de dessalement ou de stations d'épuration, révèle la volonté du pays de combiner une approche axée sur l'offre et la demande, et d'adapter sa stratégie aux contraintes hydriques et aux défis imposés par le changement climatique. Cette stratégie de mobilisation des ressources, si elle est menée à bien, devrait permettre de renforcer la résilience du pays et assurer la disponibilité en eau pour le développement socio-économique des différentes régions.

2. Changement climatique et pénurie l'eau dans la région de Marrakech Safi :

Une crise amplifiée par le changement climatique Dans un contexte de sécheresse persistante, accentuant la pression sur ses ressources en eau, a attiré l'attention sur un indice alarmant. la température moyenne avait enregistré une hausse de +1,8°C, dépassant la limite de 1,5°C fixée par l'Accord de Paris. Cette élévation des températures entraîne une augmentation significative du phénomène d'évaporation, atteignant jusqu'à 1,5 million de mètres cubes d'eau par jour¹⁵.

Ce dernier entraîne une réduction des précipitations et une augmentation des températures, diminuant ainsi la recharge des nappes et augmentant les pertes par évaporation.

Pour la région de Marrakech-Safi les indicateurs du changement de température montrent que la région connaît actuellement une tendance générale à la hausse des températures, avec une augmentation d'environ 0,5 à 0,63 °C par rapport aux moyennes normales. Cette tendance a été confirmée par plusieurs études réalisées à partir des données disponibles dans les stations climatiques situées sur la côte de la région de Marrakech-Safi¹⁶. Le suivi de l'évolution des températures entre 1960 et 2010 révèle une forte corrélation avec les variations thermiques globales. La température suit une trajectoire ascendante, indiquant que la région subit un réchauffement similaire à celui observé dans le reste du monde. Cette évolution thermique a traversé une période humide entre le début des années 1960 et les années 1980, durant laquelle les températures étaient inférieures à la moyenne nationale, suivie d'une période de réchauffement qui s'étend des années 1980 à aujourd'hui, caractérisée par une hausse générale des températures. L'étude climatique des écosystèmes côtiers de la région Marrakech-Safi a également mis en évidence des différences entre l'écosystème côtier d'Abda et ceux de Chiadma et Haha, bien que toutes ces zones présentent des perturbations significatives du régime des précipitations. Ces perturbations se manifestent par des changements majeurs dans la répartition spatio-temporelle des précipitations, aussi bien à l'échelle annuelle,

¹⁵ Rapport de la situation des ressources en eau dans notre pays : Mesures prises et programme d'urgence pour assurer l'eau

¹⁶ Elwirari, Z. (2021). Le changement climatique et les stratégies d'adaptation sur les côtes de la région de Marrakech-Safi (Thèse de doctorat). Université Cadi Ayyad.

saisonnaire que mensuelle. L'analyse de l'écart-type a révélé une augmentation de la fréquence des années sèches au cours des 30 dernières années, accompagnée d'une baisse des précipitations en automne et en hiver, ainsi qu'une diminution du nombre de jours de pluie. Le régime thermique a également connu des variations marquées entre ces écosystèmes. Une hausse significative des températures a été observée au cours des 30 dernières années, particulièrement sur la côte d'Abda, où l'augmentation des températures maximales s'est accompagnée d'une diminution des températures minimales, entraînant un élargissement de l'amplitude thermique. Cette évolution a également eu un impact sur le taux d'humidité, qui a connu une augmentation importante sur la côte de Chiadma.

Cette carte illustre la répartition de l'accès à l'eau potable dans les communes souffrant d'une pénurie d'eau, où l'alimentation en eau potable est inférieure à 20 %.

