

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم والبحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur et de Master en Sciences de la Mer**

Option : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème :

**Evaluation de l'empreinte Carbon d'une
station de dessalement de l'eau de mer de
Fouka (Tipaza) .**

Présenté par :

Amiour Bouchra

Boussetoua Nerdjes

Soutenu le 23 /09/2024 devant le jury composé de :

| | | |
|------------------------|-------------------|------------------------------|
| Mme.Kaidi N | Présidente | ENSSMAL |
| M. Grimes Samir | Promoteur | ENSSMAL |
| M.Zerrouki M | Examineur | ENSSMAL |
| Ouled Bouamama | Invité | Chef de la SDEM FOUKA |

Année universitaire : 2023- 2024

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos plus sincères remerciements à notre famille merveilleuse, dont l'amour et le soutien indéfectibles ont été des piliers tout au long de notre parcours. À nos amis, dont les encouragements et le soutien constant ont illuminé chaque étape de notre chemin, nous vous sommes infiniment reconnaissants.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre promoteur, Monsieur Grimes Samir, pour son encadrement éclairé et précieux, sans lequel notre travail n'aurait pas atteint le niveau d'excellence souhaité. Nous n'oublions pas les professeurs extraordinaires qui ont généreusement partagé leur savoir et leur sagesse, enrichissant ainsi notre apprentissage et notre réflexion.

Nous exprimons également notre reconnaissance profonde à toutes les personnes et institutions qui ont contribué à la concrétisation de cette réalisation majeure. Nous rendons grâce à Dieu pour ses bénédictions infinies et pour les opportunités qui nous ont été offertes pour réaliser nos aspirations.

Enfin, nous souhaitons adresser nos plus chaleureux remerciements à M. Belkacem Ouled Bouamama, le chef de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka (Tipaza), pour avoir dirigé notre stage avec une expertise remarquable. Nous ne saurions oublier notre co-promotrice, Madame Akrouf Sonia, dont les conseils ont été précieux.

AMIOUR et BOUSSETOUA

Dédicaces

Avant tout, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, dont les bénédictions infinies et la guidance bienveillante ont éclairé chaque étape de ce parcours. C'est grâce à Sa grâce et à Son soutien que ce travail a pu se concrétiser.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude et mon respect sincère envers toutes les personnes qui ont été essentielles dans l'accomplissement de ce mémoire :

À mon cher père et ma chère mère, pour leur amour inconditionnel et leur soutien inébranlable. Votre foi en moi et vos encouragements constants ont été des sources de force et de motivation tout au long de mon chemin.

À mon encadreur, M. Grimes Samir, pour ses conseils précieux, sa sagesse et son soutien constant. Votre expertise et votre patience ont été des éléments clés dans la réalisation de ce projet, et je vous en suis profondément reconnaissant. À Madame Sonia Akrou, pour ses conseils éclairés. À Monsieur Blkacem, chef de la SDEM de Fouka, pour sa disponibilité, son accueil chaleureux et les informations cruciales fournies. Votre assistance a grandement facilité l'analyse et la compréhension des enjeux complexes liés à la station de dessalement.

À mon frère Aziz et ma sœur Aziza, pour leur soutien moral et leur présence réconfortante. Vous avez toujours été des sources d'inspiration et de force, et je vous en suis infiniment reconnaissant. Aux enfants de ma sœur, Wassim et Yazan, pour la joie et la légèreté qu'ils apportent dans ma vie. Leur innocence et leur sourire ont été une source précieuse de bonheur et de motivation tout au long de ce travail. À mon binôme précieux, Bouchra, pour son dévouement exemplaire, sa collaboration harmonieuse et ses idées novatrices. Votre engagement et votre créativité ont enrichi ce projet de manière inestimable.

À ma meilleure amie Chaima, pour son amitié sincère, son écoute attentive et son soutien sans faille. Votre présence et vos encouragements ont été des rayons de lumière dans les moments les plus difficiles. À mes chers amis, Ranya, Lina, Zynab, Amira, Lelia, Aya, Soumia, Amina et Rounak, pour leur amitié sincère, leur soutien constant et leur présence réconfortante. Vous avez tous contribué à rendre ce parcours plus agréable et motivant.

À tous mes collègues et enseignants de l'école, pour leur soutien continu, leur encouragement et leur aide précieuse tout au long de mon parcours académique. Votre accompagnement et vos conseils ont été des moteurs importants dans la réalisation de ce mémoire. Votre dévouement à l'enseignement et à la réussite de vos étudiants est admirable et profondément apprécié.

Merci à chacun de vous pour votre présence, votre aide précieuse et pour avoir contribué à la réussite de ce projet. Votre soutien et votre confiance ont été les clés de cette réalisation.

Nerdjes

Je rends grâce à Dieu tout puissant de m'avoir accordé la force nécessaire pour la réalisation de ce travail que Je dédie chaleureusement.

Je dédie ce travail à ma famille, elle qui ma dotée d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

À mon très cher père, Tu Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toi, qui as toujours été un modèle de respect, d'honnêteté et de méticulosité en tant que père. Je souhaite rendre hommage à l'homme exceptionnel que tu es.

Grâce à toi, cher papa, j'ai appris la valeur du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité et ta compréhension. Ton soutien constant a été une lumière tout au long de mon parcours.

À ma très chère mère Quelles que soient mes actions ou mes paroles, je ne pourrais jamais te remercier assez comme il se doit. Ton affection m'enveloppe, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour surmonter les obstacles qui se sont présentés.

Aucune dédicace ne peut véritablement exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eus pour vous, mes chers parents..

À mes frères : sifou, hani ,wail, haytem ,

À tous les moments de mon enfance passés avec vous, mes frères , un témoignage de ma profonde reconnaissance pour l'aide que vous m'avez apportée. Vous m'avez soutenu, encouragé et vous avez été ma force. Que nos liens fraternels soient forts.

À ma petite sœur rahaf un immense merci à ma petite sœur sœur pour ton soutien indéfectible et ton encouragement dans ma vie , Ta présence et ton appui est été des piliers essentiels dans mon réussite .Tu es la source de mon bonheur et de ma force.

À mes chères tantes Nora , Karima, Nassira, Fatima. Pour votre dévouement, votre compréhension et votre grande tendresse, qui en plus de m'avoir encouragée tout le long de mes études, m'avez consacré beaucoup de temps et disponibilité, et qui par votre soutien, vos conseils et votre amour, m'avez permis d'arriver jusqu'à ici car vous avez toujours cru en moi..

À ma grande mère Pour m'avoir soutenu et être ma deuxième mère .

À mon meilleure binôme nerdjes Merci pour ton soutien et pour m'avoir motivé à accomplir ce travail, merci de m'avoir accompagné pendant ces 3 ans.

À tous mes amis, surtout .shirez ,lyna ,Rania ,Inès ,meryem ,ghada , raounak ,maroua ...

Qui m'ont toujours soutenue et encouragée, en leur espérant bonne continuation dans leurs vies.

Un dédicace tout particulier à ma Super promotion de IEMC un par un. Ces 3 ans ont été riches en belles émotions sur beaucoup de plan, j'en garde des souvenirs impérissables.

Merci pour l'ambiance qui a contribué à des moments d'échanges culturels et personnels très forts.

Des fois, les mots ne suffisent pas pour exprimer tout le bien qu'on ressent ! Juste MERCI à vous !!!

Bouchra

Résumé

L'évaluation de l'empreinte carbone d'une station de dessalement d'eau fouka vise à mesurer et estimer les émissions de gaz à effet de serre résultant du processus de dessalement de l'eau. Cette évaluation comprend l'analyse de la consommation d'énergie et des ressources pendant le processus de dessalement, y compris l'utilisation d'électricité et de carburants, ainsi que l'évaluation des émissions générées par ces processus. L'objectif de cette évaluation est d'identifier les impacts environnementaux de la station et de déterminer les opportunités d'amélioration pour réduire l'empreinte carbone, contribuant ainsi à renforcer la durabilité environnementale et économique du processus de dessalement.

Motsclés : empreinte carbone, station de dessalement, émissions de gaz à effet de serre, consommation d'énergie, ressources, électricité Carburants, Impact environnemental, Durabilité

Abstract

The carbon footprint assessment of a desalination plant aims to measure and estimate the greenhouse gas emissions resulting from the water desalination process. This assessment includes analyzing energy and resource consumption during desalination, including electricity and fuel use, and evaluating the emissions generated by these processes. The goal of this assessment is to identify the environmental impacts of the plant and determine improvement opportunities to reduce the carbon footprint, thereby enhancing the environmental and economic sustainability of the desalination process.

Keywords: Carbon footprint, Desalination plant, Greenhouse gas emissions, Energy consumption
Resource use, Electricity, Fuel, Environmental impact, Sustainability

ملخص

تقييم البصمة الكربونية لمحطة تحلية المياه فوكا يستهدف قياس وتقدير الانبعاثات الكربونية التي تنتج عن عملية تحلية المياه. يتضمن هذا التقييم تحليل استهلاك الطاقة والموارد خلال عملية التحلية، بما في ذلك استخدام الكهرباء والوقود، وتقييم الانبعاثات الناتجة عن هذه العمليات. الهدف من هذا التقييم هو تحديد الآثار البيئية للمحطة وتحديد فرص التحسين لتقليل البصمة الكربونية، مما يسهم في تعزيز الاستدامة البيئية والتكاليف الاقتصادية لعملية التحلية.

الكلمات المفتاحية

البصمة الكربونية - محطة تحلية المياه- الانبعاثات الكربونية - استهلاك الطاقة- موارد الكهرباء الوقود- الآثار البيئية-
الآثار البيئية - الاستدامة

LISTE DES FIGURES

| |
|---|
| Figure 1 : Les stations de dessalement mono-bloc installées en Algérie (Amiour et Boussetoua 2024). P7 |
| Figure 2 : Décomposition prix de cession (Rapport interne d'AEC). P10 |
| Figure 3 : Évolution des CO ₂ émis respectivement par l'ensemble des pays ayant des engagements de réduction dans le cadre du protocole de Kyoto et l'ensemble des autres pays (Global Carbon Project, Carbon Atlas 2019, https://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions). P15 |
| Figure 4 : Localisation de la station de dessalement Fouka (Amiour et Boussetoua 2024) P17 |
| Figure 5 : Cartographie des sections de l'usine. P18 |
| Figure 6 : : Description générale de la station de Fouka. P260 |
| Figure 7 : Le principe de fonctionnement de l'osmose inverse. P21 |
| Figure 8 : Empreinte carbone du dessalement. P24 |
| Figure 9 : Structure des coûts d'un projet de dessalement. P26 |
| Figure 10 : Schéma de principe d'un échangeur de pression (Récupération d'énergie). P29 |
| Figure 11 : Émissions de Carbone liées à la Consommation d'Énergie Électrique. P40 |
| Figure 12 : Émissions de Carbone des Générateurs de Secours. P41 |
| Figure 13 : Émissions de Carbone du Processus de Dessalement. P42 |
| Figure 14 : Émissions de Carbone liées aux Activités de Transport. P43 |
| Figure 15 : : Émissions de Carbone (tonnes CO ₂) liées au Gestion des déchets. P44 |
| Figure 16 : la Consommation d'Énergie en 2023 pour la Station de Dessalement de l'Eau de Mer de Fouka, Tipaza. P46 |
| Figure 17 : la Consommation d'Énergie 2024 pour la Station de Dessalement de l'Eau de Mer de Fouka, Tipaza. P47 |
| Figure 18: Comparaison Annuelle de la Consommation d'Énergie en 2023 et 2024 pour la Station de Dessalement de l'Eau de Mer de Fouka, Tipaza. P50 |
| Figure 19 : Répartition des émissions de la station de dessalement par catégorie (%). P51 |
| Figure 20 : Distribution des émissions de la station de dessalement par catégorie (tonnes de CO ₂ /an). P53 |
| Figure 21: Comparaison des émissions de CO ₂ annuelles entre Fouka et Beni Saf. P54 |
| Figure 22: Étude visuelle des installations du laboratoire de station dessalement à Fouka . P63 |
| Figure 23: système de récupération d'énergie ERI PX Power Model 2007 P66 |
| Figure 24 : Équipements et installations électriques de la station de dessalement de l'eau de mer à Fouka(Myah tipaza,2022) .P77 |
| Figure 25: Circuit de Gaz combustible pour production du CO ₂ (Myah tipaza,2022) .P78 |

LISTE DES TABLEAU

| |
|---|
| Tableau 1 : Historique des stations de dessalement et de déminéralisation d'eau en Algérie Sonatrach. P6 |
| Tableau 2 : Les coûts de certaines stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie . P11 |
| Tableau 3 : Divers impacts environnementaux associés aux procédés de dessalement. P12 |
| Tableau 4 : Capacité unitaire de l'usine. P18 |
| Tableau 5 : Exigences représentatives en électricité, chaleur et énergie de l'eau de mer. P25 |
| Tableau 6 : Les émissions de gaz à effet de serre . P34 |
| Tableau 7: Paramètres pour le calcul de l'empreinte carbone des stations de dessalement de l'eau de mer. P35 |
| Tableau 8 : Répartition des Émissions de CO ₂ par Source pour la Station de Dessalement de l'Eau de Mer à Fouka. P37 |
| Tableau 9: Identification des Sources d'Émissions de Carbone pour la Station de Dessalement de Fouka en 2023. P44 |
| Tableau 10 :Une comparaison de l'empreinte carbone de la SDEM de Fouka avec la SDEM de Beni Saf. P53 |

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

SDEM : Station de dessalement de l'eau de mer.

OI : Osmose inverse.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

PH : potentiel d'hydrogène.

GES : Gas à effet de serre.

PRG : potentiel de réchauffement global.

HPS : Boosters de pression hydraulique.

SGE : Systèmes de gestion de l'énergie.

MFS : Multi Stage flashe .

MED : Multi Effect Distillation .

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| Table des matières | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des Abréviations | |
| Introduction générale | 1 |
| CHAPITRE 01 : Généralités | |
| Introduction | 4 |
| 1.1. Histoire de dessalement en Algérie | 5 |
| 1.2. Situation actuelle du dessalement en Algérie | 7 |
| 1.3 Les avantages et les inconvénients du dessalement | 8 |
| 1.3.1 Les avantages du dessalement | 9 |
| 1.3.2. Les inconvénients du dessalement | 9 |
| 1.4. Problèmes techniques rencontrés en dessalement | 10 |
| 1.4.1. Coût du dessalement | 11 |
| 1.4.2. Impact environnemental | 13 |
| 1.4.3. La corrélation entre les répercussions environnementales du processus de dessalement et les empreintes écologique et carbone | 13 |
| 1.4.4 La notion d'empreinte environnementale | 13 |
| 1.4.5. Contexte mondial des émissions de gaz à effet de serre | 14 |
| Chapitre 02 : Présentation et description de la station de dessalement de Fouka | |
| Introduction | 17 |
| 2.1. Situation géographique . | 17 |
| 2.2. Capacité de la station et mode fonctionnement | 18 |
| 2.3. Description du procédé | 19 |
| 2.4. Traitement d'eau de mer | 19 |
| 2.5. L'osmose Inverse | 20 |
| 2.5.1. Principe de l'Osmose Inverse | 21 |
| Chapitre 03 : calcul de l'empreinte carbone | |
| 3.1. Le concept de l'empreinte carbone | 23 |
| 3.1.1. La définition de l'empreinte carbone du dessalement | 23 |
| 3.2. Émissions de gaz à effet de serre et consommation d'énergie | 25 |
| 3.3 Le dessalement durable | 27 |
| 3.3.1. Énergies renouvelables | 27 |
| 3.4. Récupération d'énergie de la saumure | 28 |
| 3.5. Équipements et Technologies pour l'Évaluation de l'Empreinte Carbone | 29 |
| 3.5.1. Compteurs d'électricité | 29 |

| | |
|--|----|
| 3.5.2. Appareils de mesure de la consommation de combustible | 29 |
| 3.5.3. Analyseurs de CO ₂ | 29 |
| 3.5.4. Analyseurs de NO _x (oxydes d'azote) | 30 |
| 3.5.5. Analyseurs de SO _x (oxydes de soufre) | 30 |
| 3.5.6. Ordinateurs | 30 |
| 3.5.7. Logiciels d'analyse des données | 30 |
| 3.5.8. Registres d'exploitation et de maintenance | 30 |
| 3.5.9. Registres de performance environnementale | 31 |
| 3.5.10. Appareils de mesure des débits | 31 |
| 3.5.11. Appareils de mesure de l'efficacité énergétique | 31 |
| 3.5.12. Systèmes de gestion de l'énergie (SGE) | 31 |
| 3.5.13. Capteurs de température | 31 |
| 3.5.14. Analyseurs de chaleur | 32 |
| 3.5.15. Analyseurs de qualité de l'eau | 32 |
| 3.5.16. Appareils de mesure des solides en suspension | 32 |
| 3.5.17. Logiciels de modélisation des processus | 32 |
| 3.5.18. Outils de simulation de cycle de vie | 32 |
| 3.5.19. Collecteurs de particules | 33 |
| 3.5.20. Analyseurs de méthane (CH ₄) | 33 |
| 3.6. Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre | 33 |
| 3.6.1-Équivalent CO ₂ (une unité de mesure) | 33 |
| 3.6.2- Calcul de l'empreinte carbone (les éléments à prendre en compte) | 34 |
| 3.6.3. Paramètres pour le calcul de l'empreinte carbone des stations de dessalement de l'eau de mer | 35 |
| 3.7. Méthode de calcul de l'empreinte carbone | 36 |
| 3.7.1. Énergie électrique | 36 |
| 3.7.2. Émission directe | 36 |
| 3.7.3. Transport | 36 |
| 3.7.4. Gestion des déchets | 36 |
| 3.7.5. Estimation des émissions par rapport à la quantité d'eau dessalée | 37 |
| Chapitre 4 : Résultats et Discussion | |
| 4.1. Les émissions de carbone | 40 |
| 4.1.1. Émissions de Carbone liées à la Consommation d'Énergie Électrique | 40 |
| 4.1.2. Émissions de Carbone des Générateurs de Secours | 41 |
| 4.1.3. Émissions de Carbone du Processus de Dessalement | 42 |
| 4.1.4. Émissions de Carbone liées aux Activités de Transport | 42 |
| 4.1.5. Émissions de Carbone (tonnes CO ₂) liées au Gestion des déchets | 43 |
| 4.2. Analyse Comparative de la Consommation d'Énergie de la Station de Dessalement de Fouka pour les années 2023 et 2024 | 45 |
| 4.2.1. La consommation d'énergie en 2023 | 45 |
| 4.2.2. La consommation d'énergie en 2024 | 47 |
| 4.2.3. Comparaison annuelle de la consommation d'énergie en 2023 et 2024 | 47 |

| | |
|--|----|
| 4.3. Les émissions de carbone par Catégorie % | 50 |
| 4.4. émissions de Carbone par Catégorie | 51 |
| 4.5. Une comparaison de l’empreinte carbone de la SDEM de Fouka avec la SDEM de Beni Saf | 53 |
| Conclusion générale | |
| Conclusion | 56 |



Introduction générale

Introduction

De nombreuses régions du monde manquent de ressources en eau douce suffisantes pour la production d'eau potable, un phénomène exacerbé par la croissance démographique et l'augmentation de la production industrielle (Mehtougui et al., 2015). L'eau, étant une ressource essentielle à la vie, est devenue une denrée de plus en plus précieuse à l'échelle mondiale. On estime qu'environ 60 % de la population mondiale sera confrontée à une pénurie d'eau d'ici 2025, contre 40 % en 2018 (Darre & Toor, 2018). Face à cette situation, le dessalement émerge comme la principale solution pour produire de l'eau potable dans les régions où l'eau douce est rare. Malgré les difficultés économiques rencontrées il y a une décennie, le marché du dessalement continue de croître. En effet, environ 97 % de l'eau sur Terre est salée, ce qui souligne l'importance de cette technologie pour compenser le manque d'eau douce dans les grandes agglomérations (Mehtougui, 2015). Selon le rapport de « l'International Desalination Association » (IDA, 2021), il y a environ 19 744 usines de dessalement dans le monde, avec une capacité de production quotidienne d'environ 91,4 millions de m³.

L'Algérie figure parmi les pays identifiés par la Banque mondiale comme étant confrontés à des niveaux critiques de pénurie d'eau (Livet, 2007). Cette situation nécessite non seulement la mobilisation de nouvelles ressources, mais aussi la gestion rationnelle de l'eau et le développement de solutions non conventionnelles telles que le dessalement (Benaïssa et al., 2020). En 2002, le gouvernement algérien a lancé un programme d'urgence pour le dessalement (Drouiche et al., 2011), qui a conduit à la création de onze stations de dessalement à grande échelle avec une capacité installée de 2,1 millions de m³ d'eau par jour (Amokrane & Salmi, 2021). En réponse aux pénuries d'eau de 2020, un plan d'urgence a été mis en œuvre en 2021 pour construire trois nouvelles stations de dessalement dans la capitale, chacune ayant une capacité de traitement de 150 000 m³ par jour (AEC, 2021).

Malgré ses avantages, la technologie de dessalement présente également divers inconvénients techniques, tels que le tartre, le colmatage et la corrosion. De plus, elle engendre des conséquences environnementales importantes, notamment une augmentation de la salinité qui peut affecter les espèces sensibles au sel et perturber l'équilibre écologique (PNUE, 2001).

L'empreinte carbone est une mesure de l'impact des activités humaines sur le climat, exprimée en équivalent dioxyde de carbone (CO₂). Calculer l'empreinte carbone permet de quantifier les émissions de gaz à effet de serre associées à un processus ou une activité spécifique. Pour les stations de dessalement, cette évaluation est cruciale pour identifier les principales sources d'émissions et mettre en œuvre des stratégies visant à réduire leur impact environnemental tout en améliorant leur durabilité économique. Une telle démarche est essentielle pour atténuer les effets négatifs du dessalement sur le climat et favoriser une transition vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement (IPCC, 2021).

Comment évaluer de manière approfondie l'empreinte carbone de la station de dessalement d'eau de Fouka, identifier ses impacts environnementaux et proposer des solutions pour réduire son empreinte carbone tout en renforçant sa durabilité environnementale et économique ?

L'objectif de ce travail est de faire une évaluation de l'empreinte carbone d'une station de dessalement d'eau Fouka. Cette évaluation comprend l'analyse de la consommation d'énergie et des ressources pendant le processus de dessalement, y compris l'utilisation d'électricité et de carburants, ainsi que l'évaluation des émissions générées par ces processus. Et d'identifier les impacts environnementaux de la station et de déterminer les opportunités d'amélioration pour réduire l'empreinte carbone, contribuant ainsi à renforcer la durabilité environnementale et économique du processus de dessalement.



CHAPITRE 01 : Généralités

Introduction

L'Algérie se trouve au Nord-Ouest de l'Afrique, sur la côte méditerranéenne. Sa superficie est d'environ 2,4 millions de km, ce qui explique sa pluralité climatique (Algérie, 2015) où l'on trouve dans la partie nord, le littoral et les chaînes de montagnes occupent 4 % de la superficie totale ; caractérisé par un climat méditerranéen (Meddi et al, 2009). Le désert du Sahara, qui constitue 84 % du territoire ; c'est une zone aride. Les hauts plateaux qui occupent environ 9 % de la surface totale et se caractérisent par un climat semi-aride et sec (Keddar & Adla, 2020).

L'Algérie fait face à un stress hydrique croissant en raison de plusieurs facteurs. Les variations climatiques, les sécheresses fréquentes et l'augmentation de la demande en eau exercent une pression considérable sur les ressources en eau du pays. La faible quantité de précipitations et la surexploitation des aquifères aggravent les pénuries d'eau, compromettant ainsi la gestion durable des ressources hydriques (FAO, 2020).

