



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers  
Département des Sciences de la Terre



## MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du grade de  
**Master en Sciences de la Terre et de l'Univers**  
Option : **Hydrosystèmes et Ressources en Eau (HRE)**

### Thème :

**Évaluation qualitative des différents hydrosystèmes de surface utilisés dans l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran**

*Présentée par :*

***KADRI Rajaa***

***REZOUG Amira***

Soutenu le : 03 / 07 / 2023

Devant le jury composé de :

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Qualité</b>	<b>Grade</b>	<b>Domiciliation</b>
	Président		Université d'Oran 2
BAKHTI Amel	Encadrante	MCB	Université d'Oran 2
BERGANE Cheikh	Co-encadrant	Docteur Vacataire	USTO-MB-
	Examineur		Université d'Oran

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui m'a illuminé le chemin vers la réussite et m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à remercier sincèrement Madame Amel BAKHTI, qui en tant que encadrante, s'est toujours montrée à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de mon projet. Ainsi je la remercie pour l'aide et tout le temps qu'elle a bien voulu me consacrer.

Mes remerciements s'étendent également à Monsieur Cheikh BERGANE, sans qui je n'aurais pas eu le temps de finaliser ce projet, toute ma reconnaissance pour son accueil, le temps passé ensemble et le partage de ses connaissances.

Grace aussi à sa confiance j'ai pu m'accomplir totalement dans mes missions, et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. il fut d'une aide très précieuse dans les moments les plus délicats.

Mes vifs remerciements vont également aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche en acceptant d'examiner ce travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Dédicace

### **A ma très chère mère :**

Autant de mots aussi expressifs soient-ils ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi, tu m'as comblé avec la tendresse et l'affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi pour toi reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profond estime.

Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

### **A mon cher père :**

Tu as bien su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils m'ont toujours guidé vers la réussite. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir.

✦ A la mémoire de ma grand-mère maternelle qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur, que ce modeste travail soit l'expression des vœux que tu m'as cessé de formuler dans tes prières \_ALLAH Yarhmek\_

✦ A ma sœur Maïssa et mes frères : Karim, Aymen, Ilyes a qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

✦ A ma très chère famille ABDLILLAH & KADRI, et à tous mes amis d'enfance en témoignage de l'attachement, de l'amour que je vous porte malgré la distance, vous êtes toujours dans mon cœur ; je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur.

**Rajaa**

## **Résumé**

L'approvisionnement en eau potable dans la ville d'Oran provient de différentes sources, à savoir les eaux des barrages (sources conventionnelles) ainsi que les eaux de mer traitées (sources non-conventionnelles). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'état de la qualité des eaux de trois barrages alimentant la ville d'Oran en se basant sur plusieurs indices de la qualité de l'eau à savoir l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE), l'Indice de Pollution Organique (IPO), le Lisec-Index ainsi que la classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE) d'une part. D'autre part, cette étude vise à évaluer les performances de la qualité de l'eau de mer traitée par quatre unités de dessalement qui approvisionnent également la ville d'Oran. Les données relatives aux paramètres physico-chimiques des eaux des barrages ont été recueillies auprès de l'ANRH d'Oran, tandis que les données concernant les eaux de mer traitées ont été obtenues auprès des stations de dessalement étudiées. Les paramètres étudiés couvrent la période de l'année 2019. Les trois barrages alimentant la ville d'Oran ont été classés par ordre croissant de degré de pollution comme suit : le barrage Gargar, le barrage Cheliff, et enfin le barrage Hammam Boughrara. Le barrage Hammam Boughrara présente le degré de pollution le plus élevé, ce qui en fait le cas le moins favorable. Afin de rendre les eaux de ces trois barrages utilisables pour l'alimentation en eau potable, un traitement est nécessaire. Les résultats de tous les paramètres organoleptiques et physico-chimiques ont révélé que l'eau traitée par les quatre stations de dessalement étudiées présente généralement des valeurs conformes à celles des normes algériennes et de l'OMS. Les résultats aboutis de cette étude confirment la fiabilité de ces infrastructures, le bon fonctionnement des installations et l'efficacité du système de prétraitement et d'osmose inverse.