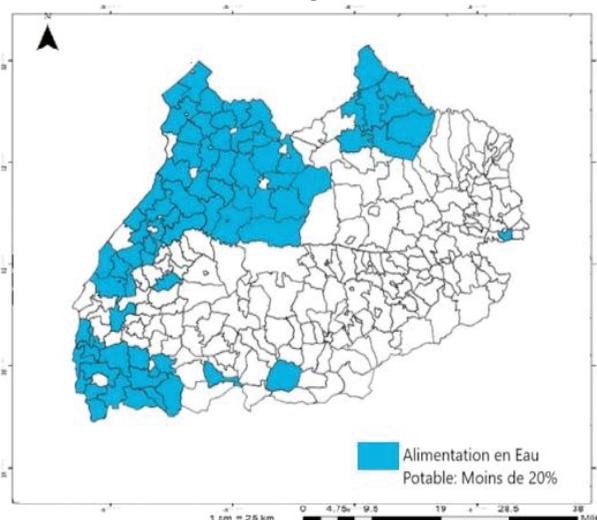


Figure n°3 : Cartographie de l'Alimentation en Eau Potable (< 20 %) -Région Marrakech-Safi

Source : le Programme de Développement Régional (PDR) de la Région de Marrakech-Safi 2017-2022.

La carte représente l'accès à l'eau potable dans les communes de la région Marrakech Safi. Les zones en bleu indiquent les communes où l'alimentation en eau potable est inférieure à 20 %. On observe une forte concentration de ces zones dans le nord-ouest et certaines parties du sud-ouest de la région, suggérant une disparité géographique significative dans l'accès aux infrastructures d'eau potable.

Enfin cette combinaison de surexploitation et d'impact climatique engendre une pénurie d'eau douce de plus en plus aiguë dans la région, Cela nécessite une gestion durable des ressources en eau souterraines. Des mesures doivent être prises pour réduire le gaspillage d'eau, améliorer l'efficacité de l'irrigation, et promouvoir l'utilisation d'eaux non conventionnelles (dessalement des eaux salées (eau de mer et saumâtre), réutilisation des eaux usées traitées), en agissant à la fois sur la demande et sur l'offre, via une diversification des sources d'approvisionnement, l'adoption de mesures d'adaptation, et une surveillance des niveaux piézométriques. Ces actions devront s'inscrire dans le cadre

d'une planification et une approche intégrée pour assurer la pérennité des ressources et éviter une crise majeure.

3. Le Dessalement de l'Eau de Mer au Maroc : Une Alternative Durable aux Défis Hydriques.

Le gouvernement marocain a mis en œuvre diverses mesures pour remédier aux pénuries d'eau dans les régions irriguées, dans le but d'optimiser l'utilisation de l'eau et d'assurer le succès de la saison agricole actuelle.

Le Maroc a accéléré les projets de dessalement de l'eau de mer, dans le but de produire plus de 1,7 milliard de mètres cubes d'eau dessalée d'ici 2030. Cette initiative vise à approvisionner les villes côtières et à réduire la pression sur les sources d'eau traditionnelles, permettant ainsi de réorienter ces ressources vers l'agriculture.

L'un des projets clés, l'usine de dessalement de Dakhla, d'une capacité annuelle de 37 millions de mètres cubes, est déjà achevé à 70 %. Selon le ministre, une autre usine en construction à Casablanca fournira 300 millions de mètres cubes par an, dont 50 millions de mètres cubes seront utilisés spécifiquement pour l'irrigation.

les futurs projets de dessalement prévus dans plusieurs régions, notamment une usine de dessalement de 300 millions de mètres cubes dans la région de l'Est, dont 160 millions de mètres cubes seront utilisés pour l'agriculture, une usine de dessalement de 150 millions de mètres cubes à Tanger, une installation de 300 millions de mètres cubes à Rabat, des projets à Oum Er-Rbia et Tensift - chacun d'une capacité de 300 millions de mètres cubes pour l'irrigation - et une grande installation à Souss-Massa d'une capacité de 350 millions de mètres cubes, dont 250 millions de mètres cubes seront utilisés pour l'agriculture.