Au cours des années 2000, l'Algérie a été confrontée à une sécheresse persistante en raison de sa situation dans une région subtropicale connue pour son climat chaud et aride. Par conséquent, une initiative d'urgence a été lancée en 2002 pour répondre aux besoins en eau, en donnant la priorité au dessalement de l'eau de mer. Cette initiative visait à établir 13 grandes usines de dessalement, chacune d'une capacité estimée à 2,2 millions de m³/j (ADE, 2014). Entre 2002 et 2004, le secteur des ressources en eau a mené une étude axée sur l'identification des besoins et des emplacements des stations de dessalement, visant à établir une stratégie de développement du dessalement à court, moyen et long terme (jusqu'en 2030). Cette évaluation a porté sur les besoins des secteurs domestique, industriel et agricole, ainsi que sur les ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles dans 20 wilayas, qui comprenaient 14 zones côtières et 6 zones frontalières (Akli & Bedrani, 2011).

Pour l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL) en sa qualité de centre national de référence en sciences de la mer, la question du dessalement de l'eau constitue un axe de recherche qui prend de plus en plus d'importance. En effet, les équipes de recherche de l'ENSSMAL s'intéresse non seulement au processus de dessalement mais également aux effets environnementaux de ce processus et les meilleures voies possibles de les atténuer et potentiellement valoriser les rejets de saumures dans la perspective de préserver la qualité écologique du littoral algérien.

Ce mémoire est organisé en quatre principales parties. Dans un premier chapitre, nous reviendrons dans un premier sur l'historique du dessalement en Algérie, pour ensuite donner un aperçu sur les stations mises en service depuis les années 2000 jusqu'à ce jour, ainsi que les projets futurs mis en place par le gouvernement. Aussi, nous présenterons brièvement les avantages et les inconvénients de cette technologie ; en particulier ses effets sur l'environnement.

Enfin, nous parlerons de l’empreinte carbone et de son importance dans une usine de dessalement.

1.1 Histoire du dessalement en Algérie

Le concept d’obtention d’eau potable à partir de la mer est ancien et remonte à l’Antiquité. En effet, sous l’impulsion du soleil, s’infiltrant dans les océans, l’évaporation entraîne la formation de nuages qui à leur tour produisent des précipitations dès que ces masses d’air humide atteignent des régions plus froides. Le processus a navigué naturellement par les marins plus tard, qui, en faisant bouillir de l’eau de mer, avaient réussi à obtenir de l’eau non saumâtre grâce à la condensation de vapeur qui en résultait.

Cependant, ce n’est qu’au début du XXe siècle que les premiers processus de distillation ont été observés à l’échelle commerciale (Bahri, 2018). Le développement de la technologie de dessalement avait été financé au début des années 50 et 60 par le Département de l’intérieur des États-Unis, via le Bureau de l’eau salée (Office of Saline Water). En 1961, au Texas, aux États-Unis, fut érigée la première usine de démonstration de dessalement d’eau de mer (Bahri, 2018). En outre, le développement des industries pétrolière et sidérurgique est étroitement lié à l’expérience de dessalement. Le dessalement domestique n’a jamais été sérieusement envisagé avant les années Algérie 2000. Toutefois, la seule expérience envisageable demeure celle du village d’Ouled Djellal à proximité de la ville de Biskra (nord-est de l’Atlas séharien). Selon (Bessenasse et al ,2010), il s’agit d’une petite usine de dessalement installée qui vise à diminuer la salinité des eaux souterraines locales (Bessenasse et al, 2010).

Le dessalement et/ou la déminéralisation sont fréquemment utilisés dans l’industrie pour les chaudières, les cycles de refroidissement et les unités de traitement (Bessenasse et al, 2010). En 1964, l’usine de gaz naturel liquéfié (GNL) d’Arzew, port pétrolier de la côte ouest du pays, est équipée de trois petites unités de dessalement de 192 mètres cubes par jour. La méthode utilisée à l’époque reposait sur des tubes immergés à basse pression. Une autre unité utilisant la technologie d’évaporation flash multi-étapes (MSF) a été mise en service en 1969 avec une capacité d’environ 4 560 m³/jour (Bessenasse et al, 2010).

Tableau 1 : Historique des stations de dessalement et de déminéralisation d'eau en Algérie Sonatrach (Rezim & Tachetaoui, 2020 complété).

| Wilaya | Capacité (m ³ /j) | Technologie | Date de mise En service | Exploitant |
|------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|------------|
| Arzew | 576 | Multi-effets | 1964 | Sonatrach |
| Arzew | 4560 | MSF | 1969 | Sonatrach |
| Skikda | 1440 | MSF | 1971 | Sonatrach |
| Skikda | 720 | MSF | 1971 | Sonatrach |
| Skikda | 1440 | Échangeurs d'ions | 1971 | Sonatrach |
| Annaba | 960 | Electrodialyse | 1971 | Sonatrach |
| Annaba | 3600 | Electrodialyse | 1973 | Sonatrach |
| Ghazaouat | 840 | MSF (6 étages) | 1974 | Sonatrach |
| Arzew | 3888 | Échangeurs d'ions | 1975 | Sonatrach |
| Arzew | 960 | Échangeurs d'ions | 1975 | Sonatrach |
| Hassi-Massaoud | 1000 | Osmose inverse | 1975 | Sonatrach |
| Hassi-Massaoud | 110 | Échangeurs d'ions | 1976 | Sonatrach |
| Gassitouil | 55 | Osmose inverse | 1977 | Sonatrach |
| Arzew | 350 | MSF (6 étages) | 1978 | Sonatrach |
| Annaba | 14180 | Osmose inverse | 1978 | Sonatrach |
| Hassi-Massaoud | 350 | Electrodialyse | 1978 | Sonatrach |
| Bel abbé | 1500 | Échangeurs d'ions | 1978 | Sonatrach |
| Haoud-Berkaouï | 55 | Échangeurs d'ions | 1979 | Sonatrach |
| Hassi-Massaoud | 300 | Electrodialyse | 1979 | Sonatrach |
| RhourdElBaguel | 25 | Electrodialyse | 1979 | Sonatrach |
| Arzew | 960 | MSF (5 étages) | 1979 | Sonatrach |
| Annaba | 144 | Échangeurs d'ions | 1979 | Sonatrach |
| Annaba | 576 | Échangeurs d'ions | 1979 | Sonatrach |
| Bassi-Rmel | 792 | Osmose inverse | 1979 | Sonatrach |
| Annaba | 6240 | Échangeurs d'ions | 1980 | Sonatrach |
| Ghardaia | 960 | Osmose inverse | 1980 | Sonatrach |
| Arzew | 960 | MSF (6 étages) | 1980 | Sonatrach |
| Mostaganem | 57600 | Osmose inverse | 1980 | Sonatrach |
| Rhourd El Baguel | 300 | Electrodialyse | 1981 | Sonatrach |
| Annaba | 1800 | Échangeurs d'ions | 1981 | Sonatrach |
| Reghaia | 160 | Échangeurs d'ions | 1982 | Sonatrach |
| Mers ElHadjadj | 1500 | Thermocompression | 1977 | Sonelgaz |
| Mers El Hadjadj | 2000 | MSF | 1991 | Sonelgaz |
| Mers El Hadjadj | 500 | Thermocompression | 1989 | Sonelgaz |
| Cap djinet | 2000 | MSF | 1985 | Sonelgaz |
| Jjel | 2000 | MSF | 1992 | Sonelgaz |
| Jijel | 509 | Osmose inverse | 1992 | Sonelgaz |
| El Mouradia | 10000 | Osmose inverse | 1998 | Sonatrach |
| Béjaia | 20000 | MSF | 2003 | Sonatrach |
| Mostaganem | 50000 | Osmose inverse | 2004 | Sonatrach |
| Skikda | 25000 | MSF | 2006 | Sonatrach |
| Ghardaia | 10000 | Osmose inverse | 2008 | Sonatrach |
| El kala | 15000 | MSF | 2010 | Sonatrach |
| Ouargla | 12000 | Osmose inverse | 2012 | Sonatrach |

Pour compenser le manque de ressources naturelles en eau, le gouvernement a lancé un programme d'urgence en 2002. Ce programme a abouti à la mise en service de 16 stations de dessalement monobloc d'une production totale de 57 500 m³/jour (Bessenasse et al, 2010) et de 13 mégastations de dessalement d'une production totale d'environ 2 millions de m³/jour. En 2011, 11 usines de dessalement par osmose inverse ont été construites en Algérie (CDER, 2023). La mise en œuvre de ces projets de dessalement a été réalisée par deux grandes entreprises. À savoir, l'Algérienne des Eaux (ADE), sous la tutelle du ministère des Ressources en eau (Bessenasse et al, 2010) et la Société Algérienne d'Énergie Spa Ltd (AEC), créée en 2001, elle est détenue à 100 % par Sonatrach depuis 2018. Les principales usines de dessalement exploitées au cours de deux périodes, 2000-2010 et 2011-2016, sont présentées respectivement dans la figure 1

1.2 Situation actuelle du dessalement en Algérie

Actuellement, 11 milliards de m³ d'eau sont utilisés par l'Algérie chaque année, dont 7,2 milliards de m³/an pour l'agriculture et 3,8 milliards de m³/an pour les besoins maison et industriels. Selon (Madji & Benaïcha ,2022), 50 % de ces eaux sont issues des eaux souterraines, 33 % des eaux de surface et 17 % du dessalement de l'eau de mer. Le gouvernement a pris des mesures urgentes pour garantir l'approvisionnement régulier de la population en eau potable, en raison du risque de pénurie en eau potable et de la situation climatique de ces dernières années, principalement marquée par un déficit de pluviométrie. Il travaillera également à faire du dessalement de l'eau de mer la principale ressource à hauteur de 60 % (Ministre, 2021). La figure 1 présentent respectivement les principales installations de dessalement opérationnelles en 2023, aussi bien les les stations monobloc.

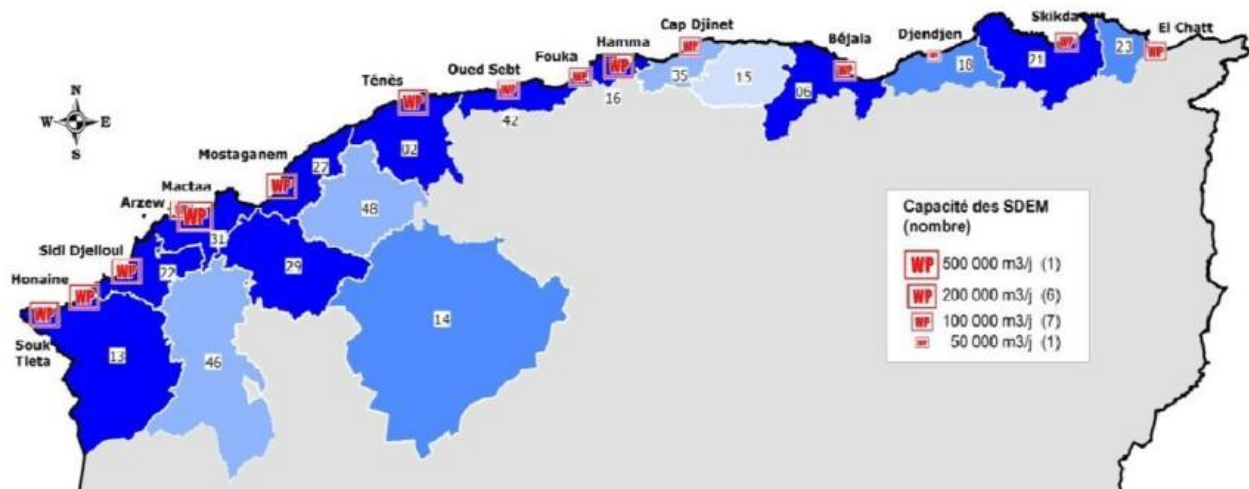


Figure 1 : Les stations de dessalement monobloc installées en Algérie (Amiour et Boussetoua 2024).

« L'Algérie dispose actuellement de 14 stations de dessalement d'eau de mer d'une capacité de production de 1,5 million de mètres cubes par jour ».

Avenir du dessalement en Algérie

« L'eau de ces cinq usines est destinée à la consommation et profitera aux cinq provinces qui en bénéficieront », a-t-il déclaré. En plus des provinces intérieures situées à 150 kilomètres de la côte. Ces cinq stations sont situées dans les régions de Fouka 2 dans la wilaya de Tipaza, Ras Genet (Boumerdès), Ras El Obeid (Oran), Koudiet Draoucha (El Tarf), et Tigrimet (Bejaia).

Les cinq usines de dessalement d'eau de mer en construction dans plusieurs provinces côtières seront opérationnelles « avant la fin de 2024 », a déclaré le ministre de l'hydraulique, Taha Derbal.

La construction de ces installations par AEC portera le nombre de stations de dessalement à 25, permettant à l'Algérie d'atteindre, selon l'Agence nationale des barrages, un taux de dessalement de 42 % à la fin de 2024 et de 60 % à l'horizon 2030 contre 17 % actuellement. Le projet de raccordement des nouvelles stations aux réseaux de distribution de l'Autorité repose sur la construction de grands réservoirs d'eau d'une capacité de 100 000 m³ pour chaque station, afin de faire face à d'éventuels arrêts d'urgence de ces stations.

Parmi ces projets, nous citerons :

La station de Fouka marine (station Alger-ouest) ; dont la production sera répartie à parts égales entre les wilayas d'Alger et de Blida, à raison d'un quota de 150 000 m³/jour pour chacune. Un projet à même d'assurer une alimentation en eau potable à plus de 6,5 millions d'habitants jusqu'aux horizons 2050 (L'expression, 2022). La station de Koudiet El Draouch (El Tarf) ; dont le volume de production sera partagé entre les wilayas de Annaba (170 000 m³/jour), El Tarf (80 000 m³/jour) et Guelma (50 000 m³/jour). Face au changement climatique et à la raréfaction des précipitations, le dessalement de l'eau de mer est donc devenu crucial. Les stations de dessalement couvriront une profondeur de 150 km jusqu'aux Hauts Plateaux (CDER, 2023).

1.3 Avantages et inconvénients du dessalement

1.3.1. Avantages du dessalement

Le dessalement de l'eau est devenu la principale méthode utilisée dans de nombreux pays pour répondre à la demande croissante en eau potable. La capacité de dessalement est estimée à environ 100 millions de m³/j, à l'échelle mondiale. En Algérie, elle s'élève à environ 3,5 millions m³/j (Moudjeber, 2015).

La technologie de dessalement présente de nombreux avantages. En Algérie, les avantages se résument comme suit :

- La sécurisation de l'alimentation en eau, puisque cette technologie n'obéit pas aux aléas climatiques et permet donc de produire de l'eau d'une manière permanente avec des quantités journalières qui dépassent les 200 000 m³/j ; comme pour la station de Magtaa où la production pouvait atteindre les 500 000 m³/j (SABER 2004).
- La disponibilité de la ressource énergétique avec un prix abordable ;
- La ressource est inépuisable, avec un littoral de 1622 kilomètres (Larbi & Saadaoui, 2019).
- L'accessibilité de cette ressource, puisque la population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la mer (Bouزيد-lagha& Matrouh, 2018).

1.3.2. Inconvénients du dessalement

Bien que le dessalement de l'eau de mer soit bénéfique pour répondre aux besoins en eau, il présente de nombreux inconvénients, quel que soit le procédé utilisé.

Nous citons à titre indicatif :

- Problèmes techniques rencontrés en dessalement
- Cout de dessalement
- Impact environnemental

1.4. Problèmes techniques rencontrés en dessalement

Les problèmes rencontrés dans les différents procédés de dessalement sont principalement liés à l'utilisation de solutions salines concentrées ou à la production d'eaux agressives (excès de gaz carbonique par rapport à l'équilibre), qui peuvent provoquer (Le Guern, 2003) :

Le tartre ; il correspond aux dépôts de sels minéraux qui ont tendance à se former sur la surface d'échange du fait de la présence d'ions (calcium, magnésium, bicarbonate et sulfate) dans la saumure. Ces sédiments sont principalement composés de carbonate de calcium (CaCO₃) ; d'hydroxyde de magnésium (Mg(OH)₂) et de sulfate de calcium (CaSO₄). Les dépôts de tartre ont un impact considérable sur le fonctionnement des unités de dessalement, tels que : la réduction de la section des canaux ; la détérioration des conditions de surface (Hella, 2021).

Le colmatage ; en osmose inverse, le colmatage des membranes est provoqué par des matières organiques et des micro-organismes présents dans l'eau brute naturelle. Ces organismes retenus par la membrane peuvent obstruer la membrane et trouver des conditions favorables à leur développement. La formation de biofilm, c'est-à-dire le colmatage de la membrane, a un impact direct sur la capacité de production et les coûts de traitement du dispositif (Hella, 2021), et nécessite donc un prétraitement adéquat (Hella, 2021).

La corrosion ; elle implique la dégradation d'une substance (notamment un métal ou un alliage) provoquée par l'action chimique d'un liquide (eau salée) ou d'un gaz (air). Les principales conséquences de la corrosion sont : la rupture des canalisations ; l'augmentation de la rugosité ;

les fuites d'eau et la dégradation de certains équipements tels que les vannes, les actionneurs et les instruments de mesure (Bouchakour & Sadol, 2017).

Concernant les stations de dessalement opérationnelles en Algérie, les problèmes techniques les plus récurrents pouvant être à l'origine d'un arrêt total ou partiel des installations se résument comme suit :

- dégradation de la qualité d'eau de mer ;
- persistance des mauvaises conditions de référence du site ;
- fuites sur le réseau aval ;
- défaut de communication des automates ;
- problèmes d'ordre électrique comme des coupures ou des fluctuations (ADE 2018).

1.4.1. Coût du dessalement

L'Algérie est l'un des pays où la demande de dessalement est la plus importante et se tourne souvent vers des entreprises étrangères pour obtenir de l'aide, principalement espagnoles, pour la construction et l'exploitation d'usines (Melgarejo et al, 2021). Les coûts de dessalement sont exprimés en dollars américains par mètre cube d'eau douce produite et dépendent de la technologie, de la taille de l'unité et de la salinité de l'eau traitée. La technologie membranaire peut produire de l'eau de haute qualité à partir d'eau saumâtre au coût de 0,50 \$/m³ (Hamiche et al, 2020). Cependant, le traitement de l'eau de mer est coûteux : l'osmose inverse coûte entre 0,50 et 1,10 dollars par mètre cube d'eau produit, et la distillation coûte entre 0,65 et 1,80 dollars par mètre cube d'eau produit.

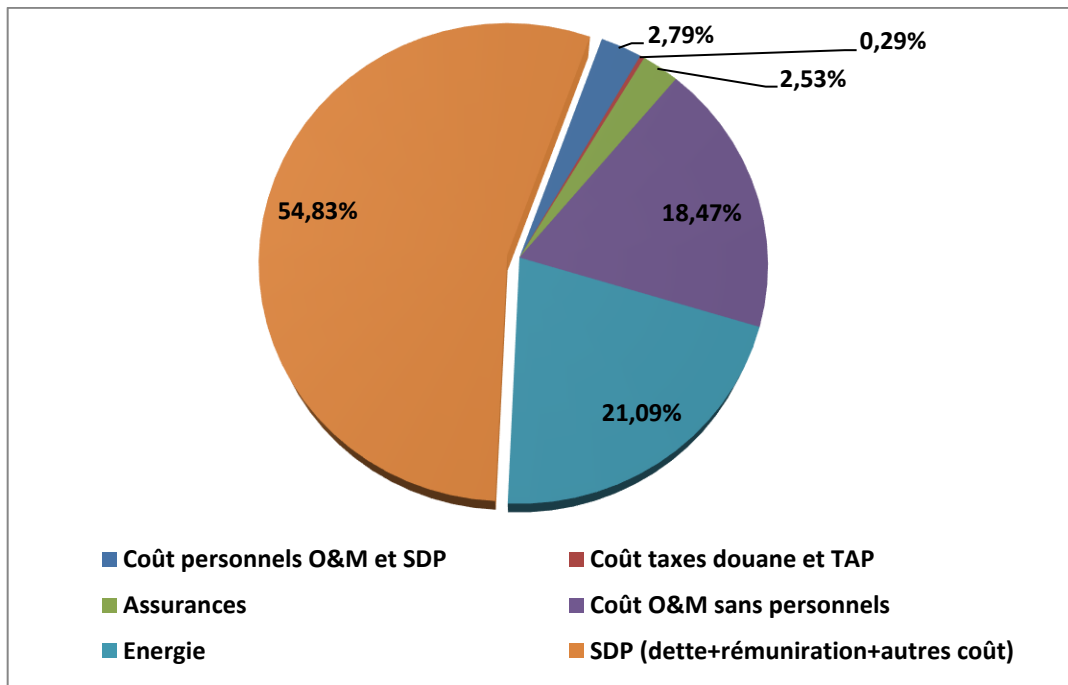


Figure 2 : Décomposition des prix de cession (AEC ,2021).

Il est à noter que les technologies thermiques tendent à être plus onéreuses que les technologies membranaires, mais les coûts de ces dernières affichent une tendance à la baisse en raison de leur développement incessant qui conduit à des gains d'efficacité (Tahar & Chebki, 2020).

Tableau 2 : Les coûts de certaines stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie (AEC,2021).

| Station | Coût (en USD/m³) |
|-------------------|------------------------------------|
| Ténès | 0,59 |
| Mostaganem | 0,71 |
| Cap djinet | 0,74 |
| Honaine | 0,83 |
| Skikda | 0,74 |
| Beni Saf | 0,70 |
| Souk Tleta | 0,79 |
| Fouka | 0,75 |

1.4.2. Impact environnemental

Outre les bénéfices du dessalement en matière de disponibilité de l'eau de qualité qui est essentielle pour favoriser le développement économique et social des communautés locales et que cette eau est fiable car ne dépendant pas des changements climatiques (Kara Omar & khaldi, 2017), la mise en place d'une station de dessalement entraîne divers effets sur l'environnement, dont certains sont bénéfiques et d'autres négatifs. Les impacts négatifs associés aux usines de dessalement comprennent ceux limités à la phase de construction et ceux associés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent par la conversion de l'utilisation des terres, puis par les conséquences visuelles et la pollution sonore, s'étendant aux émissions atmosphériques et aux émissions dans le milieu aquatique (PNUE, 2001). De manière générale, les activités de construction et d'exploitation peuvent avoir toute une série d'impacts sur les zones côtières, notamment :

- Les changements dans la qualité de l'air, de l'eau, des plantes et des animaux marins.
- Dégradation d'écosystèmes importants : dunes de sable, herbiers marins et autres habitats fragiles par l'installation de pipelines.
- Le bruit, le dragage et l'élimination des déchets qui en résultent perturbent l'accès du public et les activités récréatives (Agence pour l'environnement, 2001).

Les principaux impacts sont résumés dans le tableau 3. En Algérie, plusieurs auteurs se sont penchés sur la problématique du dessalement et de ses répercussions sur l'environnement.

Tableau 3 : Divers impacts environnementaux associés aux procédés de dessalement (Kaab & Hama, 2023).

| Composant e affectée | Source d'impact | Impact |
|---------------------------------|--|---|
| Milieu marin { faune et flore } | Saumure chaude (Belatoui et al, 2017). | <ul style="list-style-type: none"> - Pollution thermique - Réduction de l'oxygène dissous dans les eaux réceptrices. - Effets nocifs pour les espèces thermorésistantes. |
| | Saumure concentrée (PNUE, 2001) | <ul style="list-style-type: none"> - Accroissement de la salinité. - Effets néfastes pour les espèces résistantes aux sels. |
| | Chlore et ses composés : réaction du chlore avec des composés organiques ; hydrocarbures en particulier (PNUE, 2001) | <ul style="list-style-type: none"> - Désinfection des espaces de l'eau mer. - Des polluants persistants et bioaccumulables. |
| | Corrosion du matériel de l'usine (Belhout et al,2018). | <ul style="list-style-type: none"> - Altération de l'écosystème par les métaux lourds |

La saumure rejetée directement dans la mer sans dilution ni traitement a des conséquences environnementales importantes. Cela englobe la détérioration de l'environnement marin, la diminution de la diversité biologique planctonique et marine, l'augmentation de la salinité et des concentrations de métaux lourds, ainsi que des effets sur le développement, la croissance, la reproduction et la survie des espèces marines. Par exemple, il est possible d'influencer la croissance des macrophytes, ce qui a un impact sur leur reproduction et leur survie (Allam et Mellah, 2013).