**Mots clés :** Qualité, source d'eau, barrage, dessalement, alimentation en eau potable, Oran.

## **Abstract**

The supply of drinking water in the city of Oran comes from various sources, namely water from dams (conventional sources) as well as treated seawater (non-conventional sources). The objective of this study is to assess the quality status of water from three dams that supply the city of Oran, based on several water quality indices, including the Water Quality Index (WQI), the Organic Pollution Index (OPI), the Lisec-Index, and the parameter classification by the Institute of Hygiene and Epidemiology (IHE). Additionally, this study aims to evaluate the performance of treated seawater from four desalination units that also supply the city of Oran. Physicochemical parameter data for the dams water were collected from the from the National Agency of Hydraulic Resources (ANRH) in Oran, while data regarding treated seawater were obtained from the studied desalination stations. The studied parameters cover the period of the year 2019. The three dams supplying the city of Oran were ranked in ascending order of pollution level as follows: Gargar dam, Cheliff dam, and finally Hammam Boughrara dam. Hammam Boughrara dam exhibits the highest pollution level, making it the least favorable case. Treatment is necessary to make the water from these three dams suitable for drinking water supply. The results of all organoleptic and physicochemical parameters revealed that the water treated by the four studied desalination stations generally meets the Algerian standards and the WHO guidelines. The conclusive results of this study confirm the reliability of these infrastructures, the proper functioning of the facilities, and the efficiency of the pretreatment and reverse osmosis system.

**Keywords :** Quality, hydrosystem, dam, desalination, drinking water supply, Oran.

## ملخص

يأتي توريد مياه الشرب في مدينة وهران من مصادر مختلفة، وهي مياه السدود (المصادر التقليدية) وكذلك مصادر مياه البحر المعالجة (غير التقليدية). الهدف من هذه الدراسة هو تقييم حالة جودة المياه لثلاثة سدود تزود مدينة وهران بناءً على عدة مؤشرات لجودة المياه، وهي مؤشر الجودة الماء، مؤشر التلوث العضوي، وكذلك تصنيف المعلمات من قبل معهد النظافة و علم الأوبئة من ناحية. من ناحية أخرى، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء جودة مياه البحر المعالجة بأربع وحدات لتحلية المياه التي تزود مدينة وهران أيضًا. تم جمع البيانات المتعلقة بالمعايير الفيزيائية الكيميائية لمياه السدود من الوكالة الوطنية للموارد الهيدروليكية في وهران، بينما تم الحصول على بيانات مياه البحر المعالجة من محطات تحلية المياه المدروسة. تغطي المعلمات المدروسة فترة 2019. تم إدراج السدود الثلاثة التي تزود مدينة وهران بترتيب تصاعدي للتلوث على النحو التالي: سد جارجار، وسد شليف، وأخيرًا سد حمام بوغرارا. يحتوي سد حمام بوغرارا على أعلى درجة من التلوث، مما يجعله الحالة الأقل ملاءمة. من أجل جعل المياه في هذه السدود الثلاثة قابلة للاستخدام لتزويد مياه الشرب، من الضروري المعالجة. كشفت نتائج جميع المعلمات الحسية والفيزيائية الكيميائية أن المياه المعالجة بمحطات التحلية الأربع التي تمت دراستها بشكل عام لها قيم تتوافق مع تلك الخاصة بالمعايير الجزئية والتنظيمية الصحة العالمية. تؤكد النتائج الناجحة لهذه الدراسة موثوقية هذه البنى التحتية، والأداء السليم للمنشآت وكفاءة نظام المعالجة المسبقة والتناضح العكسي.