C'est dans ce cadre que les opérations ont commencé à la construction de plusieurs usines de dessalement d'eau de mer et de construire 20 stations d'ici 2030, Actuellement au nombre de 15 stations de dessalement de l'eau de mer qui sont en service comprend¹⁷ :

Tableau n°1 : Projets de dessalement de l'eau de mer programmés Mise en Service

Station de Dessalement	Capacité (Mm ³ /an)	AEP (Mm ³ /an)	Irrigation (Mm ³ /an)	Autres Usages	Mise en Service
Grande Casablanca	300	270	30	-	2026/2030
Agadir	45,6	18,3	27,3	-	2022 (opérationnelle)
Oriental	250	140	110	-	2027/2035/2040
Guelmim	34,6	14,5	20	-	2027/2030/2035/2045
Extension Tarfaya	0,47	0,47	-	-	2027/2030/2035/2045
Essaouira	42,8	12,8	30	-	2027/2030/2035
Tiznit-Sidi Ifni	54,6	114,6	40	-	2027/2030/2035/2040

¹⁷<https://static.medias24.com/content/uploads/2023/02/15/Carte-stations-dessalement2-en-service.svg?x42630> consulte le 25/11/2024

Tan-Tan	47,2	3,2	35	Hydrogène Vert : 9	2027/2030/2035/2040
Boujdour	60	-	60	-	2030/2035

Ces stations produiront 57 % d'eau destinée à l'AEP, 42 % à l'irrigation et 1 % à l'industrie.

AEP : Alimentation en Eau Potable

MES : Mise En Service

Tableau n°2: Projets de dessalement de l'eau de mer en service ou en cours de réalisation¹⁸.

Station de Dessalement	Capacité Existante (Mm ³ /an)	Capacité En Cours (Mm ³ /an)	Répartition (AEP/Industrie)	MES (Années)
Al Hoceima	-	6,3	AEP	-
Jorf Lasfer	40 (industrie)	60	45 (AEP) / 15 (industrie)	2023/2024/2027
Safi	8 (industrie)	42	30 (AEP) / 12 (industrie)	2023/2024/2027
Tarfaya	0,16	0,47	AEP	-
Sidi El Ghazi	0,03	0,03	AEP	-
Laâyoune	1,2 (industrie, 2003)	19	1,2 (industrie existante)	-
Boujdour	-	3,9	AEP	-
Dakhla	-	37	AEP	-
Agadir	-	100,4	AEP	-
Sidi Ifni	-	3,15	AEP	-
Akhfénir	-	0,3	AEP	-
Amegrew	-	0,16	AEP	-
El Mhiriz	-	0,01	AEP	-

La région de Marrakech-Safi a une station en mise en service c'est la station de Safi, qui a été construite par l'Office chérifien des phosphates deux station de dessalement de Safi, opérationnelle depuis janvier 2022 avec une Capacité de 8Mm3/an soit industrielle et alimentation en eau potable et en cours de 2023 cette station peut produire 42 Mm3/an une Alimentation en Eau Potable de 30Mm3/an et Industrie : 12Mm3/an d'ici 2027 au niveau de complexe chimique de Safi.

La 1^{ère} pour satisfaire les besoins en eaux industrielle de complexe industriel de Safi.

La 2^{ème} pour répondre aux besoins en eaux potable de la population de la ville de Safi cette eau potable produite sera acheminée via pipeline jusqu'au le réservoir Azib Draï.

¹⁸ Ministère de l'Équipement et de l'Eau



Figure n°4: Photo Aérienne de l'Unité de Dessalement de l'Eau de Mer à Safi
Source : Dessalement de l'eau de mer de Safi Google earth

A condition de l'obligation d'Allier entre les impératifs du développement, la protection de l'environnement conformément aux principes développement durable, l'OCPSA s'aligne avec les exigences réglementaires marocaines et standards internationaux, et a lancé l'étude d'impact sur l'environnement du projet de stations de dessalement modulaires Safi¹⁹.

Donc cette recherche vise à étudier le cas du littoral de Safi qui illustre ces défis. Les stations de dessalement, tout en fournissant une réponse à la crise de l'eau, peuvent entraîner des changements significatifs dans l'écosystème marin, affectant la faune, la flore, et l'intégrité des paysages côtiers. Cette étude se propose d'analyser.

4. Les techniques de dessalement utilisé dans la station :

Osmose inverse : cette technique « membranaire » repose sur une ultrafiltration sous pression au travers de membranes dont les pores sont des « trous » si petits que même les sels sont retenus. Cette technique, en plein essor (coût énergétique moyen ($\approx 4-5$ kWh/m³)) est un système éprouvé ayant montré sa fiabilité.