Quand on rejette sans précaution la saumure, elle peut provoquer une augmentation de la salinité des eaux environnantes, ce qui peut avoir des conséquences néfastes sur l'écosystème marin. Par exemple, on a observé une augmentation de la concentration en sel de 5 à 10 mg/L autour de la zone de rejet, ce qui peut perturber l'équilibre naturel de l'environnement marin.

Il est indéniable que l'énergie est liée à l'eau. Il y a une augmentation constante des besoins en énergie pour l'eau, en particulier pour le pompage, les transferts, les traitements et le dessalement. D'après Morsli (2013), il est prévu que ces besoins augmentent de moitié en 10 ans et atteignent 20% de la demande globale d'électricité d'ici 2025. Les conséquences de cette hausse des exigences énergétiques en matière d'eau sont importantes. Ils se traduisent par une pression accrue sur les ressources énergétiques, une augmentation des émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'électricité et une intensification des activités de dessalement, ce qui entraîne une augmentation de la consommation d'énergie et des émissions associées. Cette tendance met en évidence la nécessité de concevoir des solutions durables afin de faire face à la demande croissante en eau tout en minimisant l'empreinte carbone de ces processus.

1.4.3. La corrélation entre les répercussions environnementales du processus de dessalement et les empreintes écologique et carbone

Les impacts environnementaux du dessalement peuvent jouer un rôle dans l'impact écologique de diverses façons. Pendant le fonctionnement des stations de dessalement, elles consomment une quantité considérable d'énergie, souvent provenant de sources non renouvelables comme les combustibles fossiles. Les émissions de gaz à effet de serre sont causées par cette consommation d'énergie, ce qui contribue au réchauffement climatique. En outre, le dessalement peut entraîner des conséquences néfastes sur les écosystèmes marins en raison de la libération de saumure concentrée dans l'océan, ce qui peut perturber l'équilibre naturel de l'environnement marin. L'empreinte écologique globale de la station de dessalement peut donc être directement influencée par ces impacts environnementaux, tels que la consommation d'énergie et les rejets.

1.4.4. La notion d'empreinte environnementale

Selon le Global Footprint Network (GFN), la notion d'empreinte, qui concerne les pressions exercées par les activités humaines sur l'environnement, s'inspire de l'empreinte écologique. Cet indicateur reflète les contraintes environnementales liées directement et indirectement à la consommation de biens et de services dans une région ou un pays spécifique, en ramenant cette dernière à la quantité de surfaces biologiquement productives (appelées bio-productives) nécessaires pour renouveler les ressources utilisées et absorber les déchets générés pour produire les composantes de cette consommation. Le calcul de ces surfaces repose sur une productivité (biologique) moyenne mondiale dont chaque unité est désignée comme un hectare global. Par la suite, on compare l'empreinte écologique à la capacité biologique mobilisable (appelée biocapacité) du territoire de la population concernée (Boutaud, Gondrand, 2009). Grâce à des messages emblématiques, l'empreinte écologique connaît un certain succès : ainsi, d'après cette approche, si toute la population mondiale vivait comme les Nord-Américains ou les Européens, il faudrait l'équivalent de plusieurs planètes Terre pour fournir les ressources nécessaires, ce qui implique que la consommation de la population mondiale entraînerait un dépassement des capacités biologiques annuelles de la Terre. Autrement dit, la Terre nécessite maintenant plus d'une année pour régénérer les ressources renouvelables consommées par les humains en une seule année et absorber le CO₂ émis simultanément.

Cet indicateur a été critiqué pour plusieurs raisons méthodologiques, telles que :

- L'assimilation des hectares fictifs – hectares globaux – aux hectares réels.
- L'absence de biocapacité face à la composante carbone.
- La disparité entre biocapacité et empreinte, entre le territoire national et la consommation intérieure, peu importe le lieu de production, pour l'une, et la consommation intérieure, peu importe le lieu de production, pour l'autre.

De plus, différentes catégories d'impacts environnementaux sont en train de se développer : les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation de l'énergie, l'utilisation de l'eau, la mobilisation de matières telles que la biomasse, les métaux, les minéraux et les combustibles fossiles. L'empreinte carbone, l'empreinte énergie, l'empreinte eau, l'empreinte matières, etc., sont ainsi évoqués. A priori, l'approche en matière d'empreinte n'exclut aucun domaine environnemental ; cependant, son élaboration peut être entravée par l'absence de données disponibles, ainsi que par l'impossibilité d'associer les pressions environnementales concernées à la consommation de biens et de services.

Dans tous les secteurs concernés, le calcul de l'empreinte a pour objectif de représenter l'ensemble des pressions exercées sur l'environnement liées à la consommation de biens et services, que ces pressions soient directement exercées par les ménages ou indirectement par les établissements industriels, commerciaux et administratifs qui fabriquent, dans le pays concerné ou à l'étranger, les biens et services destinés à la demande intérieure (hors exportations). Autrement dit, tous les impacts environnementaux englobent, dans leur domaine, les pressions exercées sur le territoire national ainsi que celles exercées à l'étranger pour la fabrication des biens et services consommés dans le pays en question.

1.4.5. Contexte mondial des émissions de gaz à effet de serre

Toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la consommation d'une population sont considérées comme l'empreinte carbone d'une population, que les produits ou services concernés soient fabriqués sur son territoire ou importés. En raison de la mondialisation actuelle des économies, il est plus important d'évaluer. Cet indicateur afin de comprendre l'influence des émissions de chacun sur le changement climatique à l'échelle mondiale.

Les transferts d'activités émettrices en dehors du périmètre des pays ayant des engagements contraignants en matière d'émissions de gaz à effet de serre (par exemple, les pays de l'annexe B du Protocole de Kyoto) pourraient restreindre la portée des objectifs de réduction d'émissions établis à l'échelle mondiale. L'évaluation de ce genre d'impact carbone contribue également à une évaluation juste des pressions anthropiques sur l'environnement et met en évidence l'importance de la solidarité de la communauté internationale dans la lutte contre le changement climatique.

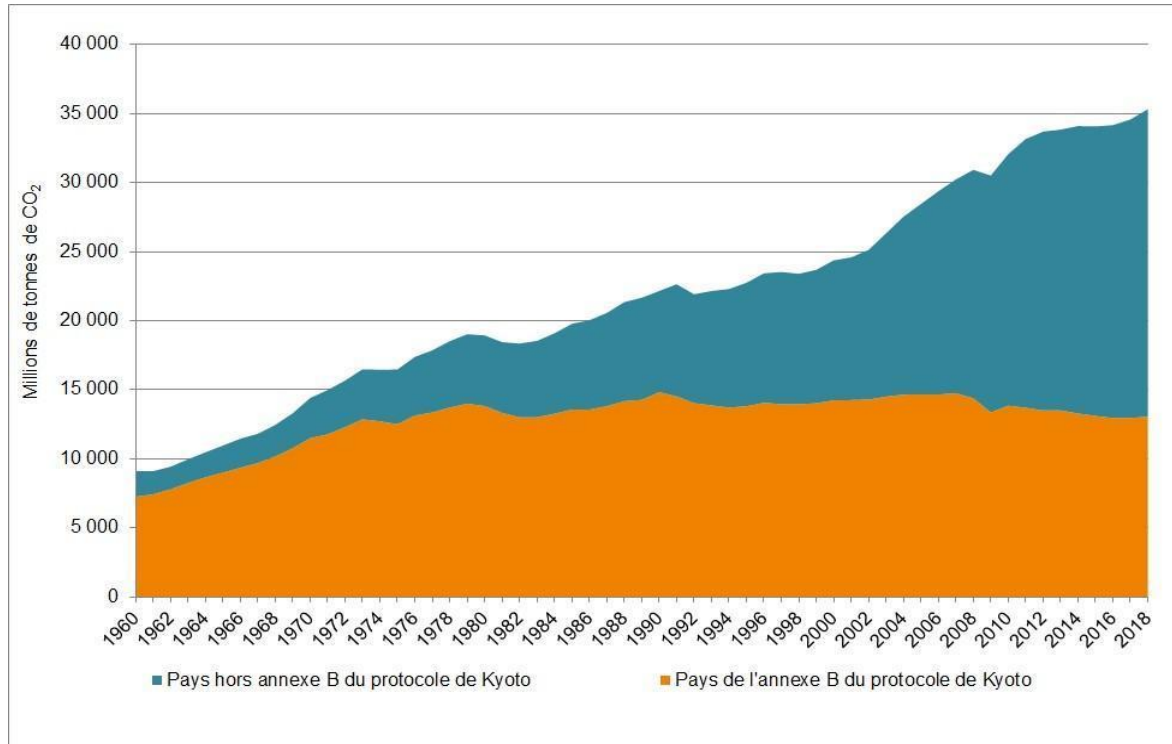
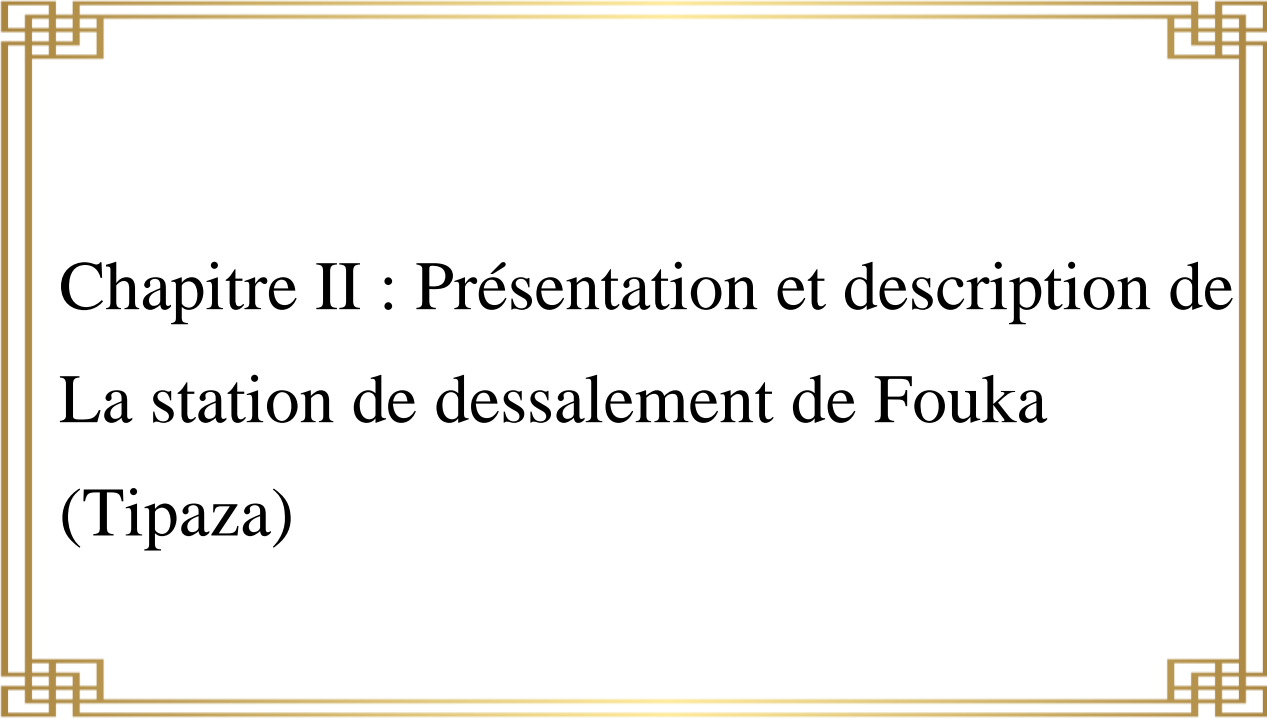


Figure 3 : évolution des CO₂ émis respectivement par l'ensemble des pays ayant des engagements de réduction dans le cadre du protocole de Kyoto et l'ensemble des autres pays (Global Carbon Project, Carbon Atlas 2019, <https://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>).

D'après plusieurs recherches (Aichele et al, 2012 , Boitier, 2012 , Peters et al, 2011), il a été démontré qu'il existe un « transfert » vers les pays tiers, par le biais du commerce international, des émissions de CO₂ provenant de tous les pays qui ont pris des engagements de réduction d'émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du Protocole de Kyoto. Depuis 1990, date de mise en place du protocole, les premiers ont réussi à stabiliser les émissions de CO₂ sur leur territoire, tandis qu'ils augmentaient les émissions de CO₂ liées à leurs importations en provenance des pays non-protocolaires. Depuis cette date, l'ensemble des émissions de ces derniers a plus que doublé.

Cependant, ces constatations ne permettent pas de conclure que le protocole de Kyoto serait responsable de la fuite d'activités économiques émettrices en dehors de son cadre. D'autre part, elles mettent en évidence l'importance d'une mobilisation mondiale pour lutter contre les émissions de gaz à effet de serre : l'implication d'une partie des pays n'est pas suffisante, du moins lorsque, ensemble, ils ne représentent pas une part suffisante du total des émissions. Lorsque le Protocole de Kyoto a été signé en 1997, l'ensemble des pays de l'annexe B représentait près de 59 % des émissions mondiales de CO₂, tandis qu'en 2018, il n'en représente plus qu'à 39 %.



Chapitre II : Présentation et description de
La station de dessalement de Fouka
(Tipaza)

INTRODUCTION

La situation de pénurie d'eau causée par les conditions de sécheresse sévères qui ont régné ces dernières décennies dans de nombreuses régions a poussé l'Algérie à utiliser ses 1200 km de côtes méditerranéennes pour construire des usines de dessalement d'eau de mer pour fournir de l'eau potable aux régions environnantes. Située sur la côte centre-nord du pays, la wilaya de Tipaza dispose d'une usine de dessalement à Fouka qui peut drainer 120 000 m³ par jour. L'eau dessalée est utilisée pour fournir de l'eau potable à la partie orientale de la wilaya de Tipaza (18 municipalités), tandis que le reste est destiné à Alger afin de renforcer le système de distribution de la zone côtière Ouest (Dahmani, 2022) .

2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Située dans la wilaya de Tipaza, l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka est située à 20 km du chef-lieu de wilaya et à environ 35 km à l'Ouest d'Alger. Située à l'entrée de Fouka et à la sortie de la ville de Douaouda Marine, l'usine est visible (Figure 4). L'accès à la station est assuré par la route nationale RN 11 en provenance d'Alger et en direction de Chlef, et par le chemin de wilaya N110 reliant Koléa à Bou-Ismaïl. Avec une superficie de 1273 hectares, la commune de Fouka se trouve au Nord-Est de la ville de Tipaza. Elle est restreinte :

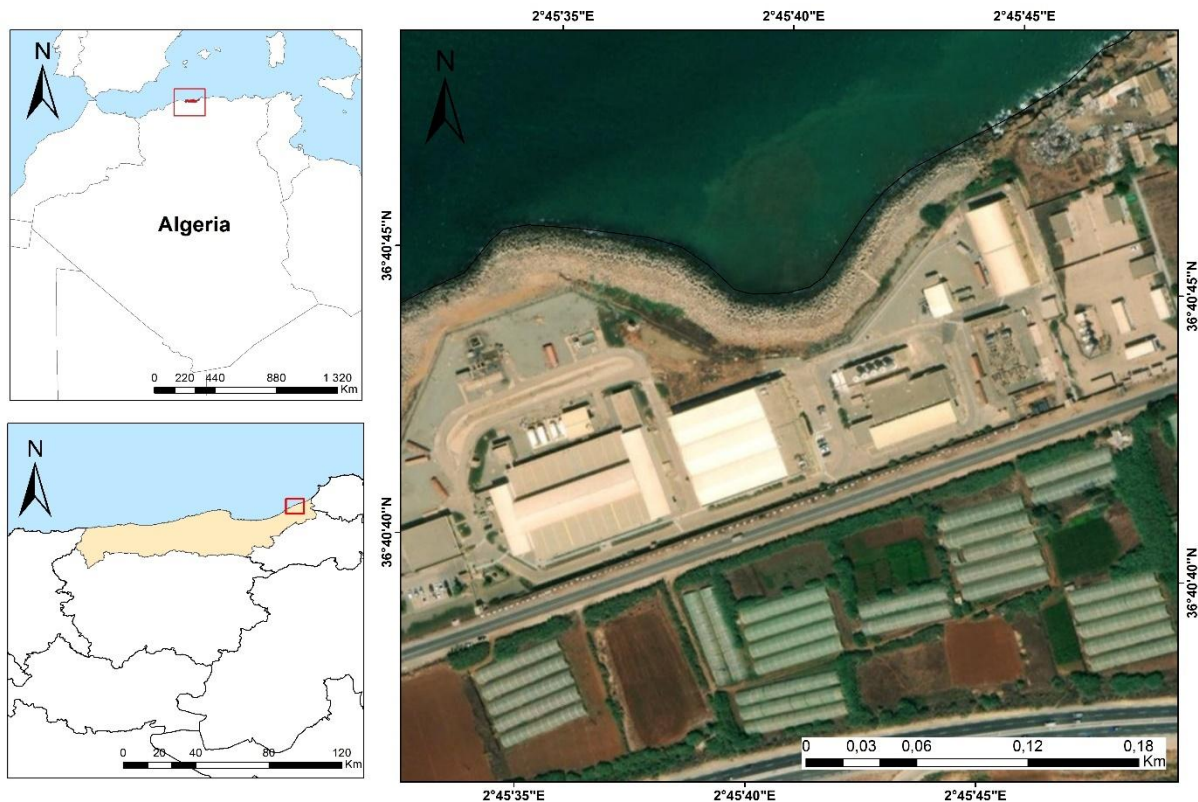


Figure 4 : Localisation de la station de dessalement Fouka (Amiour et Bousetoua).

La mer Méditerranée se trouve au Nord, la commune de Koléa au Sud, la commune de Douaouda à l'Est et celle de Bou Ismail à l'Ouest. L'usine occupe une superficie de 4 hectares et mesure 300 mètres de long et 70 à 150 mètres de large. Il est important de souligner que l'oued Mazafran se trouve à environ 4 km du côté oriental du site de la station de dessalement (Figure5) (Dahmani,2022) .

La station de Fouka est composée des différentes parties :

- Station de pompage – Prétraitement – Filtration – Osmose inverse – Reminéralisation – Station de pompage d'eau traitée – Traitement des rejets de la station – Ensemble de post-traitements du perméat – Poste de nettoyage chimique des membranes (Myah Tipaza-APRUE, 2022).

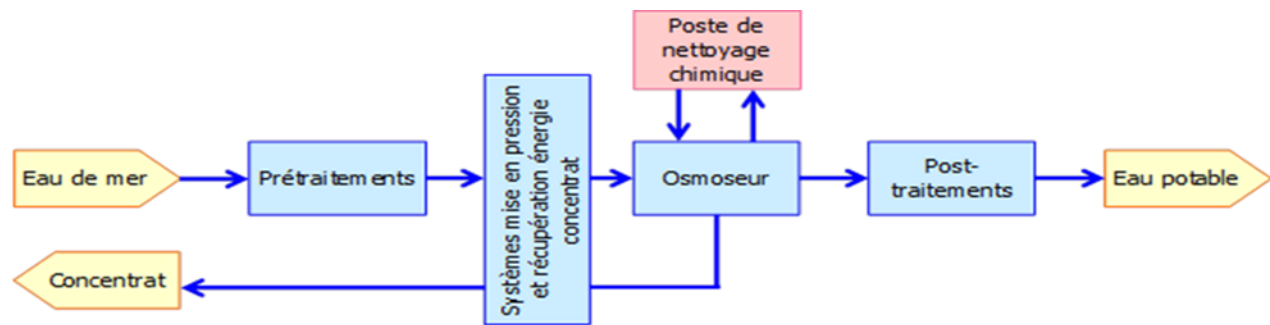


Figure 5 : Cartographie des sections de l'usine (MYAH TIPAZA-APRUE 2022).

2.2. Capacité de la station et mode de fonctionnement

La station de traitement dispose d'une capacité de 120 000 m³ par jour, avec un approvisionnement en eau brute d'environ 273 697 m³ par jour. La production s'étend sur une durée de 24 heures, ce qui équivaut à 5 000 m³ par heure. La conception du système d'osmose inverse est modulaire. Chaque jour, il est constitué de six (6) unités d'osmose inverse (OI) avec une capacité unitaire de 20 000 m³. Il n'existe aucune réserve d'unités. L'usine peut être mise en marche pour produire les niveaux de débits journaliers suivants :

Tableau 4 : Capacité unitaire de l'usine (MYAH TIPAZA-APRUE 2022).

| Nombre d'unités d'osmose inverse en service | Débit (m ³ /jour) | % du débit nominal |
|---|------------------------------|--------------------|
| 1 | 20 000 | 17 % |
| 2 | 40 000 | 33 % |
| 3 | 60 000 | 50 % |
| 4 | 80 000 | 67 % |
| 5 | 100 000 | 83 % |
| 6 | 120 000 | 100 % |

2.3. Description du procédé

L'eau de mer est amenée par gravité par une conduite de 1100 mètres de la prise d'eau située à la courbe bathymétrique de 13 mètres. Par la suite, l'eau est soumise à un processus de prétraitement qui inclut :

- Dans le cadre d'un système de filtration primaire utilisant des filtres à sables, une petite quantité de chlorure ferrique est introduite en amont des filtres afin de rassembler les particules présentes dans l'eau brute et de les retenir sur les filtres. Si l'eau de mer brute devient très turbide, il sera également possible d'injecter un polyélectrolyte afin d'améliorer l'agglomération et de retenir les particules sur les filtres.
- Une seconde filtration à l'aide de filtres à cartouches de 5 micromètres. La filtration de l'eau de mer par ce système empêchera l'entrée du sable (Meradji et Mokhtari, 2015).

2.4. Traitement d'eau de mer

1) Avant la chloration

Il est prévu de procéder à une pré-chloration de l'eau brute (par exemple, avec du chlore gazeux, de l'hypochlorite de calcium ou de l'hypochlorite de sodium), ce qui est utilisé comme traitement choc de l'eau à l'entrée de la station afin de prévenir la formation de biofilm dans les conduites de production d'eau et les filtres.

2) Combinaison et polymère

En amont des filtres, on ajoute du chlorure ferrique (ou sulfate ferrique) afin d'agir comme un agent coagulant et d'agglomérer les particules fines. Il sera possible d'injecter un coagulant à base de polymère lorsque l'eau brute sera très turbide (par exemple lors d'un orage).

3) Le Sodium métabisulfite ou bisulfite de sodium

Afin d'éliminer les résidus de chlore ou d'oxydants lorsqu'ils sont présents (NEE 2006).