**الكلمات الرئيسية :** الجودة، مصدر المياه، السد، تحلية المياه، إمدادات مياه الشرب، وهران.



II.5 Conclusion .....	27
<b>Chapitre III Qualité des eaux brutes des barrages alimentant la ville d'Oran.....</b>	<b>28</b>
III.1 Introduction.....	29
III.2 Présentation des barrages.....	29
III.2.1 Barrage Gargar .....	29
III.2.1.1 Caractéristiques du barrage Gargar .....	30
III.2.2 Barrage Cheliff .....	31
III.2.2.1 Caractéristiques du barrage Cheliff.....	31
III.2.3 Barrage Hammam Bouhrara.....	31
III.2.3.1 Caractéristiques du barrage Hammam Bouhrara .....	32
III.3 Matériel et méthodes .....	32
III.3.1 Indice de Pollution Organique (IPO) .....	33
III.3.2 Lisec-Index.....	33
III.3.3 Classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE) .....	34
III.3.4 Indice de Qualité de l'Eau (IQE).....	35
III.4 Résultats et discussion.....	36
III.5 Conclusion .....	40
<b>Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran.....</b>	<b>41</b>
IV.1 Introduction .....	42
IV.2 Généralités sur le dessalement.....	42
IV.2.1 Prise d'eau de mer .....	42
IV.2.2 Poste de Prétraitement .....	43
IV.2.2.1 Prétraitements physiques .....	43
IV.2.2.1.1 Filtration mécanique .....	43
IV.2.2.1.2 Coagulation -floculation.....	43
IV.2.2.1.3 Filtration .....	43
IV.2.2.2 Prétraitements chimiques.....	44
IV.2.3 Post de traitement .....	44
IV.2.4 Procédé de dessalement : Osmose inverse.....	44
IV.3 Performances de la qualité de l'eau des unités de dessalement.....	45
IV.3.1 Paramètres organoleptiques .....	45
IV.3.2 Paramètres physico-chimiques.....	45
IV.3.2.1 pH.....	46

IV.3.2.2 Conductivité.....	46
IV.3.2.3 Alcalinité .....	47
IV.3.2.4 Dureté totale.....	48
IV.3.2.5 Calcium et magnésium .....	49
IV.3.2.6 Chlore résiduel libre .....	49
IV.3.2.7 Aluminium.....	50
IV.3.2.8 Nitrites .....	51
IV.3.2.9 Indice de Langelier.....	51
IV.3.2.10 Résidu sec .....	52
IV.3.2.11 Ortho-phosphates .....	53
IV.3.2.12 Bore .....	53
IV.4 Conclusion .....	54
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>55</b>

## Liste des figures

Figure I.1 : Villes limitrophes de la ville d'Oran .....	5
Figure I.2 : Découpage administratif de la ville d'Oran.....	6
Figure I.3 : Carte topographique de la ville d'Oran .....	8
Figure I.4 : Contrôle de l'homogénéité des données pluviométriques de la station Port par la méthode des doubles-cumuls .....	10
Figure I.5 : Contrôle de l'homogénéité des données pluviométriques de la station Arzew par la méthode des doubles-cumuls .....	11
Figure I.6 : Diagrammes ombrothermiques de Gausсен et Bagnauls de trois stations pluviométriques.....	13
Figure I.7 : Climagramme d'Emberger comportant les stations pluviométriques étudiées .....	14
Figure I.8 : Rose des vents de la station Es-Senia.....	15
Figure I.9 : Réseau hydrographique de la ville d'Oran .....	18
Figure I.10 : Carte géologique de la ville d'Oran .....	18
Figure I.11 : Carte hydrogéologique de la ville d'Oran .....	20
Figure II.1 : Transfert Tafna .....	22
Figure II.2 : Transfert Gargar.....	23
Figure II.3 : Étude de demandes d'autorisation de captage des eaux souterraines dans la ville d'Oran.....	24
Figure II.4 : Stations de dessalement alimentant la ville d'Oran .....	25
Figure II.5 : Évolution des volumes d'eau produits et dessalés dans la ville d'Oran.....	26
Figure II.6 : Évolution de la situation de l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran.....	26
Figure III.1 : Barrages alimentant la ville d'Oran.....	29
Figure III.2 : Barrage Gargar .....	30
Figure III.3 : Barrage Cheliff .....	31
Figure III.4 : Barrage Hammam Boughrara.....	32
Figure VI.1 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....	44
Figure IV.2 : pH des quatre unités de dessalement .....	46
Figure IV.3 : Conductivité des quatre unités de dessalement .....	47
Figure IV.4 : Alcalinité totale des quatre unités de dessalement .....	48
Figure IV.5 : Dureté totale des quatre unités de dessalement.....	48
Figure IV.6 : Calcium et magnésium des quatre unités de dessalement .....	49
Figure IV.7 : Chlore résiduel libre des quatre unités de dessalement .....	50