Les grandes étapes du dessalement de l'eau de mer une centrale de dessalement est une installation capable de produire d'importants volumes d'eau potable à partir de l'eau de mer en suivant un processus rigoureux en plusieurs étapes. Tout commence par la prise d'eau, où l'eau est prélevée à une profondeur optimisée pour limiter l'aspiration des sédiments et des organismes marins. L'eau brute subit ensuite un prétraitement, une étape essentielle où elle est filtrée pour éliminer les particules en suspension, les matières organiques et les microorganismes. Cette phase protège les équipements en réduisant les risques d'encrassement et prolonge la durée de vie des membranes. L'eau ainsi clarifiée passe à travers les membranes d'osmose inverse, qui retiennent le sel et les impuretés en ne laissant passer que l'eau douce. Cette technologie permet d'atteindre une qualité d'eau conforme aux normes de potabilité, même à partir d'eau de mer très salée. Après la filtration, un post-traitement est nécessaire pour ajuster le pH et reminéraliser l'eau avec du calcium et du magnésium afin de garantir une composition adaptée à la consommation et à la distribution. Enfin, la gestion des rejets assure une dispersion contrôlée de la

¹⁹ Rapport EIES Projet de dessalement SAFI

saumure en mer à l'aide de diffuseurs conçus pour limiter l'impact sur les écosystèmes marins. Grâce à cette succession d'étapes, une centrale de dessalement peut fournir de grands volumes d'eau douce, contribuant ainsi à la sécurisation de l'approvisionnement en eau potable dans les régions soumises au stress hydrique.



Figure n°5 : photo l'Infrastructure de Dessalement de l'Eau de Mer à Safi

Source : l'intérieur de station de dessalement de l'eau de mer

4.1. Station de dessalement industrielle

La station de dessalement au niveau du complexe chimique de Safi comprend l'installation de 14 trains d'osmose inverse, d'une capacité de production de 22 Mm³/an, permettant le traitement de l'eau de mer pour obtenir une eau douce utilisée dans les processus industriels à savoir l'alimentation de l'ensemble des usines de Safi²⁰.

4.2. Station de dessalement d'eau potable

La station de dessalement située à proximité du complexe chimique de Safi est d'une capacité de production de 30 Mm³/an, pour répondre aux besoins en eau potable de la population de la ville de Safi. L'eau potable produite sera acheminée via une conduite d'eau potable d'une longueur d'environ 10 km jusqu'au réservoir Azib Draï via un pipeline²¹ d'une capacité de 15000 m³. Le projet est prévu sur trois phases :

- Phase 1 du projet, la station de dessalement comprend l'installation de 6 trains d'osmose inverse, d'une capacité de production de 10 Mm³/an.
- Phase 2 du projet, la station de dessalement comprend l'installation de 6 trains d'osmose inverse, d'une capacité de production de 10 Mm³/an.
- Phase 3 du projet, la station de dessalement comprend l'installation de 6 trains d'osmose inverse, d'une capacité de production de 10 Mm³/an, prévue pour une extension future à partir de 2024.

5. Synthèse des impacts et des mesures d'atténuation du projet :

Bien que le dessalement semble être une réponse essentielle à la crise de l'eau, ses aspects cachés sous la surface aquatique requièrent une considération spécifique. Les

²⁰ Maroc Chimie, Maroc phosphore 1, Maroc phosphore 2 (MP2) et la Laverie

²¹ Rapport EIES Projet de dessalement SAFI

prises d'eau et les rejets de sel, qui sont au cœur du processus, posent des problèmes techniques et environnementaux qui, s'ils ne sont pas bien gérés, peuvent nuire aux écosystèmes marins et mettre en péril la rentabilité et la longévité des centrales.