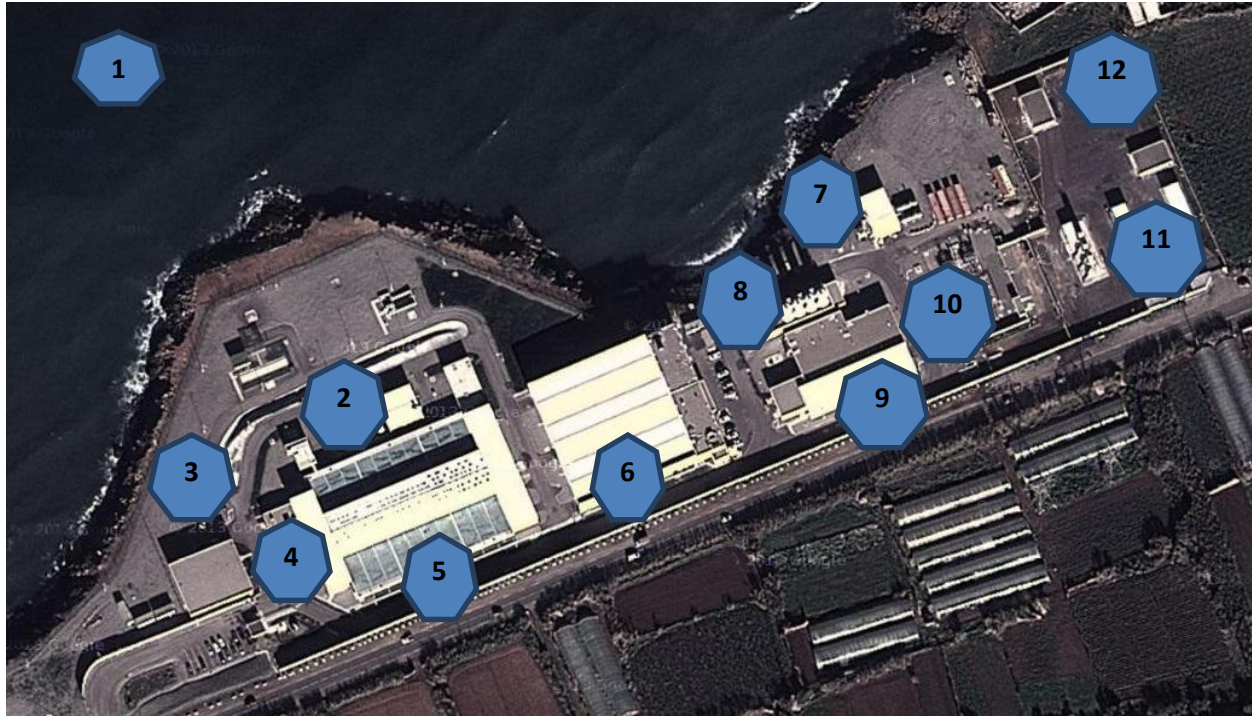


Figure 6 : Description générale de la station de Fouka (Meradji et Mokhtari, 2015).

- 1 – Tour de collecte de données ; 7 – Usine de production de CO₂.
2. Méthode chimique ; 8 Produit à base de chaux ;
3-structure de captage ; 9. Réservoir de production d'eau ;
4. Filtre à sable et anthracite ; 10. Installation de pompage d'eau générée ;
5 – La cartouche de filtre 11- Une sous-station de courant ;
6 – Structure d'osmose inverse ; 12-Station SEAAL de pompage ;

2.5. L'osmose inverse

Que signifie l'osmose inversée ? Les minéraux inorganiques et les substances qui peuvent altérer le goût et l'odeur de l'eau sont présents dans l'eau. L'eau a pour principale fonction d'hydrater plutôt que de nous apporter des minéraux. Le processus d'osmose inverse consiste à purifier l'eau contenant des substances en solution en utilisant un système de filtrage très fin qui ne permet de passer que les molécules d'eau. Le processus d'osmose inverse consiste donc à séparer l'eau et les sels dissous en utilisant des membranes semi-perméables sous l'influence de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce processus est efficace à température ambiante et ne nécessite pas de modification de phase. Les membranes polymères employées sont capables de permettre le passage des molécules d'eau tout en empêchant leur passage. La taille des particules, des sels dissous et des molécules organiques varie de 7 à 10 mm. L'osmose inverse peut également être définie comme suit :

Dans le but de dissoudre l'eau de mer, il est nécessaire de générer un flux à travers une membrane, qui conduirait l'eau du côté salé vers le côté non salé. Afin d'y parvenir, il est nécessaire d'exercer une pression sur la colonne d'eau salée afin de contrebalancer la pression osmotique naturelle et de pousser l'eau à travers la membrane. Il est donc nécessaire que la pression appliquée dépasse la pression osmotique. La pression requise pour le dessalement d'eau de mer est d'environ 54-80 bars (Altman, 2000).

2.5.1. Principe de l'osmose inverse

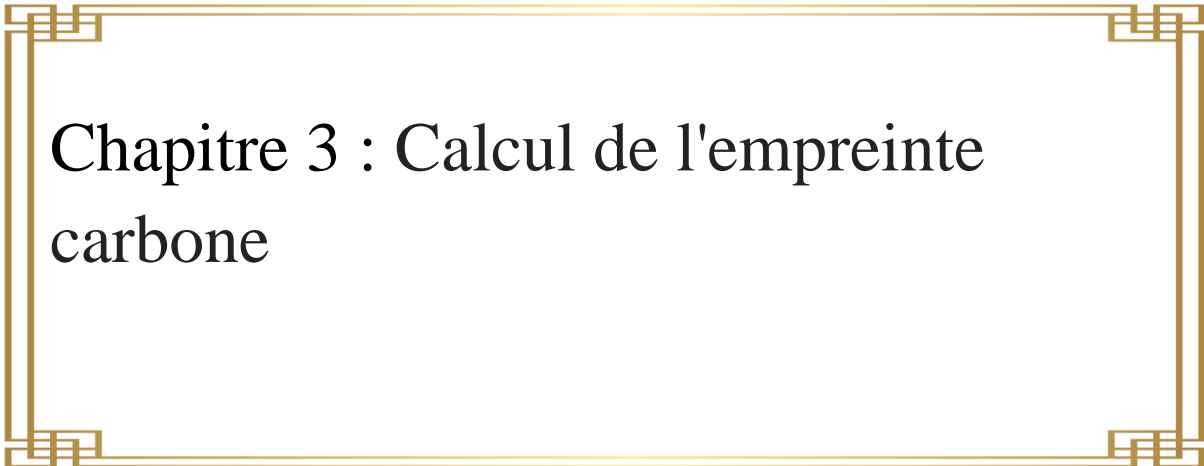
La notion d'osmose désigne le passage d'un solvant (généralement de l'eau) à travers une membrane semi-perméable sous l'influence d'un gradient de concentration.

Supposons qu'un système soit composé de deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et renfermant deux solutions de concentration distinctes. Le processus d'osmose se manifestera par un déplacement de l'eau de la solution diluée vers la solution concentrée. En appliquant une pression sur la solution concentrée pour empêcher ce flux d'eau, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Un moment viendra où la pression exercée sera telle que le flux d'eau sera interrompu. Selon la Figure (7), si nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, on désigne cette pression d'équilibre sous le nom de pression osmotique.

Le phénomène d'osmose inverse se produit lorsque la pression dépasse la pression osmotique, ce qui entraîne un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée (Altman, 2000).



Figure 7: Le principe de fonctionnement de l'osmose inverse (Degremont, 2010).



Chapitre 3 : Calcul de l'empreinte carbone

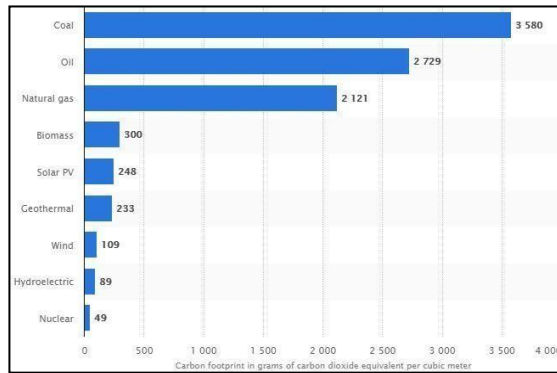
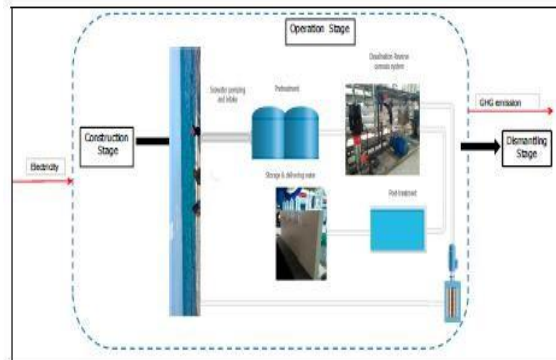
Chapitre 3 : Calcul de l'empreinte carbone

3.1. Le concept de l'empreinte carbone

3.1.1. La définition de l'empreinte carbone du dessalement

L'empreinte carbone est définie comme la totalité des émissions de gaz à effet de serre (GES) individuelles, où le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitrique (N₂O) sont convertis en équivalents de CO₂ en fonction de leur potentiel de réchauffement global (PRG) (Ghaffour et Reddy et Abu-Arabi, 2011). Le dessalement est une approche qui nécessite une grande quantité d'énergie par rapport au projet de purification d'eau. Toutefois, grâce à l'avancement d'une nouvelle technologie, il est possible d'améliorer réellement l'efficacité énergétique. Grâce à divers carburants et méthodes de production, l'empreinte carbone présente une variabilité considérable. (Liu et al., 2015), ont examiné la variabilité des émissions de carbone dans les trois méthodes de dessalement différentes. Pour la Méthode MSF, l'empreinte carbone de la production d'eau varie de 1,98 kg à 34,68 kg de CO₂ pour la méthode MED et de 1,2 kg à 26,94 kg de CO₂ pour la méthode OI (Ghaffour et Bundschuh et Mahmoudi et Goosen, 2014).

Basée sur les émissions de gaz à effet de serre associées à l'énergie de production, l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour alimenter une installation d'osmose inverse permettra d'obtenir une empreinte carbone de 248 grammes d'équivalent dioxyde de carbone par mètre cube (Figure 8).



| Empreint directe GES Kg CO2 par M3 d'eau douce | |
|--|-----------|
| Reverse Osmosis (RO) | 2.1 – 3.6 |
| Multi-effect Distillation with Thermovapor Compression (MED-TVC) | 8 – 16 |
| Multistage Flash (MSF) | 10 – 20 |

Figure 8 : Empreinte carbone du dessalement (Ammitouche et Baloul, 2022).

Tableau 5 : Exigences représentatives en électricité, chaleur de l'eau de mer (Jameel, 2016).

| | Specific power consumption | Thermal energy of steam | Steam extraction pressure ¹⁰ | Equivalent power loss (exergy of steam) | Total exergy input |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|---|----------------------------------|
| | kWh _e /m ³ | kWh _t /m ³ | bar (abs) | kWh _e /m ³ | kWh _e /m ³ |
| SWRO (Mediterranean Sea) | 3.5 | 0 | n.a. | 0 | 3.5 |
| SWRO (Arabian Gulf) | 4.5 | 0 | n.a. | 0 | 4.5 |
| MSF | 4-5 | 78 | 2.5-2.2 | 10-20 | 14-25 |
| MED-TVC | 1.0-1.5 | 78 | 2.5-2.2 | 10-20 | 11-21.5 |
| MED | 1.0-1.5 | 69 | 0.35-0.5 | 3 | 4-4.5 |

3.2. Émissions de gaz à effet de serre et consommation d'énergie

Les conséquences environnementales du dessalement sont considérables, impactant à la fois l'atmosphère et les ressources en eau. Le processus nécessite une grande quantité d'énergie thermique et électrique, ce qui entraîne des conséquences secondaires dans l'atmosphère sous la forme d'émissions de CO₂. Les systèmes d'eau sont de grands consommateurs d'énergie, ce qui entraîne une contribution significative à la production de gaz à effet de serre. Chaque étape de la production d'eau nécessite une consommation d'énergie. Il est indispensable de transporter l'eau provenant de sources éloignées, de pomper l'eau stockée dans les aquifères souterrains et de la traiter afin de respecter les normes réglementaires strictes. L'emploi de l'énergie a un impact sur l'empreinte carbone dans le domaine de l'eau.

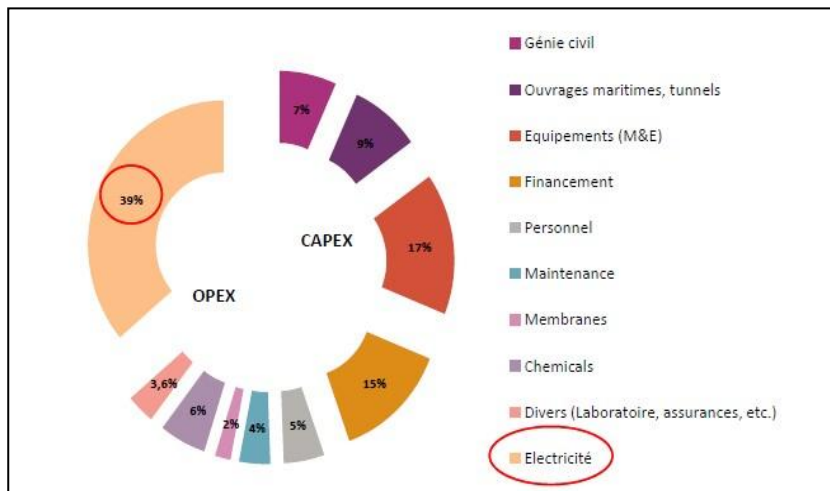


Figure 9 : Structure des coûts d’un projet de dessalement (Ammitouche et Baloul, 2022).

Figure 9 : Structure des coûts d’un projet de dessalement Actuellement, l’énergie utilisée dans les procédés thermiques et RO est fournie par les combustibles fossiles. Quelle que soit la source d’énergie, qu’elle soit électrique ou thermique , d’importants volumes de CO2 et d’autres gaz sont produits et émis dans l’atmosphère. Les préoccupations environnementales Associées à la demande d’énergie, elles sont donc indirectement associées au processus de dessalement ou Les émissions de polluants atmosphériques et les eaux de refroidissement provenant de la production d’énergie électrique, de la source de combustible et du transport de carburant (World Bank Group, 2019).

La production d'un mètre cube d'eau de mer dessalée, utilisant la technologie basse énergie RO, dégage en moyenne 2,0 kg de CO2 par m3. La technologie de dessalement thermique telle que MSF générera en moyenne 10 kg de CO2 par m3. En moyenne, on estime que la production de chaque m3 d'eau dessalée dans la région méditerranéenne a émis environ 3,45 kg de CO2. En se basant sur ces estimations, l'étude calcule que les émissions totales de CO2 de toutes les usines de dessalement d'eau de mer en exploitation dans la région méditerranéenne au cours de 2013 étaient équivalentes à 15 millions de Tonnes de CO2 par an. En utilisant la même combinaison de technologies de dessalement d'eau de mer, l'étude prévoit une émission totale de CO2 allant de 38 à 50 tonnes par an au cours de l'année 2030. Selon Plan Bleu (2009), le marché du dessalement de l'eau de mer dans la région méditerranéenne devrait atteindre d'ici 2030 entre 30 et 40 millions de m3 par jour. Il est possible que la capacité installée soit augmentée de cinq ou six fois d'ici 2030, même en prenant en compte le meilleur scénario et en garantissant que tous les futurs dessalements utiliseront exclusivement la technologie OI. La quantité totale d'émissions de CO2 estimée pour l'année 2030 se situera entre 22,75 et 29,0 millions de tonnes par an (Al-Shayji et Aleisa, 2018).

3.3 Le dessalement durable

3.3.1. Énergies renouvelables et non renouvelables

D'autres projets d'une capacité de 200 MW par an devraient être réalisés sur la période 2021-2030. En mai 2015, le Conseil des ministres a adopté un nouveau Programme national de développement des énergies renouvelables qui est une actualisation de celui de 2011, qui visait à produire 12 000 mégawatts à l'horizon de 2030, montrant la volonté de l'Algérie à investir dans les énergies propres.

Entre 2011 et 2030, le programme vise à mettre en place jusqu'à 22 000 MW de capacités de production d'électricité à partir de sources renouvelables. Au cœur des politiques énergétiques et économiques de l'Algérie, les énergies renouvelables occupent une place centrale : on prévoit qu'environ 40 % de l'électricité produite pour la consommation domestique provient des sources d'énergie renouvelable d'ici 2030. Effectivement, l'Algérie aspire à jouer un rôle clé dans la génération d'électricité grâce à l'énergie solaire et photovoltaïque (CDER, 2011).

En outre, le ministère de l'Énergie et des Mines a projeté, dans son nouveau programme des énergies renouvelables, d'installer des parcs éoliens d'une puissance totale de 1000 MW à moyen terme (2015-2020) (figure 9) pour atteindre 5010 MW à l'horizon 2030 (CDER, 2011).

Le couplage des sources d'énergie renouvelable (ER) avec Le dessalement a le potentiel de fournir une source durable d'eau potable. En outre, l'association de ces deux technologies diminuera l'impact environnemental du dessalement en raison de sa grande dépendance aux combustibles fossiles. Les diverses utilisations à travers le monde ont démontré que les petites unités de dessalement solaire et éolien, bien élaborées et exploitées, peuvent offrir une alimentation en eau de qualité supérieure à des sites isolés, à des prix avantageux. Il existe de nombreuses possibilités d'associer le processus de dessalement aux énergies renouvelables. Néanmoins, l'emploi des énergies renouvelables pour le Ce dessalement traditionnel présente deux limitations : leur prix élevé et la fluctuation de la production (alternance jour/nuit pour le solaire et variations climatiques pour l'éolien) causent des difficultés (Ammitouche et Baloul, 2022).

Le dessalement durable vise à atténuer l'impact environnemental des procédés de dessalement, traditionnellement alimentés par des énergies non renouvelables comme le gaz ou le pétrole. L'intégration des énergies renouvelables (EnR) telles que le solaire ou l'éolien permet de réduire l'empreinte carbone et de rendre le dessalement plus écologique. Les EnR offrent une alternative plus propre en limitant les émissions de gaz à effet de serre et en réduisant les impacts environnementaux. Cependant, les défis incluent les coûts initiaux élevés des infrastructures et la variabilité de la production d'énergie (jour/nuit pour le solaire et fluctuations climatiques pour l'éolien) (Ammitouche et Baloul, 2022).

3.4. Récupération d'énergie de la saumure

Pour le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse (RO), environ 40 à 45 % de l'eau d'alimentation est récupérée sous forme d'eau douce (perméat) : c'est le taux de conversion (Recovery). Les autres 55-60 % (saumure) sont éjectés dans la mer à une pression légèrement inférieure à celle qu'ils étaient avant d'être introduits dans le module. Les ingénieurs ont alors élaboré des systèmes de récupération d'énergie afin d'optimiser le bilan énergétique (Ammitouche et Baloul, 2022). Toutes les installations commerciales sont pourvues, en principe, de ces systèmes de « récupération d'énergie », leur permettant de récupérer une partie de l'énergie de l'écoulement de cette saumure. Bien que la turbine Pelto, avec son rendement d'environ 74 %, soit la plus utilisée, elle est progressivement remplacée par les « boosters de pression hydraulique » (HPB), qui sont des systèmes plus élaborés et plus efficaces (Figure 11) et dans la station de Beni Saf. Ces techniques dans la récupération d'énergie de la saumure incluent généralement des dispositifs comme les échangeurs de pression et les turbines de récupération d'énergie, permettant de capter l'énergie résiduelle de la saumure rejetée et de réduire la consommation énergétique globale de l'installation. (Ammitouche et Baloul, 2022).

Le principe des HPB est simple : l'énergie de la saumure est transférée directement à l'écoulement de l'eau d'alimentation qui est déjà sous pression, sans avoir à être convertie en énergie de rotation. Le rendement global de tels systèmes est d'environ 94 % ; ils ont déjà été mis en œuvre dans plusieurs installations commerciales. Atteignant une consommation spécifique d'énergie de 2 kWh par m³ d'eau douce produite. En général, tous les établissements commerciaux sont équipés de ces systèmes de « récupérateurs d'énergie » qui leur permettent de récupérer une partie de l'énergie provenant de l'écoulement de cette saumure. Malgré son rendement d'environ 74 %, la « turbine Pelton » est de plus en plus utilisée, mais elle est progressivement remplacée par les « boosters de pression hydraulique » (HPB), qui sont des systèmes plus avancés et plus efficaces (Figure 12). Les HPB fonctionnent de manière simple : l'énergie de la saumure est directement transférée à l'écoulement de l'eau d'alimentation, qui est déjà sous pression, sans avoir besoin d'être convertie en énergie de rotation. Le taux de performance global de ces systèmes est d'environ 94% ; ils ont déjà été utilisés dans diverses infrastructures commerciales. Une consommation d'énergie spécifique de 2 kWh par m³ d'eau douce produite est atteinte (Ammitouche et Baloul, 2022).

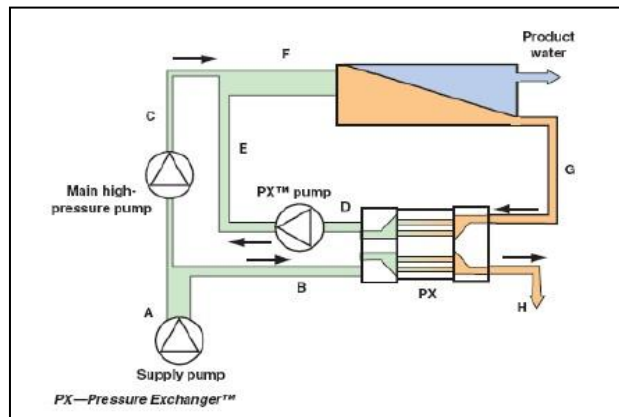


Figure10:Schéma de principe d'un échangeur de pression (Récupération d'énergie) (Ammitouche et Baloul, 2022).

3.5 Équipements et technologies pour l'évaluation de l'empreinte carbone

1. Compteurs d'électricité :

- Présentation : ces appareils évaluent la quantité d'électricité utilisée dans la station. Ils ont la possibilité d'être analogiques ou numériques et offrent des informations sur la consommation d'énergie à diverses périodes.
- Bénéfices : facilite le suivi précis de la consommation d'électricité, permet de repérer les possibilités d'amélioration de l'efficacité et de diminuer les dépenses.
- Application : employée afin de rendre compte de la consommation d'électricité et d'évaluer l'impact environnemental.

2. Appareils de mesure de la consommation de combustible :

- Description : évaluent la quantité de carburant utilisé, qu'il soit liquide comme le diesel ou gazeux comme le gaz naturel. Inclut des mesures de flux et des mesures de niveau.
- Bénéfices : permet une surveillance précise de la consommation de carburant et une optimisation de la combustion.
- Utilisation : indispensable afin d'évaluer la consommation de carburant et de déterminer les émissions de CO₂.

3. Analyseurs de CO₂ :

- Description : On utilise des techniques telles que l'absorption infrarouge pour mesurer la concentration de dioxyde de carbone dans les émissions de gaz.
- Bénéfices : offre des données précises sur les niveaux de CO₂, ce qui permet d'évaluer l'impact sur l'environnement.
- Utilisation : employée afin de contrôler les émissions de CO₂ des équipements et d'assurer le respect des normes environnementales.

4. Analyseurs de NOx (oxydes d'azote) :

Les mesures des oxydes d'azote (NO et NO₂) dans les gaz d'échappement sont effectuées en utilisant des méthodes telles que la chimiluminescence.

– Bénéfices : Permet de surveiller les émissions de NOx et de se conformer aux règles environnementales.

Objet : employé afin de surveiller les concentrations de NOx et de diminuer l'incidence sur la qualité de l'air.

5. Analyseurs de SOx (oxydes de soufre) :

La mesure des concentrations d'oxydes de soufre dans les émissions est réalisée en utilisant des techniques telles que la fluorescence X-ray.

– Bénéfices : facilite la surveillance des niveaux de SOx et garantit le respect des normes environnementales.

– Utilisation : employée afin de surveiller les émissions de SOx et de réduire leur influence sur l'environnement.

6. Ordinateurs :

– Présentation : employés dans le traitement des données et la gestion des données. Souvent, ils sont munis de logiciels spécifiques pour effectuer des calculs et des rapports.

– Bénéfices : offre des instruments performants pour l'analyse des données et la création de rapports approfondis.

– Application : employée afin d'analyser les informations recueillies et de générer des rapports sur les résultats environnementaux.

7. Logiciels d'analyse des données :

– Description : Programmes employés pour étudier les données environnementales, comprenant des outils statistiques et des logiciels de modélisation.