Figure IV.8 : Aluminium des quatre unités de dessalement .....	50
Figure IV.9 : Nitrites des quatre unités de dessalement .....	51
Figure IV.10 : Indice de Langelier des quatre unités de dessalement .....	52
Figure IV.11 : Résidu sec des quatre unités de dessalement .....	52
Figure IV.12 : Bore des quatre unités de dessalement .....	54

## Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques des trois stations pluviométriques sélectionnées du bassin versant Côtier Oranais .....	9
Tableau I.2 : Résultats du test de Wilcoxon .....	10
Tableau I.3 : Caractéristiques statistiques des stations pluviométriques étudiées .....	12
Tableau I.4 : Caractérisation climatique des trois stations pluviométriques étudiées .....	14
Tableau II.1 : Débits soutirés pour l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran en 2018 .....	23
Tableau II.2 : Ressources non-conventionnelles.....	24
Tableau III.1 : Classes de l'IPO .....	33
Tableau III.2 : Classes de Lisec-Index .....	34
Tableau III.3 : Classes de l'IHE .....	34
Tableau III.4 : Classes de l'IQE .....	36
Tableau III.5 : Résultats de l'IPO.....	37
Tableau III.6 : Résultats de Lisec-Index.....	37
Tableau III.7 : Résultats de l'IHE .....	38
Tableau III.8 : Récapitulation des résultats des trois premiers indices de qualité .....	38
Tableau III.9 : Résultats de Qualité de l'Eau (IQE).....	39
Tableau IV.1 : Résultats des paramètres organoleptiques des quatre unités de dessalement ...	45
Tableau IV.2 : Teneurs en ortho-phosphates des quatre unités de dessalement .....	53

## **Liste des abréviations**

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

DBO<sub>5</sub> : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DRE : Direction des Ressources en Eau

IHE : Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie

IPO : Indice de Pollution Organique

IQE : Indice de Qualité de l'Eau

LI : Lisec-Index

MAO : Mostaganem Arzew Oran

NTU : Néphélométrie Turbidité Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : potentiel d'Hydrogène

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

Rs : Résidu sec

SEOR : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran

# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

Oran a toujours connu de multiples problèmes d'approvisionnement en eau, du fait de l'insuffisance des ressources en eau en quantité et en qualité. Les périodes de sécheresse récurrentes et fréquentes ont généré des crises importantes et compliquées considérablement la gestion de l'eau. Pour faire face à cette demande d'eau, l'alimentation en eau potable a dû évoluer tout au long de sa longue histoire.

Durant les années 50, le déficit en eau a été partiellement réglé, grâce à un apport extérieur, un transfert à partir du barrage de Beni Behdel de Tlemcen et à partir de Fergoug de Mascara. Du début des années 1960 à la fin des années 1970, aucune stratégie d'approvisionnement en eau n'a été planifiée, malgré l'accroissement et le dédoublement de la population. Ce n'est qu'au début des années 1980, que les nouvelles prises d'eau de la Tafna, puis du barrage Ouizert (wilaya de Mascara) sont envisagées. Durant les années 1990, des projets hydrauliques plus importants envisagent d'effectuer des transferts encore plus éloignés (interrégionaux) à partir des bassins du Chélif et des barrages de Sidi Yacoub et de Gargar. Les années 2000 ont connu l'introduction de la technique du dessalement par osmose inverse, pour la production de l'eau potable. Commenant par la mise en service en 2004 de la station de Bredeah qui traite les eaux saumâtres avec des teneurs élevées en sels dissous de 7 g/l. Suivi en 2005 par l'usine Kahrama et les deux unités dessalement les Dunes et Bousfer.

Le quota d'eau par habitant et par jour diminue d'année en année et le taux de satisfaction est passé de 58 % durant les années 80, à 35 % au cours des années 90, et à seulement 27 % en 2005. Malgré tous ces projets, le volume total alloué en 2005 pour la wilaya d'Oran était de 108 000 m<sup>3</sup>/j, cependant les besoins de la population oranaise vont au-delà des 350 000 m<sup>3</sup>/j, ce qui représentait un déficit de 242 000 m<sup>3</sup>/j.