5.1- La prise d'eau au niveau de la station de dessalement :

La prise d'eau au niveau de la station de dessalement de Safi joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du projet. Ce dernier est soumis à plusieurs autorisations, notamment le contrat de concession et le cahier des charges relatifs au droit de dessalement des eaux de mer, ainsi que l'autorisation de prise d'eau de mer. Cette prise d'eau est située en amont du processus de dessalement, sur la côte atlantique, précisément sur le littoral de Safi. Cependant, les prises d'eau de mer présentent des défis critiques, notamment le risque de dysfonctionnement de la station en raison d'une pollution accidentelle ou d'une panne liée au processus de dessalement notamment des membranes utilisées pour l'osmose inverse. Ce risque est amplifié par la forte turbidité et les courants marins qui transportent d'importantes quantités de sédiments et de matières organiques. En effet, lorsque les prises d'eau sont positionnées à une profondeur insuffisante, inférieure à 25 mètres, elles peuvent aspirer non seulement du sable abrasif, mais aussi des organismes marins essentiels tels que les planctons et les larves de poissons. Cette aspiration perturbe directement les chaînes alimentaires locales, menaçant certaines espèces marines de disparition et impactant la biodiversité. Afin d'éviter ces conséquences néfastes, il est impératif que la prise d'eau atteigne une profondeur minimale de 25 mètres, garantissant ainsi une meilleure qualité de l'eau captée tout en préservant l'écosystème marin.

Bien que le littoral soit caractérisé par une pente moyenne d'environ 6° sur l'estran, les profondeurs requises pour l'installation des prises d'eau ne sont généralement atteintes qu'à une distance de 2 à 3 kilomètres au large. Le respect de ces exigences techniques impose des investissements initiaux conséquents, mais cet effort financier est essentiel pour garantir la durabilité et la viabilité du projet sur le long terme.

Selon une pente moyenne d'environ 6° et d'après les recherches, le transport des sédiments se poursuit jusqu'à des profondeurs de 10 à 20 mètres sur la façade atlantique de Safi, sous l'influence des houles. Ces dernières peuvent atteindre des hauteurs comprises entre 7 et 9 mètres à certaines périodes de l'année, tandis que des vagues dépassant 10 mètres apparaissent environ tous les deux à trois ans. La dérive sédimentaire varie considérablement selon les secteurs du littoral. Elle est estimée à environ 10 000 m³ entre le Cap Spartel et Jorf Lasfar, tandis qu'elle atteint près de 250 000 m³ à Safi, sous des conditions normales. Lors des tempêtes hivernales, la puissance accrue des vagues peut étendre cet impact jusqu'à 25 à 30 mètres, mettant en évidence la capacité naturelle du système côtier à s'adapter. Cette dynamique impose un positionnement stratégique des infrastructures maritimes. Il est ainsi recommandé d'installer les prises d'eau des stations de dessalement à une profondeur d'au moins 25 à 30 mètres, afin d'éviter l'aspiration des sédiments et des organismes marins délicats. Cette précaution permet d'assurer une meilleure qualité de l'eau et de prolonger la durée de vie des installations.

5.2- Impact des rejets d'eau salin sur l'environnement :

Lors de la phase d'exploitation, En aval du processus, les rejets salins sont tout aussi problématiques. Au moins 50% de l'eau de mer aspirée est rejetée sous forme de saumure, une eau fortement concentrée en sel, en plus des produits chimiques, tels que les

antiscalants (qui empêchent la formation de dépôts dans les membranes) et les biocides (utilisés pour prévenir la prolifération d'organismes dans les circuits), augmentent également la toxicité des rejets. Ces substances, bien qu'indispensables pour maintenir l'efficacité des centrales, posent un risque supplémentaire pour les écosystèmes marins, en particulier dans des zones comme ce littoral de Safi, où la biodiversité est riche et essentielle pour la pêche locale. Utilisés dans les étapes de prétraitement. Cette saumure rejetée modifie localement la salinité et la température de l'environnement marin, créant des zones dites « hypoxiques ». Dans ces zones, le faible taux d'oxygène nuit à la survie des espèces marines et altère l'équilibre écologique.