– Bénéfices : facilite des analyses approfondies et offre des informations détaillées sur les résultats environnementaux.

– Utilisation : employée afin d'analyser les informations provenant des appareils de mesure et de créer des rapports précis.

8. Registres d'exploitation et de maintenance :

– Description : Documents qui consignent les activités et les opérations de maintenance des équipements, y compris les dates, les réparations et les vérifications.

Avantages : Contribue à la surveillance de l'historique de maintenance, à la planification des interventions requises et à la garantie du bon fonctionnement des yeux.

– Utilisation : employée afin d'examiner l'historique de maintenance et d'améliorer la gestion des installations.

9. Registres de performance environnementale :

– Présentation : Rapports qui enregistrent les résultats environnementaux de la station, y compris l'efficacité énergétique et les émissions.

– Benefits : offre des informations précises sur les résultats environnementaux et contribue à améliorer les approches de gestion environnementale.

– Méthode : employée afin d'évaluer l'effet des opérations sur l'environnement et de générer des rapports de conformité.

10. Appareils de mesure des débits :

Les mesures du volume d'eau entrant et sortant de la station sont effectuées en utilisant des débitmètres et des capteurs de niveau.

– Bénéfices : facile à surveiller les quantités d'eau utilisées et évaporées.

– Utilisation : employée afin d'assurer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et d'évaluer la consommation.

11. Appareils de mesure de l'efficacité énergétique

– Présentation : instruments permettant d'évaluer l'efficacité des systèmes énergétiques, comme les évaluations de performance des pompes et des systèmes de chauffage.

– Bénéfices : contribue à augmenter l'efficacité énergétique et diminuer les pertes.

– Contexte : employé afin d'évaluer et d'optimiser l'efficacité énergétique des procédés de dessalement.

12. Systèmes de gestion de l'énergie (SGE) :

Les systèmes informatiques intégrés permettent de surveiller et d'analyser en temps réel la consommation d'énergie, avec des outils de reporting et de gestion des données.

– Bénéfices : améliore la gestion de l'énergie, diminue les dépenses et renforce la durabilité.

– Utilisation : employée afin d'optimiser l'efficacité énergétique et de gérer les dépenses énergétiques.

13. Les capteurs de température

– Définition : sont utilisés pour évaluer les températures des fluides et des équipements disponibles dans la station, en utilisant des thermocouples ou des capteurs à résistance.

– Bénéfices : donne des informations précises sur les températures afin de garantir le bon déroulement des procédés.

– Utilisation : employé afin de contrôler les températures dans les systèmes de dessalement et

d'assurer leur efficacité.

14. Analyseurs de chaleur :

Définition : instruments permettant d'évaluer l'efficacité des systèmes de récupération de chaleur en mesurant la quantité de chaleur transmise ou perdue.

- Bénéfices : optimise l'exploitation de la chaleur et diminue les pertes d'énergie.
- Conception : employée afin d'évaluer l'efficacité de la récupération de chaleur et d'améliorer les systèmes.

15. Analyseurs de qualité de l'eau :

- Description : Évaluent différentes caractéristiques de la qualité de l'eau, comme le pH, la turbidité et les éléments chimiques.
- Bénéfices : Garantit le respect des normes de qualité de l'eau traitée.
- Application : employé afin de contrôler la qualité de l'eau et d'assurer qu'elle respecte les Normes environnementales.

16. Appareils de mesure des solides en suspension :

La mesure de la quantité de particules solides en suspension dans l'eau est effectuée en utilisant des méthodes gravimétriques ou optiques.

- Bénéfices : offre des informations sur les niveaux de pollution présents dans les déchets.
- Utilisation : employée afin d'évaluer l'efficacité du traitement des eaux et de garantir la qualité.

17. Logiciels de modélisation des processus :

Programmes qui simulent les processus de dessalement afin d'étudier les conséquences des divers scénarios opérationnels.

- Bénéfices : propose des méthodes pour évaluer les résultats et optimiser les procédures.
- Utilisation : employée afin de reproduire les processus et d'analyser les résultats afin d'améliorer les opérations.

18. Outils de simulation de cycle de vie :

- Définition : programmes qui évaluent l'empreinte écologique des équipements et des processus tout au long de leur cycle de vie.
- Bénéfice : facilite le calcul de l'empreinte carbone globale et permet de repérer les possibilités d'amélioration.
- Application : employée pour évaluer les conséquences environnementales des activités tout au long de leur existence.

19. Collecteurs de particules :

- Définition : utilisent des méthodes de filtration ou de détection optique pour mesurer les particules en suspension dans l'air, comme les PM2.5 et PM10.

- Bénéfices : contribue à la surveillance de la qualité de l'air et à la mesure des émissions contaminantes.
- Objet : employé afin de surveiller les niveaux de pollution de l'air et d'améliorer la qualité de l'air dans la station.

20. Analyseurs de méthane (CH₄) :

- Caractéristiques : évaluent les concentrations de méthane dans l'air en utilisant des méthodes comme l'absorption infrarouge.
- Avantages: offre la possibilité de surveiller les émissions de méthane, un gaz à effet de serre important.
- Utilisation : employée afin de surveiller et gérer les émissions de méthane, ainsi que d'analyser leur influence sur l'environnement.

3.6. Méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre

3.6.1-Équivalent CO₂ (une unité de mesure)

L'empreinte carbone désigne un indicateur qui consiste à mesurer les émissions de gaz à effet de serre liées à une activité. Ces gaz (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, protoxyde d'azote, méthane et ozone) désignent des gaz pouvant être d'origine naturelle (vapeur d'eau) ou anthropique (venant des activités humaines).

Leur présence dans l'atmosphère régularise la température sur Terre. Cependant, leur forte concentration entraîne le réchauffement climatique, d'où l'intérêt de réduire les émissions de GGES.

L'empreinte sur l'environnement est généralement exprimée en équivalent CO₂ ou équivalent dioxyde de carbone. Par souci d'homogénéisation et de simplicité, les spécialistes de l'environnement ont désigné tous les types de gaz par le CO₂.

Le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a créé cette mesure métrique pour convertir les différents Ges en une unité commune. Cette unité de mesure est reconnaissable grâce au symbole CO₂e, CO₂eq ou éq. CO₂. Elle permet de comparer les diffusions des gaz à effet de serre sur la base de leur Potentiel de réchauffement global (PRG). À noter que les Ges se différencient entre eux par leur pouvoir réchauffant et leur durée de vie dans l'atmosphère.

L'équivalent CO₂ permet d'avoir une comparaison fiable des émissions de CO₂ et aide ainsi à élaborer une stratégie adaptée à une activité humaine, une entreprise, un État... en vue de limiter leur empreinte carbone. L'équivalent CO₂ donne donc la possibilité d'analyser les évolutions des Ges sur le long terme et de déterminer leurs origines comme le démontre le tableau suivant :

Tableau 6 : Les émissions de gaz à effet de serre.

| Gaz à effet de serre | Durée de vie | PRG sur 100 ans | Équivalent dioxyde de carbone | Source des émissions |
|--------------------------|--------------|-----------------|-------------------------------|---|
| Dioxyde de carbone (CO2) | 100 ans | 1 | 0.27 | Combustion des énergies fossiles Élevage et agriculture intensive Déforestation |
| Méthane (CH4) | 12 ans | 25 | 6.27 | Élevage bovin Exploitation des rivières et des décharges d'ordures |
| Protoxyde d'azote (N2O) | 120 ans | 298 | 81.27 | Industries du froid et de l'automobile Excès d'engrais répandu dans les champs |

D'après ce tableau 6, une tonne de méthane réchauffera autant le climat que 30 tonnes de dioxyde de carbone, sur 100 ans. Côté calcul, afin d'obtenir l'équivalent CO2 d'un gaz, il faut suivre la formule suivante : **Tonne d'Équivalent CO2 d'un gaz = quantité du gaz × Potentiel de réchauffement global du gaz souhaité. À noter que l'empreinte carbone se quantifie en kilogrammes d'équivalent dioxyde de carbone (kg CO2eq).**

3.6.2- Calcul de l'empreinte carbone (les éléments à prendre en compte)

Le calcul de l'empreinte carbone est une méthode efficace pour lutter contre le changement climatique. Il consiste à identifier les principaux gaz à effet de serre et les traduire par leur équivalent CO2. Cette opération aide une personne ou une collectivité à connaître sa diffusion de Ges. Ainsi, elles peuvent réduire les impacts de leurs activités sur l'environnement de manière considérable. Pour réaliser l'opération, il convient de tenir compte de quelques éléments, notamment les émissions directes de CO2 (consommation énergétique, transport, agriculture...) et indirectes (production des services et des biens locaux et importés). De ce fait, le calcul de l'empreinte environnementale est différent de l'inventaire national qui ne se concentre que sur les diffusions des GES émises à l'intérieur du pays. Le calcul se base toujours sur la formule :

$$\text{Émissions de CO2} = \text{quantité consommée} \times \text{facteur d'émission.}$$

3.6.3. Paramètres pour le calcul de l'empreinte carbone des stations de dessalement de l'eau de mer

Tableau 7 : Paramètres pour le calcul de l'empreinte carbone des stations de dessalement de l'eau de mer

| Composante | Unité | Valeur |
|---|-------------------------|--|
| Surface occupée par la SDEM | M ² | 4,2 Ha |
| Production d'eau dessalée par an | | 42 138 738M ³ |
| Consommation moyenne d'électricité pour le process an | M kwh | Total : 165 671 597 KWH Process : 165 025 478 KWh |
| Consommation moyenne d'électricité pour l'éclairage/an | M kwh | 646 119KWh |
| Consommation spécifique | M KWh/M ³ | 3,932 |
| Énergie électrique consommée par compartiment : station de pompage, prétraitement, filtration, osmose inverse, re-minéralisation, station de pompage d'eau traitée, traitement des rejets de la station, ensemble de post-traitements du perméat, poste de nettoyage chimique des membranes | M kwh | 7 % Station de pompage, 11 % (Prétraitement + filtration), 59 % (Osmose), 23 % (Eau traitée) |
| Autoproduction d'électricité (préciser si l'énergie est réutilisée et dans quelle phase) | M kwh | Non. |
| Quantité de gaz consommée par la SDEM | TWH | 12 300 000 TH (621 096 M) ³ |
| Quantité de carburant utilisée par les véhicules de la SDEM | Litre/an | |
| Utilisation de carburant (sur site et véhicules du parc) | Litres/an | |
| Longueur et diamètre de l'émissaire de captage et matériau constituant | M | 900 m PEHD |
| Membranes (filtres) utilisées par an, matériau constituant | Conteneurs ¹ | 9 072 membranes |
| <i>Filtres à Sable</i> | Nombre | 18+2 |
| <i>Filtres à anthracite</i> | Nombre | 18+2 |
| <i>Filtres à cartouches (5 µm)</i> | Nombre | 10 (376 cartouches 3 µm/filtre) |
| <i>Chlorure ferrique</i> | Volume | 10 000 Kg/an |
| <i>Acide sulfurique</i> | Volume | 0 kg/an |
| <i>Sodium Metabisulfite</i> | Volume | 200 Kg/An |
| <i>Hypochlorite de sodium</i> | Volume | 265 000 Kg/An |
| <i>Dispersant</i> | Volume | 0 |
| Livraison de matériaux | | |
| Élimination des boues (incinération / si oui, énergie) | | 54 m ³ STEP |
| Production de produits chimiques | | CO2 (2 200 000 Kg/An) |
| Émissions directes du processus | | Effluent liquide |
| Équipement de processus | | Pompes + tuyauterie+ vannes+ ouvrages GC+...) |
| Procédés de désinfection | | Hypochlorite de Sodium |
| Est-ce que le circuit de gaz est conçu uniquement pour alimenter la chaudière afin de produire le CO2 qui va servir comme additif afin de reminéraliser l'eau produite ? | OUI. | |
| La combustion du gaz, les fumées des gaz brûlés vont être traitées. Le combustible est brûlé dans une chaudière. | Oui, | |

1

3.7. Méthode de calcul de l'empreinte carbone

Estimation des émissions par catégorie d'usage d'énergie

Chaque catégorie d'usage est associée à une énergie apparente générant des émissions de CO₂ au niveau de la station de dessalement d'eau de mer. En ce qui suit, l'estimation ne prend pas compte de la quantité d'eau dessalée ;

3.7.1. Énergie Électrique

- Consommation totale : 165 671 597 kWh par an
- Émissions par unité : 0,5 kg CO₂/kWh
- Empreinte carbone : $165\,671\,597 * 0,5 = 82\,835\,798.5$ kg CO₂ par an (82 mille tonnes)
- Répartition :
- Renouvelable (40 %) : 33 134 319.4 kg CO₂ par an

Rapport au pourcentage (car c'est une source renouvelable).

- Non renouvelable (60 %) : 49 701 479.1 kg CO₂ par an = 49 701.47 tonnes Co₂ par an.

3.7.2. Émissions directes (utilisant du diesel)

- Quantité de diesel : 700 000 litres par an
- Facteur d'émission : 2,7 kg CO₂/litre
- Empreinte carbone : 1890 000 kg CO₂ par an = 1 890 tonnes Co₂ par an.

Processus de traitement :

- Émissions associées aux produits chimiques :

3.7.3. Transport

- Émissions associées : 6 000 kg CO₂ par an = 6 tonnes Co₂ par an.

3.7.4. Gestion des déchets

- Émissions associées : 2 000 kg CO₂ par an = 2 tonnes Co₂ par an.

Empreinte carbone totale = 53 799 tonnes Co₂ par an.

Voici comment les pourcentages sont calculés pour chaque catégorie :

1. Énergie électrique non renouvelable :

$$49\,701,47 / 53\,799 * 100 = 92,38 \%$$

2. Émissions directes (générateurs) :

$$1\ 890/53\ 799 *100 =3,51 \%$$

3. Processus de traitement :

$$2\ 200,20/53\ 799* 100= 4,09 \%$$

4. Transport :

$$6/53\ 799* 100 =0,01 \%$$

5. Gestion des déchets :

$$2/53\ 799* 100 = 0,004 \%$$

Tableau 8 : Répartition des Émissions de CO₂ par source pour la Station de Dessalement de l'Eau de Mer à Fouka.

| Catégorie | Émissions (tonnes CO ₂ /an) | Pourcentage |
|-------------------------------------|--|--------------|
| Énergie électrique non renouvelable | 49 701,47 | 92,3828246 % |
| Émissions directes (générateurs) | 1 890 | 3,51304576 % |
| Processus de traitement | 2 200.20 | 4,08925962 % |
| Transport | 6 | 0,01115253 % |
| Gestion des déchets | 2 | 0,00371751% |
| Total (somme) | 53 799 | 100 % |

3.7.5. Estimation des émissions par rapport à la quantité d'eau dessalée

C'est un sujet essentiel dans le domaine de la durabilité de l'environnement. Dans le cas de la production d'eau dessalée, il est primordial de prendre en compte l'empreinte carbone liée à ce processus. Il s'agit de déterminer les émissions de gaz à effet de serre causées par la désalinisation de l'eau. Dans cette situation, il est essentiel de considérer le volume d'eau dessalée produit annuellement et de diviser cette quantité par l'empreinte carbone totale afin de calculer les émissions liées à la production d'un mètre cube d'eau dessalée. Grâce à cette méthode, il est possible d'évaluer de manière précise les conséquences environnementales de la production d'eau dessalée et de chercher des solutions plus durables. En résumé, il est crucial d'évaluer les émissions en fonction de la quantité d'eau dessalée en afin d'évaluer l'empreinte carbone de ce processus et prendre des mesures pour diminuer l'impact environnementale de la production d'eau dessalée .

La quantité d'eau dessalée : 42 138 738 m³/an

L'EFc : 53 799.67 tonnes CO2 par an = 53 799 .67 * 1000 kg CO2 / an

Émission : 53 799/42 138 738 = 1.26 kg CO2 /an M³



Chapitre 4 : Résultats et discussions

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.1. Les Émissions de Carbone

4.1.1 Émissions liées à la Consommation d'Énergie Électrique

En 2023, la consommation totale d'électricité de la Station de Dessalement de l'Eau de Mer (SDEM) de Fouka s'élève à 49 701,47 tonnes CO₂ par an. Cette consommation comprend divers postes tels que l'éclairage des installations, le fonctionnement des équipements de dessalement, les systèmes de ventilation et d'autres besoins opérationnels. Chaque poste contribue différemment à l'empreinte carbone totale de la station. Une gestion efficace et une optimisation de la consommation d'électricité sont essentielles pour réduire les émissions associées, Cette contribution élevée est due à la consommation importante d'énergie nécessaire au fonctionnement des équipements, notamment les pompes haute pression et les membranes d'osmose inverse. L'électricité utilisée provient principalement de combustibles fossiles, amplifiant ainsi l'empreinte carbone. Pour atténuer cette empreinte, plusieurs approches peuvent être envisagées : améliorer l'efficacité énergétique des équipements, adopter des technologies de dessalement plus performantes et intégrer des sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire ou éolienne. De plus, la transition vers des fournisseurs d'électricité à faible émission de carbone ou l'implémentation de systèmes de production d'énergie interne moins polluants pourraient significativement réduire les émissions.

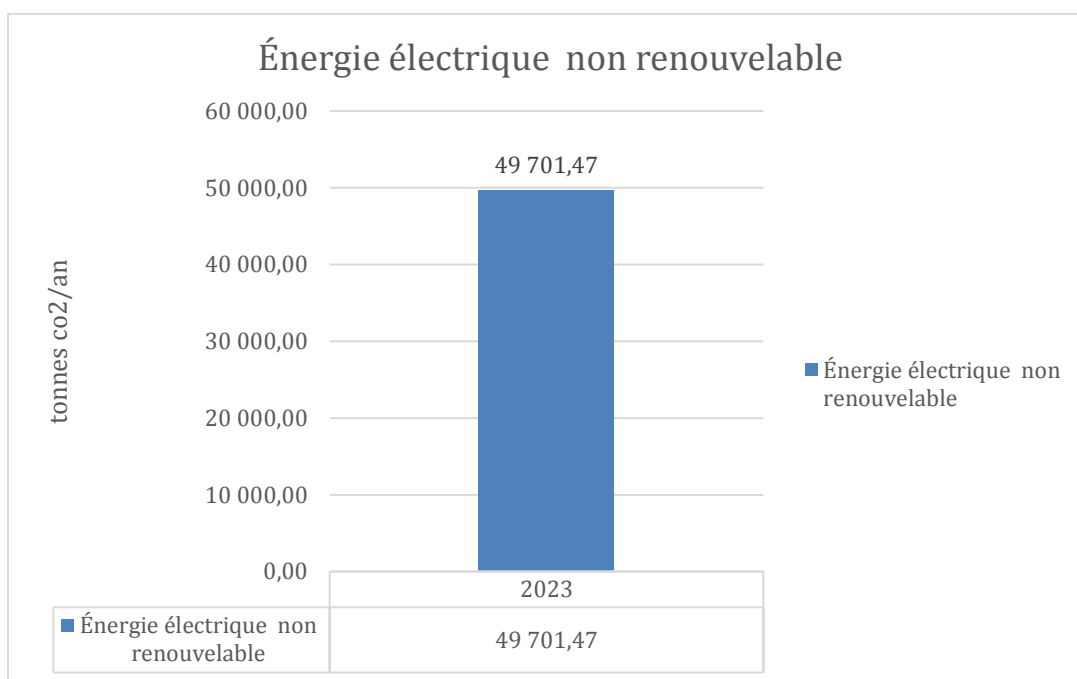


Figure 11 : Émissions de Carbone (tonnes CO₂) liées à l'Énergie Électrique non renouvelables.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.1.2 Émissions Directes des Générateurs de Secours

Les émissions directes provenant des générateurs de secours, en 2023 évaluées à 1 890 tonnes CO₂ par an, représentent une part relativement modeste de l'empreinte carbone totale. Ces émissions sont dues à l'utilisation de générateurs fonctionnant avec des combustibles fossiles, utilisés pour assurer la continuité de l'approvisionnement en électricité lors des pannes ou des pics de demande. Bien que leur impact soit relativement faible, il est crucial d'optimiser leur utilisation. Les solutions potentielles incluent l'utilisation de générateurs alimentés par des biocarburants ou l'intégration de systèmes de stockage d'énergie. Une gestion rigoureuse et une maintenance régulière des générateurs peuvent également contribuer à réduire leur fréquence d'utilisation et, par conséquent, leurs émissions.

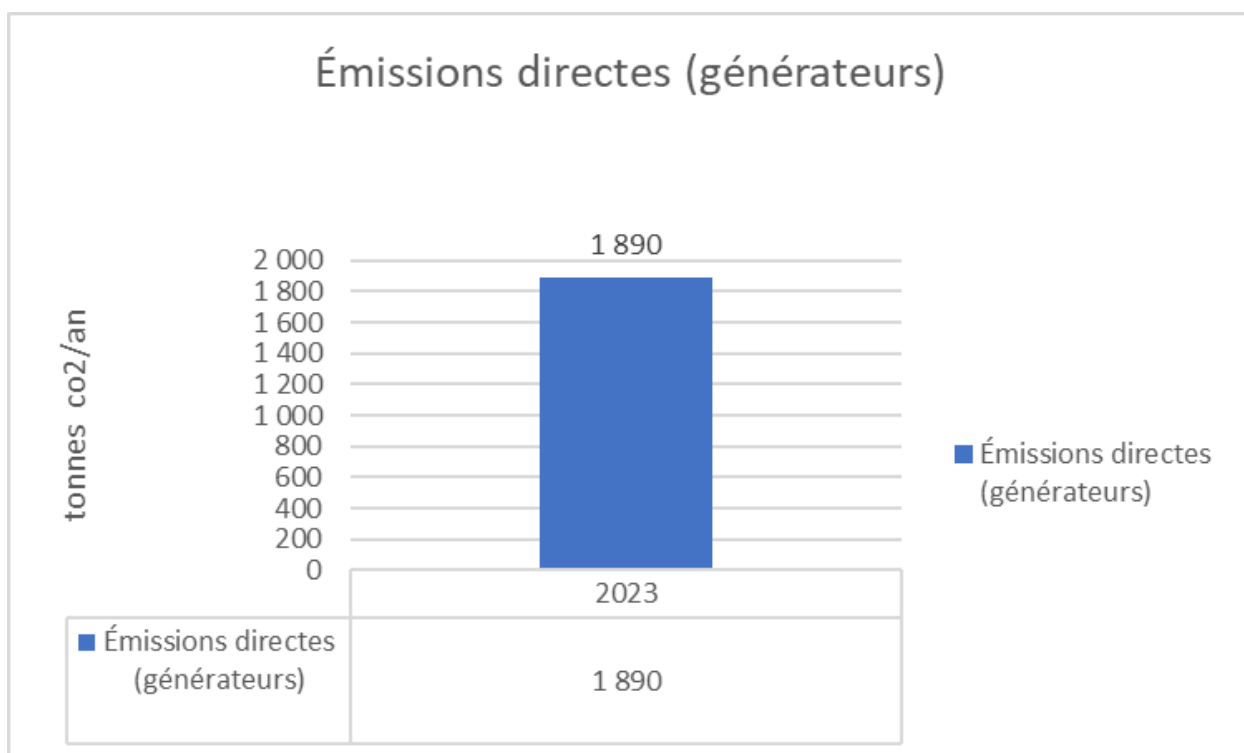


Figure 12: Émissions de Carbone (tonnes CO₂) des Générateurs .

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.1.3 Émissions liées au Processus de Dessalement

Le processus de traitement de l'eau de mer en 2023, qui génère 2 200,20 tonnes CO₂ par an, est énergivore en raison des besoins en énergie pour le maintien de la pression nécessaire au dessalement par osmose inverse. Les émissions associées à ce processus dépendent fortement de l'efficacité des technologies utilisées. Pour réduire ces émissions, il est recommandé d'améliorer l'efficacité des équipements de traitement, d'optimiser les conditions opérationnelles et d'explorer des technologies moins énergivores ou innovantes. Une réduction de la consommation d'énergie pourrait ainsi diminuer de manière significative l'empreinte carbone liée au processus de dessalement.