Ce n'est qu'à partir de l'année 2009, que les mégaprojets d'envergure se sont vus concrétisés, tels que l'entrée en production de l'usine de dessalement de Chatt El Hillal en 2009, renforçant ainsi le transfert Tafna par une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/j. L'adduction Gargar a été aussi renforcée en 2011, par l'apport des eaux dessalées de la station de Mostaganem d'une capacité de 150 000 m<sup>3</sup>/j. Finalement, les deux projets du MAO et l'usine de dessalement du Mactaa ont permis de combler les besoins de la wilaya d'Oran en eau potable respectivement depuis l'année 2012 et 2016.

Il devient donc évident que le réseau d'alimentation en eau potable de la wilaya d'Oran a connu une diversification importante de ses sources d'approvisionnement, qui présentent une grande variabilité en termes de qualité. Cela souligne la nécessité de porter une attention

particulière à l'évaluation de la qualité de certaines sources. L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité des eaux brutes provenant de trois barrages qui approvisionnent la ville d'Oran, ainsi que les performances opérationnelles des stations de dessalement d'eau de mer qui fournissent de l'eau à la ville d'Oran.

Pour ce faire, le présent mémoire a été scindé en quatre chapitres :

- ✚ Le premier chapitre qui est la présentation générale de la ville d'Oran ;
- ✚ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des ressources hydriques desservant la ville d'Oran ;
- ✚ Le troisième chapitre qui est la qualité des eaux brutes des barrages alimentant la ville d'Oran ;
- ✚ Le quatrième chapitre porte sur la qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran.

Et enfin, une conclusion générale qui représente la synthèse des principaux résultats obtenus avec les recommandations.

# **Chapitre I**

## **Présentation de la ville d'Oran**

## I.1 Introduction

Chaque région, voire chaque localité, possède ses propres caractéristiques géographiques, démographiques, topographiques, climatiques, pédologiques, hydrologiques, géologiques et hydrogéologiques qui ont une incidence directe sur la nature et la quantité des besoins en eau à satisfaire. Dans ce chapitre, nous allons présenter la zone d'étude concernant la ville d'Oran.

## I.2 Situation géographique

Oran, la deuxième ville d'Algérie, est l'une des plus importantes métropoles du Maghreb. C'est une ville portuaire de la méditerranée, située au Nord-Ouest du pays, à 432 km de la capitale Alger et le chef-lieu de la Wilaya du même nom, en bordure du golfe d'Oran. La wilaya d'Oran est limitée au Nord et à l'Ouest par la méditerranée, à l'Est par les wilayas de Mostaganem et Mascara et au Sud par les wilayas de Sidi Bel Abbes et Ain-Temouchent [1].

En général, le relief oranais est composé de deux types de formation géomorphologique : les plaines littorales (Bousfer, Andalouses) et sublittoral (Boutlelis, Misserghin, Es-Senia, Hassi-Mefsakh) et les massifs côtiers. Ces derniers forment une chaîne montagneuse discontinue qui s'étend du Sud-Ouest au Nord-Est. Il se dresse en véritable barrière naturelle assurant une protection contre la violence des vents marins du Nord-Est [1, 2].

Les plaines occupent environ 70 % de la superficie totale de la wilaya : ce sont des terres fertiles qui communiquent avec la côte des baies d'Oran et d'Arzew. Oran est l'une des plus grandes villes côtières d'Algérie. De par sa position géographique privilégiée, elle est dotée de port de commerce, de pêche et d'un aéroport international : Oran est une porte ouverte sur le monde extérieur [1].