Mais plusieurs types de déchets sont générés par le processus, nécessitant chacun une gestion spécifique pour minimiser leur impact environnemental. La saumure²² est produite à un débit de 3 565 m³/h pour la station de site et 3 055 m³/h pour la station de ville. À la station de site, elle est diluée avec les eaux de refroidissement avant d'être rejetée via la conduite de rejet existante MP2, tandis qu'à la station de ville, elle est réutilisée dans la laverie. Les effluents liquides issus du système de dessalement de l'eau, également classés comme déchets non dangereux, sont générés à raison de 302 m³/h pour la station de site et 259 m³/h pour la station de ville. Ils sont neutralisés avant leur rejet via la conduite MP2 pour la station de site, tandis qu'à la station de ville, ces effluents sont neutralisés et réutilisés. Les membranes de l'osmose inverse, considérées comme déchets solides non dangereux²³, sont remplacées à raison de 13 440 unités par an, stockées conformément aux réglementations en vigueur, puis acheminées vers une décharge contrôlée. Par ailleurs, l'exploitation du projet présente un risque potentiel de contamination du sol et des eaux souterraines, principalement en raison de fuites ou de déversements accidentels de matières premières et de produits chimiques.

Il est donc impératif que leur transport, manutention et stockage respectent strictement les directives environnementales pour prévenir toute pollution. De plus, les opérations de maintenance peuvent également impacter la qualité du sol et des eaux souterraines si elles sont mal gérées. Toutefois, les eaux souterraines dans la zone d'étude se situent à des profondeurs importantes (jusqu'à 80 m), offrant ainsi une protection naturelle contre la pollution de surface. De plus, le faible potentiel hydrologique de la région, l'absence de captage d'eau, ainsi que la fréquence réduite des incidents limitent ces impacts. Toutes les installations de production seront implantées sur des plateformes imperméabilisées et équipées de systèmes de récupération des fuites. Les produits dangereux seront stockés dans des cuves étanches et des rétentions conformes aux réglementations environnementales.

L'OCP dispose également d'un référentiel environnemental garantissant une gestion sécurisée des produits chimiques, prévenant ainsi tout risque d'exposition du personnel ou de fuites incontrôlées. Concernant le rejet des eaux, les eaux usées sanitaires seront traitées dans une station monobloc, tandis que les saumures issues du dessalement seront diluées avec les eaux de mer utilisées pour le refroidissement du MP2, réduisant ainsi leur concentration saline avant rejet via le canal existant. Cette méthode permet d'éviter un rejet direct des saumures à 62,54 g/l, ce qui pourrait altérer l'équilibre physico-chimique du milieu marin. Grâce à cette approche, la salinité finale du mélange rejeté ne dépassera pas 45 g/l, soit une augmentation de seulement 5 g/l par rapport au seuil naturel de 40 g/l

²²PROJET DE STATIONS DE DESSALEMENT MODULAIRES SAFI.

²³PROJET DE STATIONS DE DESSALEMENT MODULAIRES SAFI.

des eaux marines. La majorité des organismes marins pouvant tolérer de légères variations de salinité, cet impact résiduel restera négligeable. De plus, les espèces présentes dans la zone d'influence n'ont pas de valeur patrimoniale et sont largement répandues sur la côte atlantique marocaine. Enfin, le rejet final des effluents via la conduite MP2 fera l'objet d'un suivi rigoureux pour assurer la conformité avec les normes environnementales en vigueur. Plusieurs paramètres physico-chimiques seront analysés semestriellement, notamment la température, le pH, la conductivité, les solides dissous (TDS), la turbidité, le chlore libre (Cl₂), ainsi que les matières en suspension (MES), afin de garantir un rejet maîtrisé et respectueux de l'environnement. En conclusion, les mesures mises en place permettent de limiter efficacement l'impact du projet sur le sol, les eaux souterraines et le milieu marin, garantissant ainsi une exploitation durable et respectueuse des écosystèmes.

Mais la technique la plus utilisable et efficace à ne pas contaminer les ressources du littoral :

Pour réduire ces effets, diverses solutions technologiques et opérationnelles sont appliquées. Par exemple, les émetteurs multiports facilitent la dispersion des rejets sur une vaste zone, en se basant sur les courants naturels pour favoriser la dilution. Ces appareils diminuent les niveaux de sel localisés, limitant ainsi les préjudices aux écosystèmes. Cependant, ici aussi, la profondeur est un facteur qui nécessite de dépasser la zone littorale de transit.