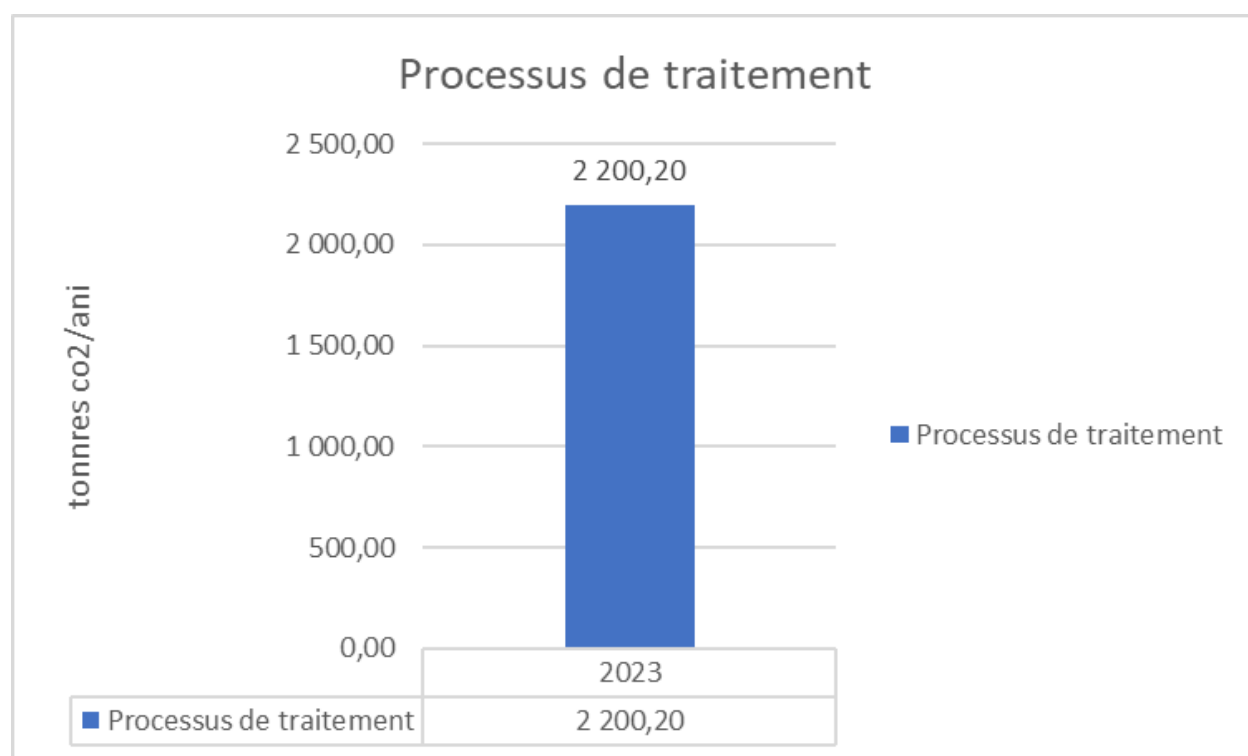


Figure 13: Émissions de Carbone (tonnes CO₂) du Processus de Dessalement

4.1.4 Émissions Associées au Transport

Les émissions liées au transport en 2023, évaluées à 6 tonnes CO₂ par an, sont relativement faibles comparées aux autres sources d'émissions. Elles résultent du transport des matériaux, produits chimiques et équipements nécessaires au fonctionnement de la station. Bien que ces émissions soient marginales, des mesures peuvent être prises pour les réduire davantage, telles que l'optimisation des itinéraires de transport, l'utilisation de véhicules à faibles émissions ou l'amélioration des pratiques logistiques pour réduire les distances parcourues. Ces ajustements pourraient contribuer à une diminution supplémentaire des émissions associées au transport.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

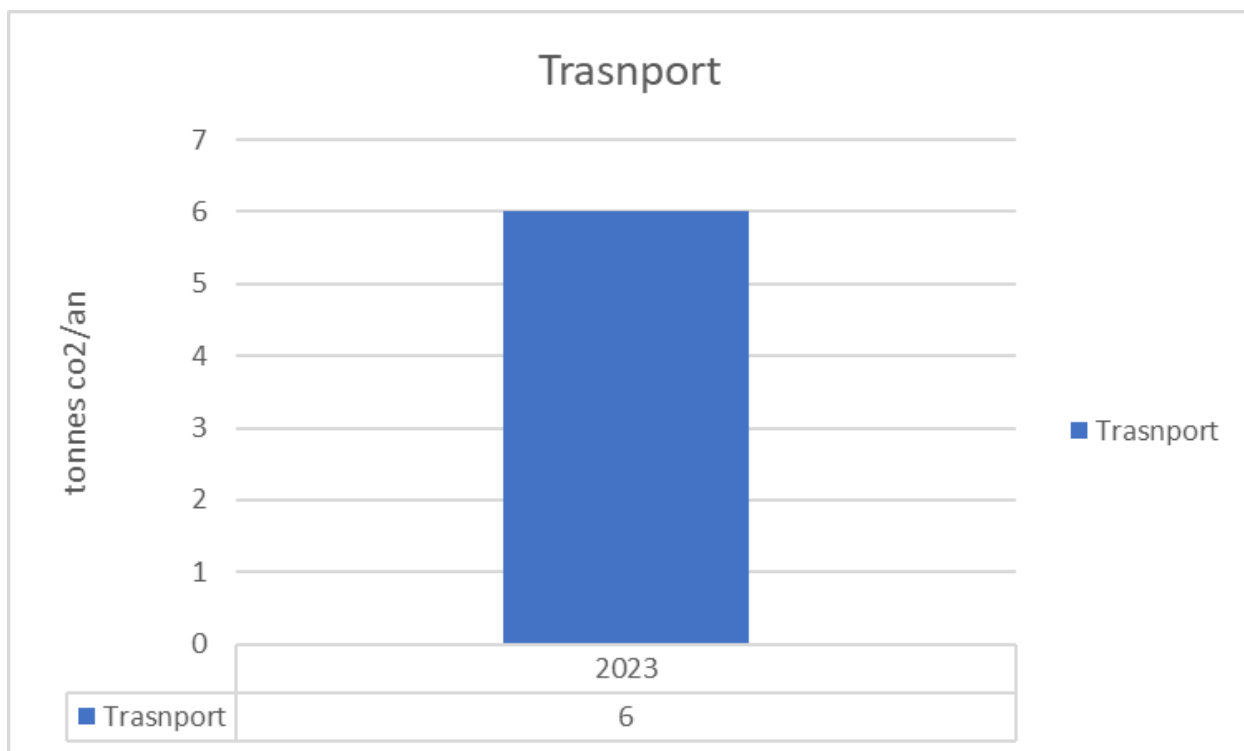


Figure 14 : Émissions de Carbone (tonnes CO₂) liées au Transport.

4.1.5 Impact des Activités de Gestion des Déchets

Les émissions dues à la gestion des déchets en 2023, totalisant 0.002 tonnes CO₂ par an, représentent une fraction très faible de l'empreinte carbone totale. Elles proviennent de la collecte, du traitement et de l'élimination des déchets générés par la station. Malgré leur faible impact, il est conseillé d'améliorer les pratiques de gestion des déchets en mettant en œuvre des stratégies de réduction à la source, en favorisant le recyclage et en optimisant les processus de traitement des déchets.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

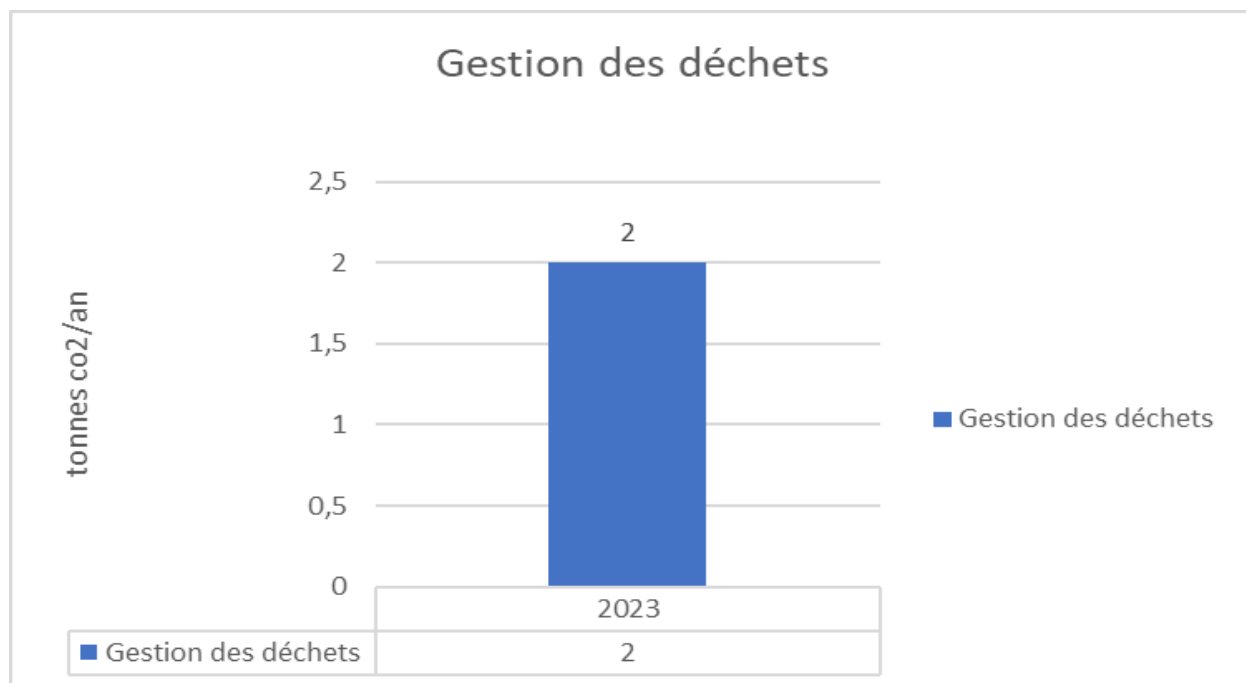


Figure 15 : Émissions de Carbone (tonnes CO₂) liées au Gestion des déchets.

Pour évaluer l'impact environnemental de la station de dessalement de Fouka, il est essentiel de mesurer les émissions de carbone générées par ses activités. Une collecte systématique et détaillée des données relatives aux sources d'émissions est nécessaire pour obtenir une vue d'ensemble précise. Le tableau N°9 résume les données collectées pour rassembler les informations sur les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre, telles que la consommation d'énergie, les types et quantités de combustibles utilisés, les produits chimiques employés, ainsi que les volumes et types de déchets produits. Ces données permettront de calculer les émissions en équivalent CO₂, d'identifier les principales sources d'émissions et d'élaborer des stratégies pour réduire l'empreinte carbone de la station.

Tableau 9: Identification des sources d'émissions de carbone pour la Station de dessalement de Fouka en 2023.

| Catégorie | Détails | Mesures/Calculs (émissions) | Émissions en kgCO ₂ |
|--------------------|--|--|--------------------------------|
| Énergie électrique | Quantité totale d'électricité consommée | 165 671 597 KWH par an | 49 701 470 |
| | Sources d'énergie (renouvelable vs non renouvelable) | 40 % renouvelable, 60 % non renouvelable | 49 701.470 |
| | Émissions par unité d'énergie | 0.5 kg CO ₂ /kWh | 49 701 470 |
| Émissions | Équipements de combustion | 3 générateurs | 1 890 000 |

Chapitre 4 : Résultats et discussions

| | | | |
|-------------------------|---|---|-----------|
| Directes | (générateurs, etc.) | | |
| | Quantité totale de combustibles utilisés | 700 000 litres de diesel par an | 1 890 000 |
| | Facteurs d'émission pour les combustibles | 2.7 Kg CO ₂ /litre de diesel | 1 890 000 |
| Processus de traitement | Types et quantités de produits chimiques utilisés | 15 tonnes de chlorure de sodium par an | 2 200 000 |
| | Émissions associées aux produits chimiques | CO ₂ (2 200 000 Kg/an) | 2 200 000 |
| Transport | Volume de matériaux, d'équipements et de produits chimiques transportés | 2500 tonnes par an | 6 000 |
| | Modes de transport utilisés (camions, navires, etc.) | CAMIONS pour environ 15 %, NAVIRES pour environ 15 %. Par avion 5 % | 6 000 |
| | Émissions associées au transport | 6000 kg CO ₂ par an | 6 000 |
| Gestion des déchets | Types de déchets générés (boues, solides, produits chimiques usagés) | 300 tonnes de déchets chimiques | 2 000 |
| | Méthodes de traitement des déchets | Incinération pour les déchets chimiques | 2 000 |
| | Émissions associées au traitement des déchets | 2000 kg CO ₂ par an | 2 000 |

Les principales sources d'émissions de carbone de cette station comprennent l'utilisation d'énergie électrique pour faire fonctionner les équipements tels que les pompes, les systèmes de filtration et les unités de dessalement, y compris l'osmose inverse. Les émissions directes proviennent également de la combustion de combustibles fossiles dans les générateurs et les équipements de secours. En outre, certains procédés chimiques utilisés dans le traitement de l'eau peuvent produire des gaz à effet de serre. Les émissions associées au transport des matériaux, des produits chimiques et des équipements, ainsi que celles issues du traitement des boues et autres déchets générés par le dessalement, complètent ce panorama des sources d'émissions. Le tableau ci-dessous illustre ces différentes sources et présente les calculs relatifs à chacune d'elles.

4.2. Analyse Comparative de la Consommation d'Énergie de la Station de Dessalement de Fouka pour les années 2023 et 2024

4.2.1. La consommation d'énergie en 2023

L'analyse de la consommation d'énergie en kWh par m³ d'eau dessalée pour la station de dessalement de l'eau de mer à Fouka en 2023 révèle des fluctuations notables, avec des valeurs variant de 3,729 kWh/ m³ en juillet à 3,995 kWh/m³ en octobre.

Variations Mensuelles : Les pics observés en août et octobre peuvent être attribués à une augmentation saisonnière de la demande ou à des inefficacités opérationnelles spécifiques. Les données indiquent que la consommation d'énergie est affectée par des facteurs saisonniers et des variations dans les opérations.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

Implications : Les mois avec une consommation plus élevée nécessitent une analyse approfondie pour identifier et corriger les causes des inefficacités et optimiser les processus.

Recommandations : Pour améliorer l'efficacité énergétique, il est recommandé de surveiller en continu la consommation d'énergie, d'optimiser les équipements de dessalement et d'ajuster les opérations selon les variations saisonnières de la demande.

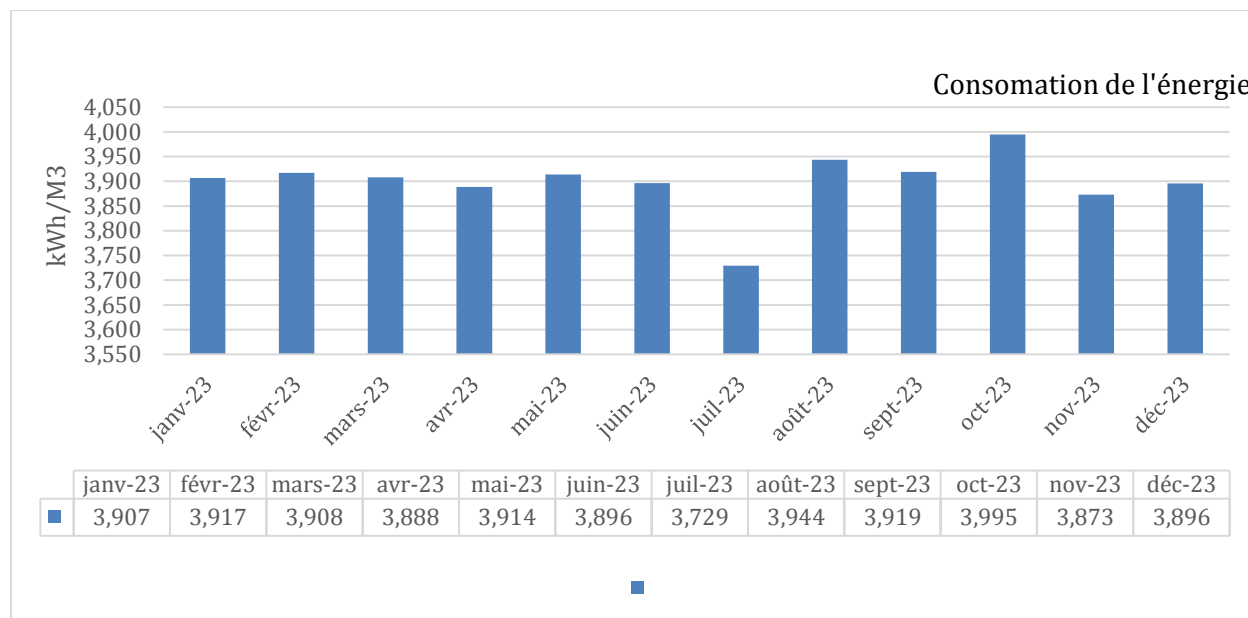


Figure 16 : la consommation d'énergie en 2023 pour la Station de dessalement de l'eau de mer de Fouka, Tipaza.

L'analyse de la consommation d'énergie en kWh par m³ d'eau dessalée pour la station de dessalement de l'eau de mer à Fouka en 2023 révèle des fluctuations notables, avec des valeurs variant de 3,729 kWh/ m³ en juillet à 3,995 kWh/m³ en octobre.

Variations Mensuelles : Les pics observés en août et octobre peuvent être attribués à une augmentation saisonnière de la demande ou à des inefficacités opérationnelles spécifiques. Les données indiquent que la consommation d'énergie est affectée par des facteurs saisonniers et des variations dans les opérations.

Implications : Les mois avec une consommation plus élevée nécessitent une analyse approfondie pour identifier et corriger les causes des inefficacités et optimiser les processus.

Recommandations : Pour améliorer l'efficacité énergétique, il est recommandé de surveiller en continu la consommation d'énergie, d'optimiser les équipements de dessalement et d'ajuster les opérations selon les variations saisonnières de la demande.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

4.2.2. La consommation d'énergie en 2024

L'analyse de la consommation d'énergie en kWh par m³ d'eau dessalée pour la station de dessalement de l'eau de mer à Fouka en 2024 révèle des variations significatives. Les valeurs varient de 3,882 kWh/m³ en avril à 3,929 kWh/ m³en janvier.

Variations mensuelles : Les pics en janvier (3,929 kWh/ m³) et en juillet (3,928 kWh/ m³) suggèrent une demande accrue ou des inefficacités pendant ces mois. Les creux en avril (3,882 kWh/ m³) et en mars (3,884 kWh/ m³) peuvent refléter des périodes de moindre demande ou d'améliorations opérationnelles.

Implications : Les mois avec une consommation plus élevée nécessitent une attention particulière pour identifier les causes possibles d'inefficacité et optimiser les processus.

Recommandations : Il est recommandé de surveiller la consommation d'énergie de manière continue, d'investir dans des technologies plus efficaces, et d'ajuster les opérations en fonction des variations saisonnières pour améliorer l'efficacité énergétique de la station de dessalement de Fouka

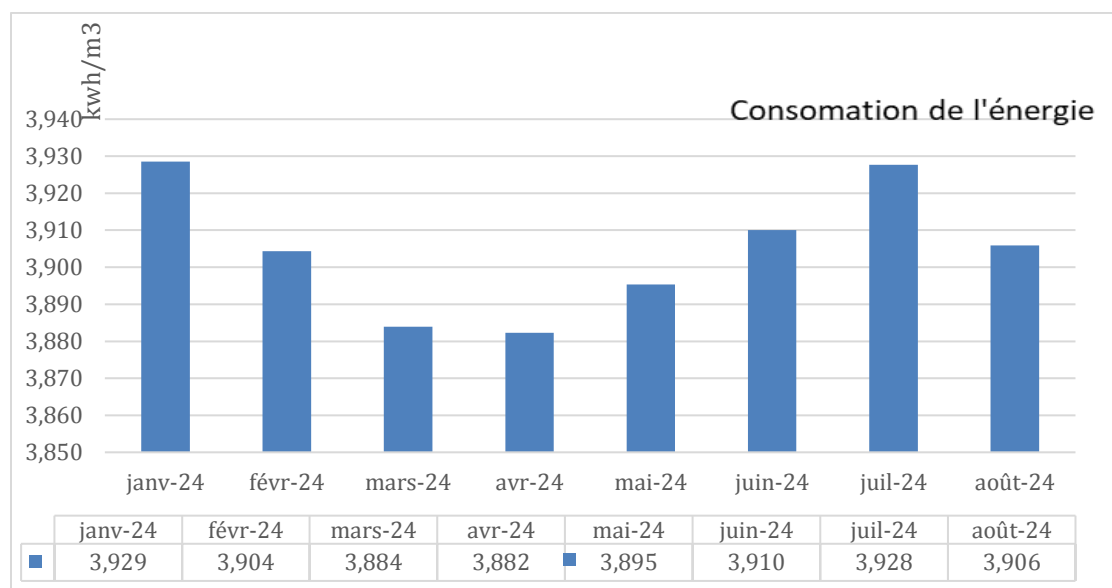


Figure 17 : La consommation d'énergie 2024 pour la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka, Tipasa.

4.2 .3. Comparaison annuelle de la consommation d'énergie en 2023 et 2024

Cette analyse comparative de la consommation d'énergie de la station de dessalement de Fouka pour les années 2023 et 2024 met en lumière les tendances et variations mensuelles.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

Comparaison Annuelle

L'examen des données révèle une légère augmentation de la consommation d'énergie en 2024 par rapport à 2023. Cette hausse peut être attribuée à :

- Augmentation de la Demande : Une intensification possible des opérations ou une utilisation accrue des équipements en 2024 pourrait expliquer cette tendance.
- Réduction de l'Efficacité : Une diminution potentielle de l'efficacité opérationnelle pourrait également jouer un rôle dans cette augmentation.

Analyse Mensuelle

- Janvier :

- 2023 : 3,906 kWh/m³

- 2024 : 3,929 kWh/m³

- Analyse : La consommation en janvier 2024 est légèrement plus élevée qu'en janvier 2023, ce qui pourrait indiquer une demande accrue ou une baisse de l'efficacité.

- Février :

- 2023 : 3,917 kWh/m³

- 2024 : 3,904 kWh/m³

- Analyse : Février 2024 montre une légère diminution par rapport à février 2023, suggérant une amélioration dans la gestion énergétique ou une réduction de la demande.

- Mars :

- 2023 : 3,908 kWh/m³

- 2024 : 3,884 kWh/m³

- Analyse : La consommation en mars 2024 est inférieure à celle de mars 2023, ce qui pourrait refléter une meilleure gestion énergétique ou une diminution des opérations.

- Avril :

- 2023 : 3,888 kWh/m³

- 2024 : 3,882 kWh/m³

- Analyse : En avril 2024, la consommation est légèrement réduite par rapport à avril 2023, indiquant une gestion énergétique en amélioration continue.

- Mai :

Chapitre 4 : Résultats et discussions

- 2023 : 3,914 kWh/m³

- 2024 : 3,895 kWh/m³

- Analyse : En mai 2024, la consommation d'énergie est inférieure à celle de mai 2023, suggérant une meilleure efficacité énergétique ou une réduction de la demande durant ce mois.

- Juin :

- 2023 : 3,896 kWh/m³

- 2024 : 3,910 kWh/m³

- Analyse : En juin 2024, la consommation est légèrement plus élevée qu'en juin 2023, ce qui pourrait être dû à une intensification des opérations ou à des conditions climatiques plus difficiles.