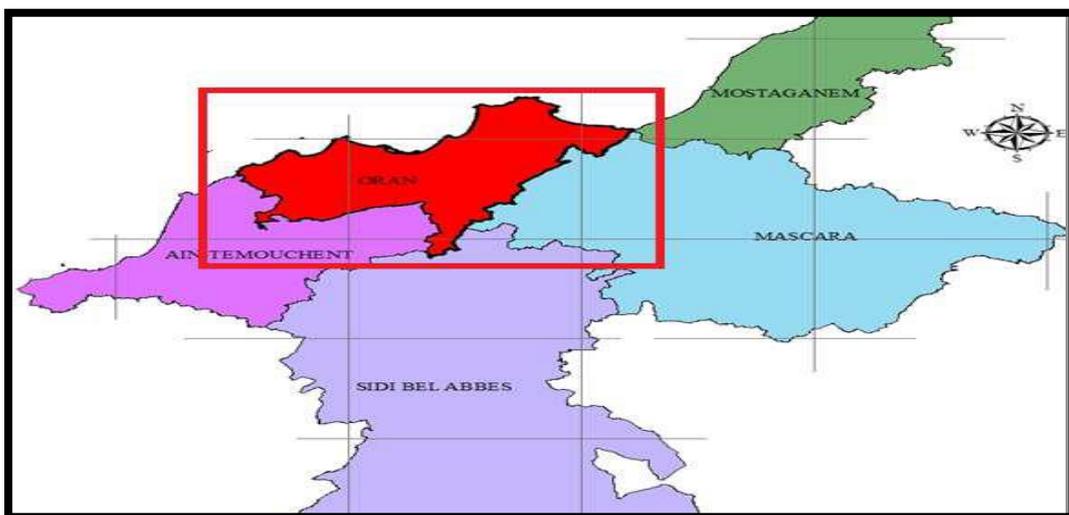
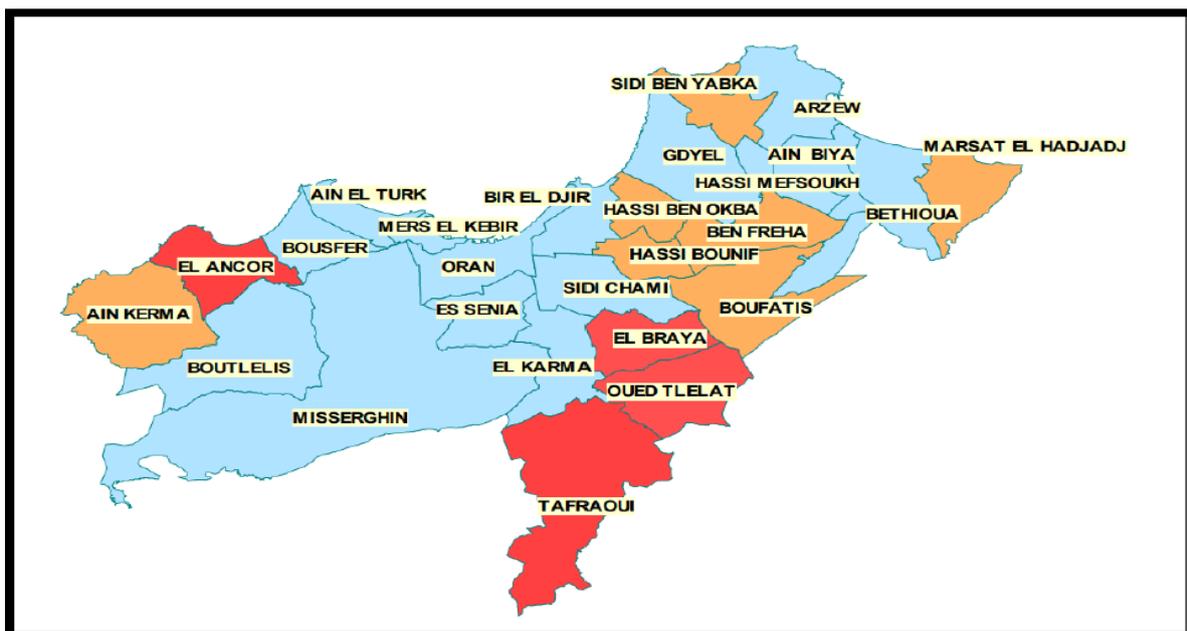


Figure I.1 : Villes limitrophes de la ville d'Oran

### I.3 Découpage administratif

La wilaya d'Oran est divisée en neuf Dairas sur lesquelles se répartissent vingt-six communes (**Figure I.2**). Elle fait partie de l'Agence de Bassin de la Région Oranie-Chott Chergui. Le découpage administratif est le suivant [1] :

- Oran : commune d'Oran ;
- Aïn-el-Turck : communes d'Aïn-el-Turck, Mers-el-Kébir, Bousfer, El Ançor ;
- Arzew : communes d'Arzew, Sidi Benyebka ;
- Bethioua : communes de Bethioua, Ain el Bia, Mers El Hadjaj ;
- Es Sénia : communes d'Es Senia, El Kerma, Sidi Chami ;
- Bir El Djir : communes de Bir El Djir, Hassi Bounif, Hassi Ben Okba ;
- Boutlélis : communes de Boutlélis, Missegghine, Ain El Kerma ;
- Oued Tlélat : communes d'Oued Tlélat, Tafraoui, El Braya, Boufatis ;
- Gdyl : communes de Gdyl, Ben Fréha, Hassi Mefsoukh.