Par conséquent, la surveillance stricte du respect des cahiers des charges en milieu subaquatique pourrait être plus importante que celle de l'installation terrestre, qui ne représente qu'une partie visible de l'iceberg. De même, la surveillance en temps réel des impacts sous-marins est indispensable pour assurer une exploitation durable. L'usage de capteurs intelligents et l'emploi de drones subaquatiques permettent désormais de contrôler les indicateurs clés, tels que la qualité de l'eau, les taux de salinité et les impacts sur la biodiversité. Ces instruments facilitent l'adaptation des opérations afin de minimiser les effets, tout en garantissant la durabilité des infrastructures.

De ce point de vue, il est souhaitable que les rejets de saumure soient dispersés au-delà de la région côtière, préférablement à des profondeurs allant de 35 à 50 mètres. Pour assurer une dilution optimale tout en minimisant leur empreinte écologique, l'emploi de modèles numériques éprouvés comme Delft3D et MIKE21 permet d'ajuster leur placement et leur diffusion en tenant compte des courants marins. Il est essentiel de réaliser ces modélisations pour prévoir l'impact des rejets sur l'écosystème marin et garantir leur insertion durable. Ces efforts, bien qu'exigeants sur le plan financier et technique, sont indispensables pour garantir la durabilité de cette solution hydrique essentielle pour une façade atlantique de la ville de Safi résiliente.

5.3- Impact des conduites et canaux sur le transit sédimentaire littoral :

Le transit littoral est un phénomène essentiel à l'équilibre naturel des côtes marocaines, contribuant à la formation et au renouvellement des plages sous l'effet des vagues et des courants marins. Tel que les houles qui le littoral de Safi se classent en trois catégories principales. Tout d'abord, les houles de tempête, provenant du secteur sud-ouest (SO), sont générées par des coups de vent et ont un effet érosif marqué sur la côte de Safi. Ensuite, les houles fortes, orientées nord-ouest à ouest (NO-O), présentent une amplitude supérieure à 3 mètres avant leur déferlement. Elles engendrent des courants de houle épisodiques mais violents, qui, en fonction de leur obliquité par rapport aux

isobathes, provoquent des transferts littoraux. Ce phénomène entraîne un dégraissement du haut estran au profit des petits fonds. Enfin, les houles faibles et moyennes, également orientées NO-O, ont une amplitude ne dépassant pas 2 mètres. L'intensité et la direction du vent influencent directement la hauteur et la force des vagues. La zone est exposée à une houle dominante de nord-ouest (NO), représentant environ 75 % du temps. Ces vagues trouvent leur origine dans l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande, un phénomène climatique connu sous le nom d'oscillation nord-atlantique (NAO). Les tempêtes générées par ces systèmes dépressionnaires affectent le climat maritime de la zone des Açores et étendent leur influence jusqu'aux côtes du Maroc et de la Mauritanie. Les vagues résultantes sont généralement de longue période et proviennent de l'ouest-nord-ouest (ONO) ou du nord-ouest (NO). Ce processus dynamique permet un déplacement constant des sédiments, sculptant le littoral et jouant un rôle clé dans la résilience des écosystèmes côtiers face aux aléas climatiques.

Conclusion :

La région de Marrakech-Safi, à l'instar de nombreuses zones arides du Maroc, Face à ces défis, le pays a opté pour le dessalement de l'eau de mer comme alternative stratégique afin d'assurer un approvisionnement en eau potable et industriel.

Cependant, cette solution, bien qu'efficace à court terme, soulève plusieurs enjeux environnementaux et économiques. La forte consommation énergétique du processus, l'impact des rejets de saumure sur les écosystèmes marins, ainsi que le coût élevé du dessalement posent des questions quant à sa viabilité à long terme.

Ainsi, bien que le dessalement de l'eau de mer représente une réponse immédiate à la crise hydrique, il ne peut être envisagé comme une solution unique. Il doit être intégré dans une stratégie globale de gestion durable des ressources en eau, incluant la préservation des nappes phréatiques, l'optimisation de l'usage agricole et domestique, ainsi que le recours aux énergies renouvelables pour minimiser son empreinte écologique. Seule une approche équilibrée et diversifiée permettra de répondre aux défis hydriques de la région Marrakech-Safi tout en garantissant un développement durable et résilient face aux effets du changement climatique.