- Juillet :

- 2023 : 3,729 kWh/m³

- 2024 : 3,928 kWh/m³

- Analyse : La consommation en juillet 2024 est significativement plus élevée qu'en juillet 2023, probablement en raison d'une demande accrue, d'une intensification des opérations, ou de conditions climatiques plus sévères.

- Août :

- 2023 : 3,753 kWh/m³

- 2024 : 3,948 kWh/m³

- Analyse : L'augmentation marquée en août 2024 peut être liée à une intensification des opérations estivales ou à des conditions climatiques extrêmes.

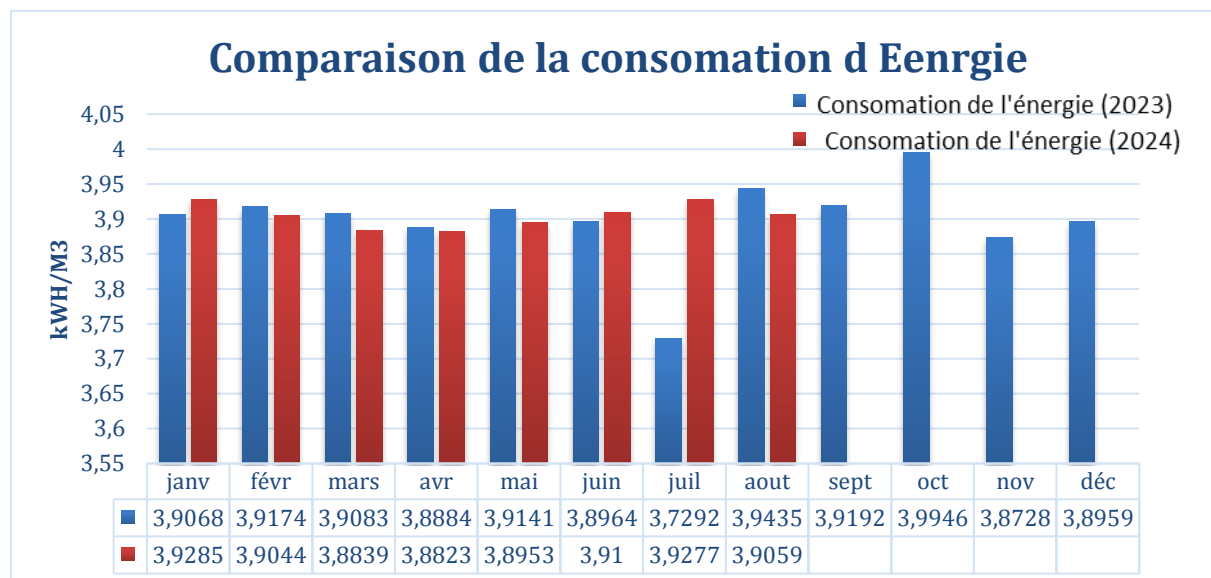


Figure 18: Comparaison annuelle de la consommation d'énergie en 2023 et 2024 pour la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka, Tipasa.

4. 3. Les émissions de carbone par catégorié(%)

L'analyse des émissions de la station de dessalement de Fouka met en évidence une prédominance significative des émissions liées à l'énergie électrique non renouvelable, représentant une écrasante majorité de 92.38% du total des émissions. Cette statistique souligne l'importance critique de la source d'énergie utilisée dans le processus de dessalement, mettant en lumière la nécessité urgente de transitions vers des sources d'énergie plus durables pour réduire l'empreinte carbone globale. Les émissions directes provenant des générateurs contribuent à 3.51% du total, reflétant l'impact direct des combustibles fossiles utilisés dans la production d'électricité. Les processus de traitement représentent 4.09% des émissions totales, soulignant l'importance de stratégies visant à minimiser l'utilisation de produits chimiques et à optimiser les processus industriels pour réduire les émissions associées. En revanche, le transport et la gestion des déchets contribuent de manière marginale aux émissions totales, représentant respectivement 0.01% et 0.004%, indiquant la nécessité de politiques de gestion efficaces malgré leur faible impact relatif. Cette distribution détaillée des émissions offre une base cruciale pour orienter les efforts d'amélioration environnementale et soutenir la durabilité à long terme de la station de dessalement de Fouka.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

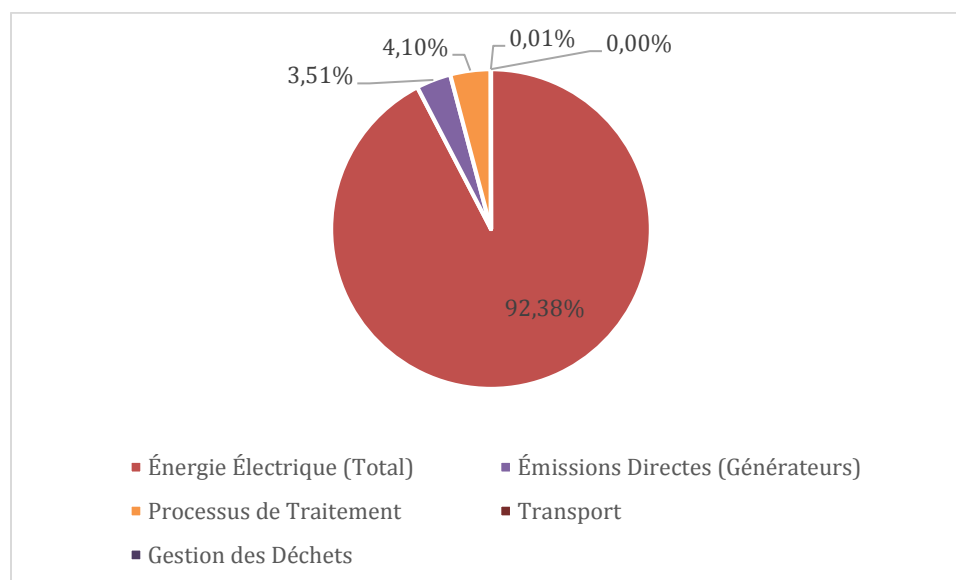


Figure 19: Répartition des émissions de la station de dessalement par catégorie (%).

4.4.Émissions de carbone par catégorie :

L'énergie électrique est la principale source d'émissions de carbone pour la station de dessalement de fouka en 2023, totalisant 49 701.49 tonnes CO₂ par an. Cette contribution élevée est due à la consommation importante d'énergie nécessaire au fonctionnement des équipements, notamment les pompes haute pression et les membranes d'osmose inverse. L'électricité utilisée provient principalement de combustibles fossiles, amplifiant ainsi l'empreinte carbone. Pour atténuer cette empreinte, plusieurs approches peuvent être envisagées : améliorer l'efficacité énergétique des équipements, adopter des technologies de dessalement plus performantes et intégrer des sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire ou éolienne. De plus, la transition vers des fournisseurs d'électricité à faible émission de carbone ou l'implémentation de systèmes de production d'énergie interne moins polluants pourraient significativement réduire les émissions.

Les émissions directes provenant des générateurs de secours, en 2023 évaluées à 1 890 tonnes CO₂ par an, représentent une part relativement modeste de l'empreinte carbone totale. Ces émissions sont dues à l'utilisation de générateurs fonctionnant avec des combustibles fossiles, utilisés pour assurer la continuité de l'approvisionnement en électricité lors des pannes ou des pics de demande. Bien que leur impact soit relativement faible, il est crucial d'optimiser leur utilisation. Les solutions potentielles incluent l'utilisation de générateurs alimentés par des biocarburants ou l'intégration de systèmes de stockage d'énergie. Une gestion rigoureuse et une maintenance régulière des générateurs peuvent également contribuer à réduire leur fréquence d'utilisation et, par conséquent, leurs émissions.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

Le processus de traitement de l'eau de mer en 2023, qui génère 2 200 tonnes CO₂ par an, est énergivore en raison des besoins en énergie pour le maintien de la pression nécessaire au dessalement par osmose inverse. Les émissions associées à ce processus dépendent fortement de l'efficacité des technologies utilisées. Pour réduire ces émissions, il est recommandé d'améliorer l'efficacité des équipements de traitement, d'optimiser les conditions opérationnelles et d'explorer des technologies moins énergivores ou innovantes. Une réduction de la consommation d'énergie pourrait ainsi diminuer de manière significative l'empreinte carbone liée au processus de dessalement.

Les émissions liées au transport en 2023, évaluées à 6 tonnes CO₂ par an, sont relativement faibles comparées aux autres sources d'émissions. Elles résultent du transport des matériaux, produits chimiques et équipements nécessaires au fonctionnement de la station. Bien que ces émissions soient marginales, des mesures peuvent être prises pour les réduire davantage, telles que l'optimisation des itinéraires de transport, l'utilisation de véhicules à faibles émissions ou l'amélioration des pratiques logistiques pour réduire les distances parcourues. Ces ajustements pourraient contribuer à une diminution supplémentaire des émissions associées au transport.

Les émissions dues à la gestion des déchets en 2023, totalisant 2 tonnes CO₂ par an, représentent une fraction très faible de l'empreinte carbone totale. Elles proviennent de la collecte, du traitement et de l'élimination des déchets générés par la station. Malgré leur faible impact, il est conseillé d'améliorer les pratiques de gestion des déchets en mettant en œuvre des stratégies de réduction à la source, en favorisant le recyclage et en optimisant les processus de traitement des déchets.

Les solutions suivantes permettent d'améliorer la durabilité environnementale de la station de dessalement de Fouka :

Amélioration de l'efficacité énergétique

Cela nécessite l'emploi de technologies plus performantes comme des pompes à haute efficacité énergétique, des systèmes de récupération de chaleur, ou même l'intégration de panneaux solaires afin de diminuer la dépendance à l'électricité provenant de sources non renouvelables.

Chapitre 4 : Résultats et discussions

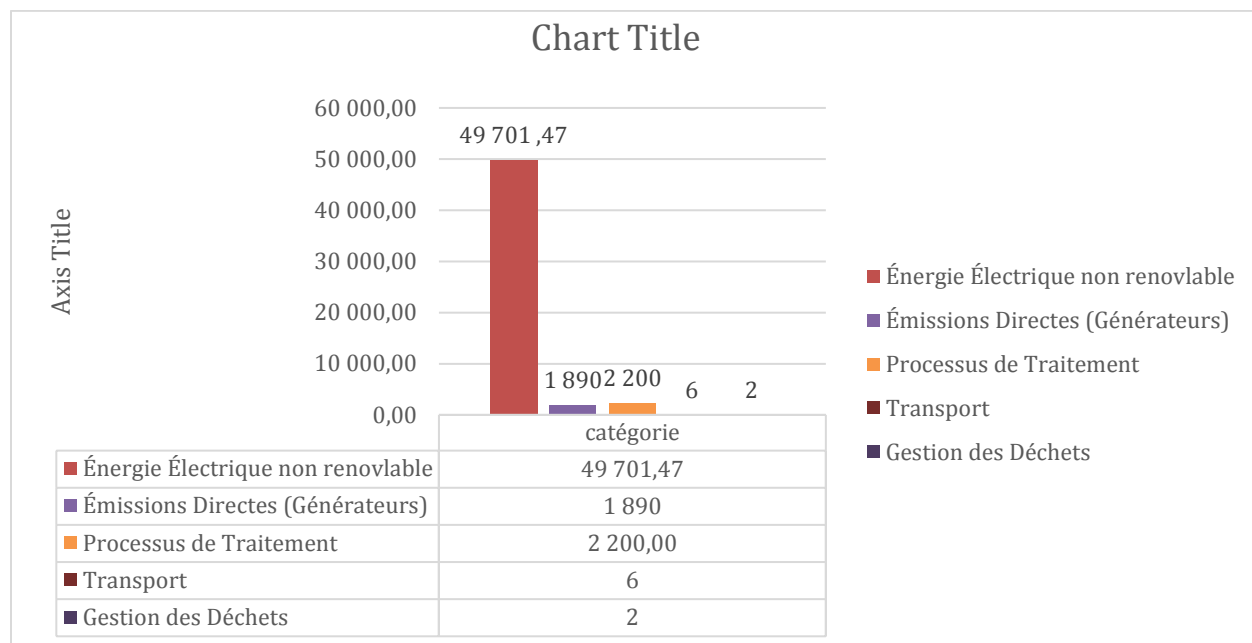


Figure 20 : Distribution des émissions de la station de dessalement par catégorie (tonnes de CO₂/an).

4.5 Une comparaison de l’empreinte carbone de la SDEM de Fouka avec la SDEM de Beni Saf

Tableau 10 : Une comparaison de l’empreinte carbone de la SDEM de Fouka avec la SDEM de Beni Saf.

| Empreinte carbone totale de Fouka (tonnes CO ₂ /an) | Empreinte carbone totale de Beni Saf(tonnes CO ₂ /an) |
|--|--|
| 53 799 | 120 100 |

L'empreinte carbone de Fouka est de 53 799 tonnes de CO₂ par an, tandis que celle de Beni Saf est de 120 100 tonnes de CO₂ par an.

1. Fouka : Avec une empreinte de 53 799 tonnes de CO₂ par an, Fouka présente un impact environnemental relativement plus faible. Cela peut être dû à une moindre intensité des activités économiques ou à des pratiques efficaces en matière de gestion des émissions de carbone.

2. Beni Saf : L'empreinte carbone de Beni Saf est plus élevée, atteignant 120 100 tonnes de CO₂ par an, ce qui représente une différence notable de 33 166 tonnes par rapport à Fouka. Cette différence suggère que Beni Saf pourrait avoir des activités industrielles plus intensives ou une consommation énergétique plus élevée.

Analyse :

Chapitre 4 : Résultats et discussions

Variation d'impact : l'écart significatif entre les deux régions indique des différences dans les types d'activités, les niveaux de consommation énergétique, ou les politiques de gestion des émissions.

Opportunités d'amélioration : Beni Saf pourrait réduire son empreinte carbone en adoptant des pratiques similaires à celles de Fouka, telles que l'amélioration de l'efficacité énergétique ou l'utilisation de technologies moins polluantes.

Conséquences environnementales : une empreinte plus élevée signifie un impact plus important sur le changement climatique, soulignant l'importance de mettre en place des mesures pour réduire les émissions.

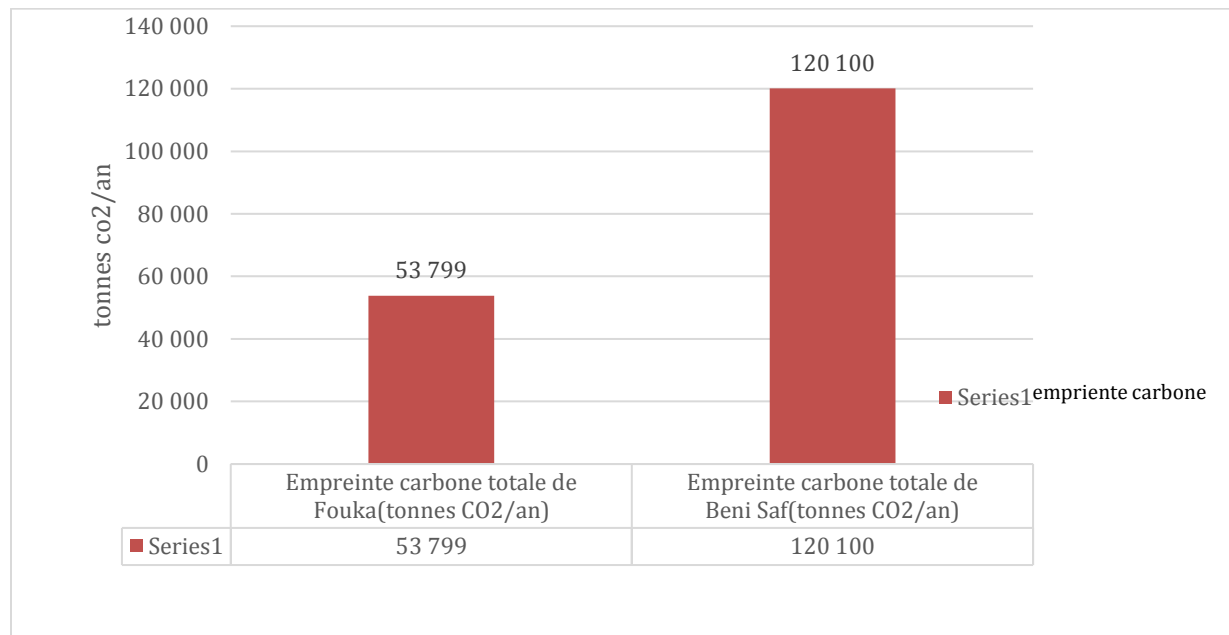


Figure 21 : Comparaison des émissions de CO2 annuelles entre Fouka et Beni Saf.



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion :

Dans le cadre de ce travail, notre mémoire a exploré en détail l'empreinte carbone de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka, un projet crucial pour l'approvisionnement en eau dans la région. Nous avons examiné les impacts environnementaux de cette installation à travers les différentes étapes de son fonctionnement, allant de l'extraction de l'eau de mer à sa conversion en eau potable, y compris les phases de traitement et de distribution.

La station de dessalement de Fouka génère une empreinte carbone totale de 53 799 tonnes de CO₂, principalement attribuée à :

- 49 701,49 tonnes de CO₂ dues à la consommation d'énergie électrique.
- 1 890 tonnes de CO₂ émises directement par les générateurs.
- 2 200 tonnes de CO₂ liées aux processus de traitement.
- 6 tonnes de CO₂ émises par le transport.
- 2 tonnes de CO₂ issues de la gestion des déchets.

Ces chiffres illustrent l'impact significatif de la consommation énergétique dans les opérations de la station, en particulier dans les processus de dessalement et de traitement de l'eau de mer.

Les résultats de notre analyse montrent que les principales sources d'émissions de CO₂ proviennent de la consommation énergétique, notamment l'électricité utilisée pour les processus de dessalement et de traitement. Malgré les efforts pour optimiser l'efficacité énergétique et adopter des technologies plus écologiques, l'empreinte carbone demeure élevée, ce qui indique la nécessité d'adopter des mesures supplémentaires pour réduire cet impact environnemental.

À la lumière de ces constatations, plusieurs recommandations ont été proposées dans le cadre de ce travail. Nous suggérons d'intégrer des sources d'énergie renouvelable, telles que l'énergie solaire ou éolienne, afin de diminuer la dépendance aux énergies fossiles. L'amélioration des processus de dessalement, en particulier par la récupération de chaleur et l'optimisation de l'efficacité énergétique, est également essentielle. De plus, il est crucial de soutenir la recherche et le développement de solutions innovantes pour réduire les déchets et les émissions associées.

Les principaux défis rencontrés lors du calcul de l'empreinte carbone de station de dessalement d'eau de mer de fouka incluent la nécessité d'améliorer la précision des données sur les émissions de CO₂ à chaque phase du processus et d'adopter des méthodes de comptabilisation standardisées. Pour résoudre ces défis, il est recommandé d'utiliser des méthodologies de calcul plus précises et uniformisées, en intégrant des informations actualisées sur les émissions spécifiques des équipements utilisés dans ces installations.

Conclusion générale

Pour réduire l'impact environnemental des stations de dessalement, plusieurs mesures peuvent être envisagées :

- . Utilisation Croissante des Énergies Renouvelables : Accroître l'adoption des sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire et éolienne pour diminuer la dépendance aux combustibles fossiles.

- . Optimisation Continue des Processus de Dessalement : Poursuivre l'optimisation des processus de dessalement afin de réduire la consommation énergétique, par exemple par la récupération de chaleur et l'amélioration de l'efficacité des membranes.

- . Encouragement à l'Innovation Technologique : Soutenir la recherche et le développement pour développer des systèmes de dessalement plus écologiques et efficaces.

- . Promotion de la Gestion Durable de l'Eau : Favoriser des pratiques de gestion de l'eau durables visant à minimiser les pertes et à maximiser l'utilisation efficace des ressources hydriques.

Une gestion durable de l'eau et l'adoption de pratiques écoresponsables doivent être au centre des politiques environnementales de la station. La sensibilisation aux enjeux environnementaux et un engagement vers des objectifs de réduction des émissions sont essentiels pour non seulement diminuer l'empreinte carbone de la station de Fouka, mais aussi pour établir un modèle pour d'autres installations similaires.

Bien que la station de dessalement de Fouka joue un rôle vital dans l'approvisionnement en eau, il est impératif de prendre des mesures proactives pour minimiser son impact environnemental. L'adoption de pratiques plus durables et l'innovation technologique sont essentielles pour garantir une gestion respectueuse de l'environnement et assurer un avenir plus durable pour les générations futures. Notre mémoire vise à contribuer de manière significative à cet objectif en fournissant des analyses approfondies et des recommandations concrètes.

Références

Références

Abdul Latif Jameel. (2016). Low Carbon Desalination Status and Research, Development, and Demonstration Needs Report of a workshop conducted at the Massachusetts Institute of Technology in association with the Global Clean Water Desalination Alliance, World Water Security Lab, octobre 17.

Aichele,A.Felbermayr,G.(2012). Kyoto and the carbon footprint of nations, Journal of Environmental Economics and Management, vol. 63 (3), p.336.p.354.

Akli, S.Bedrani, S.(2011). Produire de l'eau par le dessalement ou en l'économisant grâce à l'adoption de l'irrigation localisée. P.51.P.70.

Allam ,H.Mellah ,A.(2013). Etude économique et impact écologique de la station de dessalement de HONAÏNE(W.Tlemcen).Proceeding du Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE 2013 .Ouargla. P.67.P.70.

Ammitouche,M.Baloul,H.(2022).Empreinte de Carbone des Stations de Dessalement en Algérie.Journal de l'Economie Circulaire et Développement Durable Edition Juin. Vol.2. No1, P.94.P.97.

Amokrane,M.Salmi ,A.(2021).Surface spreading of the brine discharge from the seawater reverse osmosis plant: Hama Water Desalination Plant in Algeria. 222, P.81.P.91. <https://doi.org/10.5004/DWT.2021.27103> .A.

Bahri, Z. (2018). Étude comparative des caractéristiques de performance pour les deux systèmes de dessalement MEE-FF et MEE-FF-TCV. Mémoire de master . Oum El Bouaghi :Université Larbi Ben M'Hidi .

Belatoui, A. Bouabessalam, H. Rouane, O. Antonio, J. Martinez-Garcia, E. Sanchez-Lizaso, J. L. (2017). Environmental effects of brine discharge from two desalination plants in Algeria (SouthWesternMediterranean). 76(May 2016), <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20812>

Belhout, D. Belgroun, Z. Abbas, M. Tigrine, Z. Djilali, T. (2018). Approaches and Processes for Recovering Reverse Osmosis Discharges from Desalination Plants.2018 6th International Renewab andSustainableConference(IRSEC),1–6. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2018.8702276>.

Benaissa, M. Rouane-Hacene, O. Boutiba, Z.Habib, D. Guibbolini-Sabatier, M. E. Risso-De Faverney, C. (2020). Ecotoxicological effects assessment of brine discharge from desalination reverse osmosis plant in Algeria (South Western Mediterranean). Regional Studies in Marine Science, 39, 101407. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101407>.

Références

Bessenasse, M. Kettab, A. Souf, A. (2010). « Seawater desalination : Study of three coastal stations in Algiers region » 250:423-27. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.069>.

Boitier, B. (2012). CO2 Emissions Production-Based Accounting vs. Consumption: Insights from the WIOD Databases, Final WIOD Conference: Causes and Consequences of Globalization, Groningen, The Netherlands, April 24-26, 2012, P.23 .

Bouchakour, N. Sadol, A. (2017). Impact environnemental de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès (wilaya de Chlef). mémoire de master. Bejaia. université : Abderrahmane Mira .

Boutaud, A. Gondran, N. (2009). L'empreinte écologique, éditions La Découverte, coll. Repères, n° 527, p128 .

Bouzi-Lagha, S. Matrouh, Y. (2018). Optimization of Energy Cost Seawater Desalination by Reverse Osmosis : Case of Bousmail Station in Algeria. P.739.P.749.