L'interaction entre le transport littoral et les infrastructures en bord de mer, en particulier celles consacrées à la désalinisation de l'eau, offre de nouvelles possibilités pour un développement durable. En adoptant une stratégie qui prend en compte les équilibres sédimentaires, ces initiatives peuvent non seulement assurer l'approvisionnement en eau potable, mais également participer à la protection du littoral. Par exemple, des ajustements stratégiques tels que la régulation des flux sédimentaires ou l'amélioration des rejets marins assurent une dynamique positive, garantissant donc une croissance équilibrée entre les infrastructures et l'environnement naturel.

Bibliographie :

- Discours du Trône : Le Roi appelle à accélérer «la réalisation des stations de dessalement de l'eau de mer ». (2024). La Quotidienne. <https://www.laquotidienne.ma/discours-du-trone-le-roi-appelle-a-acceler-la-realisation-des-stations-de-dessalement-de-leau-de-mer/>
- Atalayar. Les réserves d'eau agricole du Maroc atteignent 26 %. Consulté le 25/01/2025. Disponible sur : <https://www.atalayar.com/fr/articulo/societe/reserves-deau-agricole-du-maroc-atteignent-26/20250125190000210119.html>

- de-la-gestion-integree-des-zones-cotieres-gizc-a-la-politique-maritime-integree-pmi-un-nouveau-droit-pour-le-littoral europe
- Dessalement : Cartographie des projets. (2024). Maroc Diplomatique.
<https://www.maroc-diplomatique.net/dessalement-cartographie-des-projets/>
Dessalement de l'eau : une solution efficace qui peut devenir une menace pour le milieu marin. (2024). Médias24.
- Elwirari, Z. (2021). Le changement climatique et les stratégies d'adaptation sur les côtes de la région de Marrakech-Safi (Thèse de doctorat). Université Cadi Ayyad.
- Gestion intégrée des zones côtières : quatre illusions bien ancrées. (2024). Open Edition.
<https://journals.openedition.org/cybergeogeo/8922>
- <https://www.medias24.com/dessalement-de-leau-une-solution-efficace-qui-peut-devenir-une-menace-pour-le-milieu-marin/>
- Le Programme de Développement Régional (PDR) de la Région de Marrakech-Safi 2017-2022.
- MANSOUM, Mohamed. Les Plaines marocaines entre l'héritage naturel et la réhabilitation de l'espace.
- Maroc Chimie, Maroc Phosphore 1, Maroc Phosphore 2 (MP2) et la Laverie. Étude d'impact environnemental et de faisabilité des stations de dessalement de Safi.
- Médias24. Carte des stations de dessalement en service au Maroc. Consulté le 25/11/2024. Disponible sur :
https://static.medias24.com/content/uploads/2023/02/15/Carte-stations-dessalement2_en-service.svg?x42630
- Meteoblue. Changement climatique à Safi, Maroc. Consulté le 28/01/2025. Disponible sur : https://www.meteoblue.com/fr/climate-change/safi_maroc
- Ministère de l'Équipement et de l'Eau - Maroc. La situation des ressources en eau dans notre pays : mesures prises et programme d'urgence pour assurer l'eau.
- Ministère de l'Équipement et de l'Eau - Maroc. Rapport annuel sur les ressources hydriques au Maroc.
- Ministère de l'Équipement et de l'Eau - Maroc. Rapport EIES – Projet de dessalement de Safi.
- Rapport de la situation des ressources en eau dans notre pays : Mesures prises et programme d'urgence pour assurer l'eau
- Safi, ville polluée, lutte pour sa survie écologique. (2024). Tel quel.
<https://www.telquel.ma/2024/08/30/safi-ville-polluee-lutte-pour-sa-survie-ecologique/>
- UNESCO World Water Assessment Programme (WWAP). United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change. UNESCO Publishing, 2020.