CDER. (2023). La sécheresse s'installe en Algérie : le dessalement de l'eau de mer comme solution. EL WATAN. [Consulté le 11 février 2023]. Disponible sur le web : <https://portail.cder.dz/2023/01/08/la-secheresse-s-installe-en-Algerie-le-dessalement-de-leau-de-mer-comme-solution/>.

CDER. (2011). Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (rapport). Alger : Ministère de l'Énergie et des Mines.

Dahmani, f. (2022). Caractérisation physico-chimique des eaux de la station de dessalement de Fouka (Tipaza, Algérie). Mémoire de Master : Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers, Département des Sciences de la Terre et de l'Univers. Tlemcen, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, P64 .

Darre, N. C. Toor, G. S. (2018). Desalination of water: a review. Curr. Pollut. Rep., P.104.P.111. <http://dx.doi.org/10.1007/s40726-018-0085-9>.

Drouiche, N. Ghaffour, N. Wahib, M. Hacene, N. (2011). Reasons for the fast-growing seawater desalination capacity in Algeria. 2743-2754. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9836-8>.

FAO. (2020). L'eau en Afrique du Nord et au Moyen-Orient : défis et opportunités. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Ghaffour, N. Reddy, V. K. Abu-Arabi, M. (2011). Technology Development and application of solar energy in desalination : MEDRC contribution. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4410-4415.

Références

- Ghaffour, N. Bundschuh, J. Mahmoudi, H. Goosen, M. F. A. (2014).** Renewable Energy-Driven Desalination Technologies : A Comprehensive Review on Challenges and Potential Applications of Integrated Systems. *Desalination*.
- Hamiche, Ait Mimoune, Amine Boudghene Stambouli, et Samir Flazi. 2020.** « Desalination in Algeria : Photovoltaic Power Plant for TMM (Tahlyat Myah Magtaa) of Oran as a Case Study ». <https://doi.org/10.1007/698>.
- Hella, B. (2021).** Fonctionnement de la station de dessalement de l'eau de mer de Cap Djinet (W. Boumerdès). mémoire de master . Bouira.université : Ré. Akli Mohand Oulhadj-Bouira.
- IDA, 2021:** International Desalination Association. (2021). *Desalination Yearbook 2021*. International Desalination Association.
- IPCC, 2021 :** Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press
- Kaab, I. Hama, N. (2023).** Suivi du procédé de dessalement de l'eau de mer de la station d'El Marsa et caractérisation des rejets de saumure. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur et du master en Sciences de la mer : ingénierie de l'environnement marin et côtier. Enssmal. Dely Ibrahim. 101 P.
- Kara Omar , A. Khaldi , A.(2017).** desalination of seawater and environmental impacts :cas of El -MACTA station. Département d'hydraulique, Université des Sciences et Technologie Mohamed Boudiaf El Mnaouer, BP 1505. Bir El Djir 31000, Oran, ALGÉRIE, vol(1),252.
- Larbi, Nour, et Souade Saadaoui.(2019).** « Impact environnemental de la station de Dessalement de l'eau de mer de Sonachter (wilaya de Mostaganem) P ». mémoire de master . Mostaganem .Université :ABDEL-HAMID IBN BADIS .
- Le Guern, C. (2003).** BRGM/RP : Dessalement et recharge artificielle Mots. P.80.
- L'expression.2022.« site ».**2022.<https://www.lexpressiondz.com/economie/six-nouvelles-stations-d-ici-2030-358551>.—2023.« SITE ».2023. <https://www.lexpressiondz.com/nationale/un-plan-orsec-eau-potable-364963>.
- Livet, F. (2007).** Besoins et procédés pour le dessalement de l'eau de mer.P.5.
- Meddi, Hind, et Mohamed Meddi. 2009.** « Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie ». *Science et changements planétaires/Sécheresse* 20 (1):P. 57.P.65.
- Madji,F.Benaicha,I.(2022).** Automatisation et supervision d'une station de dessalement présentée. Mémoire de master .Alger .École Nationale Polytechnique.

Références

Melgarejo, J. Montano, B. García-L, M. (2021). The financial and legal feasibility of a desalination project. 517. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115238>.

Meradji, H. Mokhtari, O. (2015). Dimensionnement de la prise d'eau de mer de la station de dessalement de Fouka. Mémoire de master: Département d'hydraulique. École nationale polytechnique d'Alger, P.131 .

MéhTougui, M. (2015). Impacts du dessalement d'eau de mer sur les écosystèmes littoraux de l'Ouest algérien. thèse de doctorat . Sidi Bel Abbas. Université : Djillali Liabes.

MéhTougui, M. S. MéhTougui, F. Kerfouf, A. (2015). Impact of desalination of sea water on a coastal environment of Chatt El Hillal (Beni Saf – Western Northern Algeria). P.327.P.333.

Ministre, Premier. 2021. « Plan d'action du gouvernement pour la mise en œuvre du programme du président de la république », P.96.

Morsli M. S. (2013). Impacts des arrêts techniques de l'usine de dessalement de l'eau de Mer sur l'entreprise et l'environnement. Magister en Management, Université d'Oran. P215.

Moudjeber, D.-E. (2015). Utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement : cas de l'Algérie. Thèse de doctorat . Mostaganem. Université : Abdelhamid Ibn Badis .

National Eau et Environnement (NEE). (2006). Étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et de l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka.

Peters, G. Minx, J. Weber, C. and Edenhofer, O. (2011). Growth in emission transfers via international Trade from 1990 to 2008, Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 6 p.

PNUE. (2001). Plan d'action pour la Méditerranée : Dessalement de l'eau de mer dans les pays méditerranéens : évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure. P.11.P.14.

PNUE, 2001: Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). (2001). Desalination and the Environment: A Study of the Environmental Impacts of Desalination. UNEP/Earthprint

Rapport interne d'AEC 2021.

Rapport interne d'ADE 2023.

Rapport final d'Usine de dessalement d'eau de mer – Fouka / MYAH TIPAZA-APRUE.

Razim, F. Tachetaoui, Kh. (2020). Étude des performances de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka, wilaya de TIPAZA. Mémoire de master : Ressources hydrauliques. Université Saad Dahlab Blida1. blida P.101.

Références

Tahar, M. Chebki, M. (2020). Étude des performances de fonctionnement d'un ouvrage hydraulique : cas de la station de dessalement d'eau de Chatt El Hilal de Beni Saf. Mémoire de master .Tlemcen.Université :AboubakrBelkaïd-Faculté.

T. Altman. (2000). New Power and Water Co-generation Concept with Application of Reverse Osmosis (RO) Desalination. Salzgitter Anlagenbau GmbH.

The Role of Desalination in an Increasingly Water-Scarce World », World Bank Group, mars 2019, disponible sur : <https://documents1.worldbank.org> (PDF).

Annexes I

Figure 22: Étude visuelle des installations du laboratoire de station dessalement à Fouka .



Figure: vertical laminar



Figure: Burette

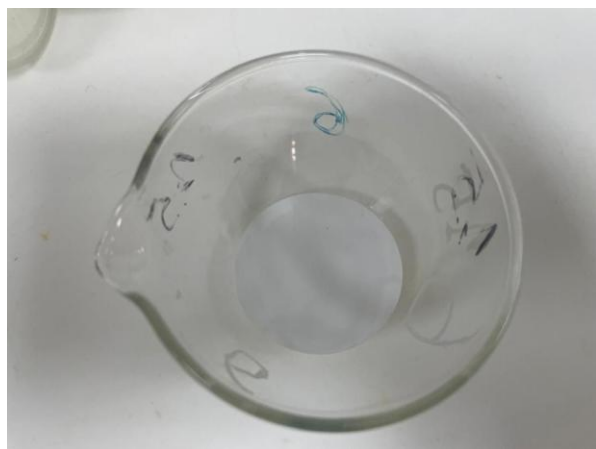


Figure: flacon des échantionnage



Figure : l'étuve

Annexes I



Figure : dessiccateur



Figure 1: balance de précision



Figure : thermomètre



Figure : turbidimètre 2100N

Annexes I



Figure: four à moufle



Figure : Laboratoire



Figure : l'étuve



Figure 23: système de récupération d'énergie ERI PX Power Model 2007



Transformateur TR1 et TR2 : 30 MVA (60/6.3) kV



Compteur d'énergie arrivée Mazafran



Compteur d'énergie arrivée Hamr Al Ain

Annexes I I



Salle MT- Arrivées/Départs HTA



Salle MT-Batteries HTA

Annexes I I



Batterie de compensation BT-N°01



Batterie de compensation BT-N°02

Annexes I I

| | |
|--|---|
|  |  |
| | |
| <p>Local MCC1 & 2</p> | <p>Local MCC1 & 2</p> |



Electropompes Prise d'eau de mer



Electropompes filtration



OSMOSE (Pompe HP)



OSMOSE (Pompe Booster)

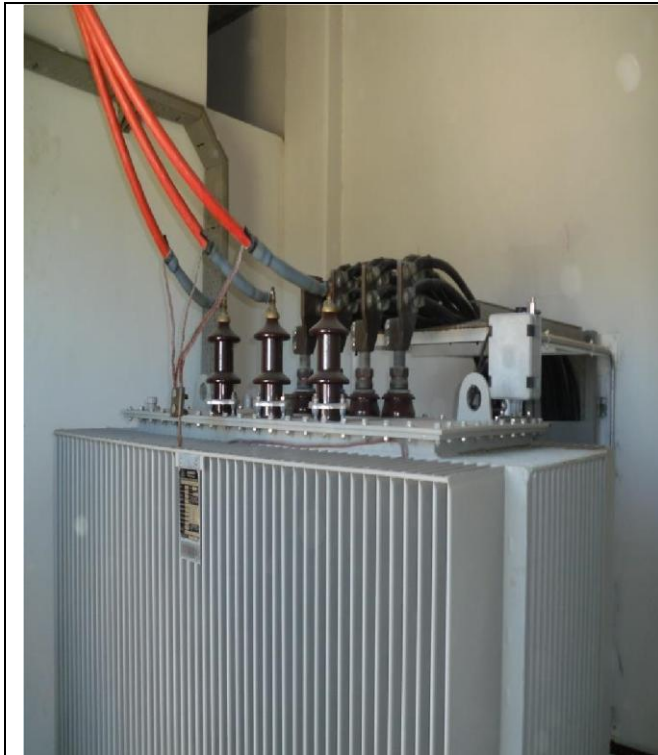


Local MCC4

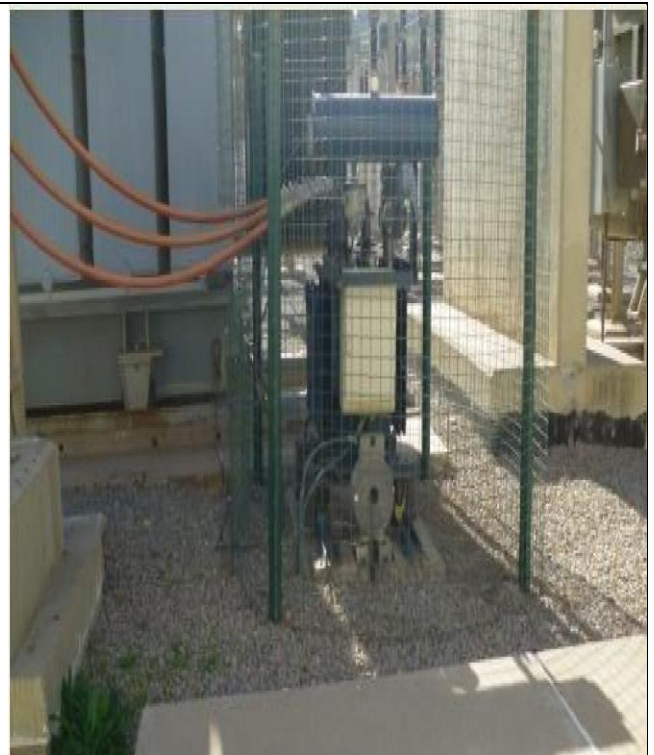


Electropompes eau traitée

Annexes I I



Transformateur 2.5 MVA (5.5/0.69) kV



Transformateur de la composante Homopolaire

Annexes I I



Démarrreur progressif ATS-48 Schneider
Electric-Eau Traitée



Variateur de fréquences ATV Schneider Electric
MCC1 & 2

Annexes I I



Cellule de démarrage Pompe HP



Relais de protection numérique SEPAM arrivée TR

Annexes I I


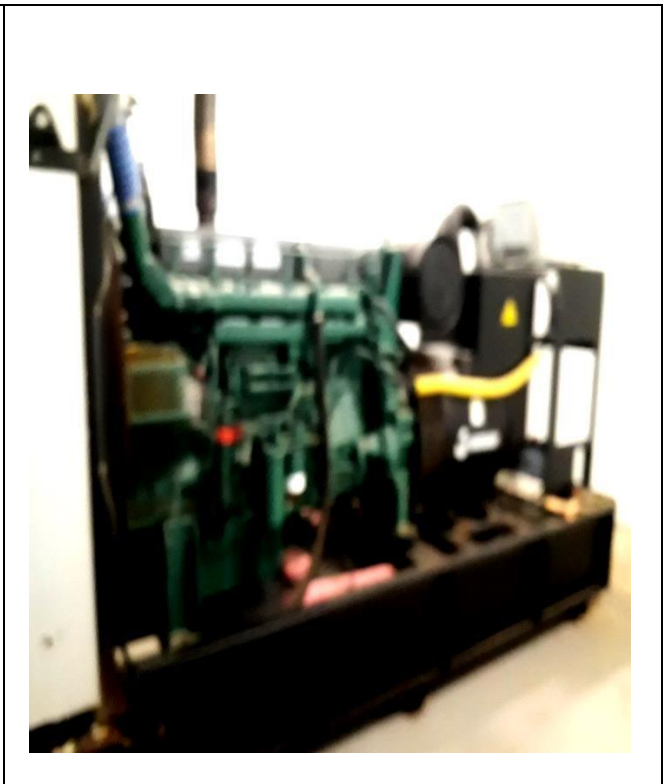
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------|--------------|--------------|-----------|----------|-----------|-----|-------------|--|-----|--|----------|-------|------------|--|-------|--|------------------|-------|----------------------|--|--------------|--|------------|---------------------|--------------------|--|-------|--|-------|---------|--------------|--|---------|--|----|----|------|--|-----|--|-------|----|-------|--|------|--|---|
|  <p>AKSA JENERATÖR SANAYİ A.Ş. Rüzgarbahçe Mah. Selvi Çikmezi No:10 Kavacak - Beykoz / İstanbul / Türkiye 724 Çağrı Merkezi: 444 4 830 / Call Center: +90 444 4 830 E-mail: aksa@aksa.com.tr - www.aksa.com.tr</p> <table border="1"> <tr> <td>MODEL</td> <td>APD 1100</td> <td>PRODUCT DATE</td> <td>2019</td> <td>SERIAL NO</td> <td>78337771</td> </tr> <tr> <td>PRIME KVA</td> <td>100</td> <td>STANDBY KVA</td> <td></td> <td>110</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PRIME A.</td> <td>144.3</td> <td>STANDBY A.</td> <td></td> <td>158.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ALTERNATOR MODEL</td> <td>AK480</td> <td>ALTERNATOR SERIAL NO</td> <td></td> <td>AK19040471-3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>DIMENSIONS</td> <td>L 2600 W 1058 H 168</td> <td>FUEL TANK CAPACITY</td> <td></td> <td>180 L</td> <td></td> </tr> <tr> <td>VOLTS</td> <td>400/230</td> <td>GROUP WEIGHT</td> <td></td> <td>1480 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hz</td> <td>50</td> <td>Coşφ</td> <td></td> <td>0.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PHASE</td> <td>3P</td> <td>R.P.M</td> <td></td> <td>1500</td> <td></td> </tr> </table> <p>ETN-15-11</p> | MODEL | APD 1100 | PRODUCT DATE | 2019 | SERIAL NO | 78337771 | PRIME KVA | 100 | STANDBY KVA | | 110 | | PRIME A. | 144.3 | STANDBY A. | | 158.8 | | ALTERNATOR MODEL | AK480 | ALTERNATOR SERIAL NO | | AK19040471-3 | | DIMENSIONS | L 2600 W 1058 H 168 | FUEL TANK CAPACITY | | 180 L | | VOLTS | 400/230 | GROUP WEIGHT | | 1480 kg | | Hz | 50 | Coşφ | | 0.8 | | PHASE | 3P | R.P.M | | 1500 | |  |
| MODEL | APD 1100 | PRODUCT DATE | 2019 | SERIAL NO | 78337771 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRIME KVA | 100 | STANDBY KVA | | 110 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PRIME A. | 144.3 | STANDBY A. | | 158.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ALTERNATOR MODEL | AK480 | ALTERNATOR SERIAL NO | | AK19040471-3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIMENSIONS | L 2600 W 1058 H 168 | FUEL TANK CAPACITY | | 180 L | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VOLTS | 400/230 | GROUP WEIGHT | | 1480 kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hz | 50 | Coşφ | | 0.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PHASE | 3P | R.P.M | | 1500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Groupe de secours AKSA-110 kVA</p> | <p>Groupe de secours GESAN-360 kVA</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 24 : Équipements et installations électriques de la station de dessalement de l'eau de mer à Fouka(Myah tipaza,2022) .

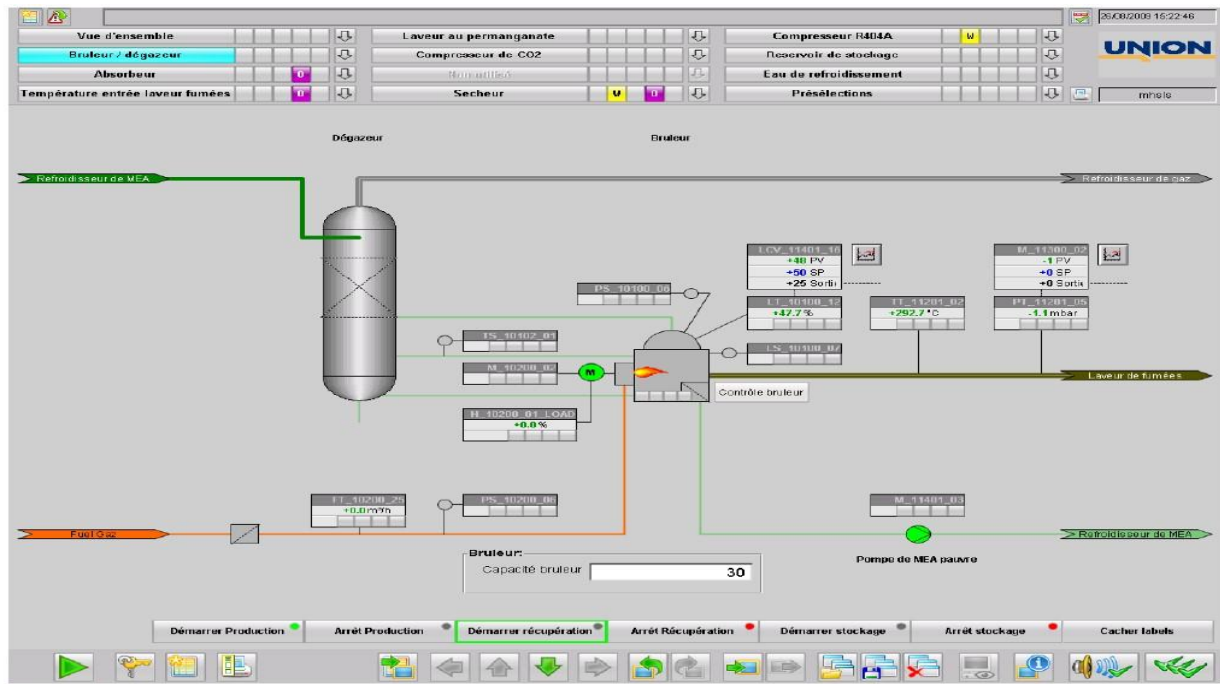


Figure 25 : Circuit de Gaz combustible pour production du CO₂ (Myah tipaza,2022) .

| Partenaires clés | Activités principales | Valeurs ajoutées | Relation clients | Clients |
|---|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Les universités et instituts de recherche jouent un rôle crucial dans l'intégration des énergies renouvelables. - Les fournisseurs de technologies et d'équipements pour ces énergies sont également essentiels. - Les agences gouvernementales et les régulateurs environnementaux assurent le respect des normes et la conformité. - Les ONG spécialisées dans les énergies renouvelables et la réduction des émissions de carbone offrent un soutien précieux. - Les consultants en énergie et gestion des ressources apportent leur expertise pour optimiser les solutions. - Les entreprises en charge de la gestion de | <ul style="list-style-type: none"> - L'évaluation de l'intégration des énergies renouvelables est une activité fondamentale. - Le développement et la mise en œuvre de technologies visant à réduire l'empreinte carbone sont cruciaux. - La rédaction de rapports et l'analyse des impacts environnementaux permettent de mesurer les résultats. - La consultation pour optimiser l'énergie et réduire les émissions améliore les pratiques. - La formation sur les pratiques écologiques et les technologies vertes est essentielle pour le | <ul style="list-style-type: none"> - Fournir des solutions efficaces pour diminuer l'empreinte carbone des stations de dessalement représente une valeur ajoutée majeure. - L'intégration innovante des énergies renouvelables dans les infrastructures de dessalement constitue un avantage important. - La production de | <ul style="list-style-type: none"> - Le support technique personnalisé pour la transition vers les énergies renouvelables est essentiel dans les relations avec les clients. - Les partenariats à long terme avec l'industrie et les institutions de recherche favorisent le développement continu. - Une communication transparente des résultats et économies réalisées renforce la confiance des clients. - La formation continue et | <ul style="list-style-type: none"> - Les agences gouvernementales pour l'environnement et l'énergie sont des clients clés. - Les institutions de recherche sur les énergies renouvelables bénéficient de solutions adaptées. - Les entreprises du secteur du dessalement de l'eau recherchent des moyens d'améliorer leur durabilité. - Les organisations engagées dans la durabilité environnementale cherchent à intégrer des pratiques et technologies |

| | | | | |
|---|--|---|---|--------------|
| l'empreinte carbone et de la certification valident les efforts réalisés. | <p>changement.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La création d'outils pour suivre l'empreinte carbone aide à surveiller et ajuster les stratégies. | <p>rapports détaillés sur les impacts environnementaux et les économies d'énergie apporte une transparence précieuse.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les services de consultation pour optimiser l'énergie et gérer les émissions améliorent les pratiques et réduisent les coûts. | <p>la mise à jour des meilleures pratiques en gestion de l'empreinte carbone garantissent l'information sur les dernières innovations.</p> | écologiques. |
| | <p>Ressources liées</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les technologies et équipements pour les énergies renouvelables comprennent les panneaux solaires, les éoliennes, et autres dispositifs similaires. - Un personnel qualifié en ingénierie énergétique et gestion environnementale est nécessaire pour la mise en œuvre des solutions. - Des logiciels spécialisés sont utilisés pour analyser les données énergétiques et gérer l'empreinte carbone. - Une infrastructure adéquate est requise pour intégrer les énergies renouvelables de manière efficace. - Les protocoles et standards d'évaluation de l'empreinte carbone garantissent la précision et la fiabilité des mesures. | <ul style="list-style-type: none"> - En contribuant à la durabilité environnementale, on réduit également les coûts opérationnels. | <p>Les canaux de distribution</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les rapports sont disponibles en ligne via une plateforme sécurisée. - Des présentations et séminaires sont organisés pour informer les parties prenantes. - Des consultations et audits sont effectués directement sur site. - Les publications scientifiques et techniques permettent de diffuser les résultats et les recherches. - La participation à des conférences et salons professionnels favorise le partage des innovations et des développements. | |
| Coûts .000 | 175.000 DA | Revenus 145.000.000 DA | | |