**Figure I.2 :** Découpage administratif de la ville d'Oran

### I.4 Situation démographique

Le dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) effectué en avril 2008 a fait ressortir que la taille de la population de la wilaya d'Oran est de 1 454 078 habitants. Les premières estimations font état d'un taux de croissance annuelle moyen de la population d'environ 1.9 % par rapport au dernier recensement de 1998. Sachant que la superficie du territoire de la wilaya est de 2114 km<sup>2</sup>, la densité de la population est ainsi de l'ordre de 687,83 hab/km<sup>2</sup> [3].

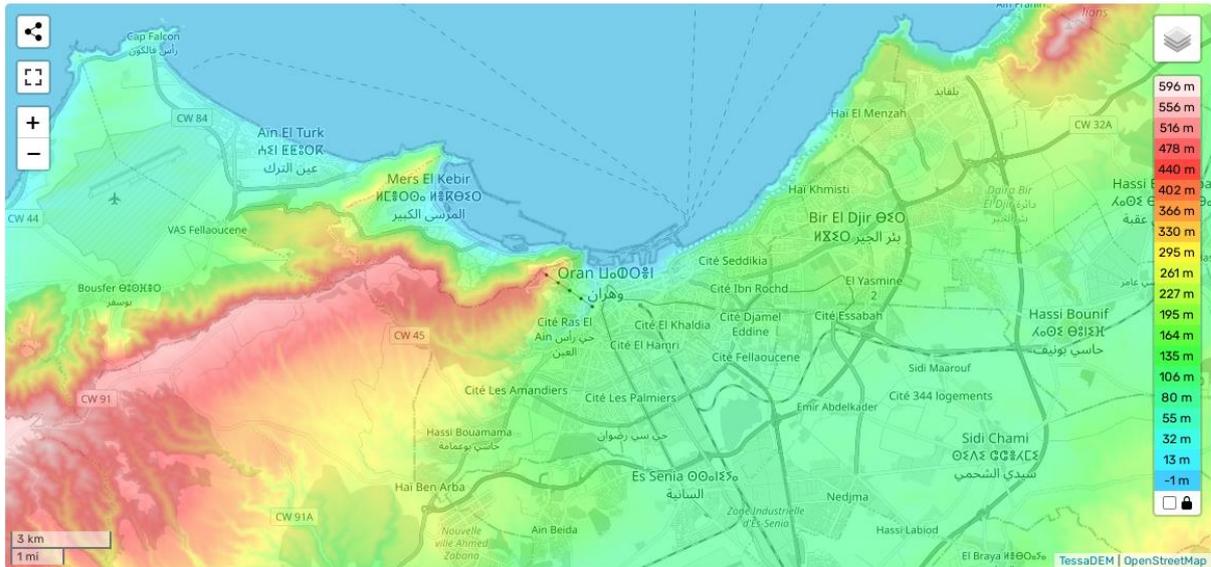
### I.5 Situation topographique

Le relief de la wilaya d'Oran se présente de l'Ouest à l'Est comme suit [4] :

- ✓ Les Zones montagneuses comprenant :
  - Monts des Traras : c'est une chaîne montagneuse côtière de 1250 Km<sup>2</sup>, qui occupe le nord de la wilaya de Tlemcen (côtier occidental). Elle s'étend depuis l'embouchure de la Tafna jusqu'à la frontière Algéro-Marocaine, la nature morphologique des terrains est caractérisée par de fortes pentes soumises à une érosion intense. Le relief est assez accidenté à l'est et vallonné à l'ouest avec des pentes de plus de 25 % sur 75 % de leur superficie ;
  - Monts de Tessala : ils constituent un massif complexe d'altitude moyenne de 800 m, où le point culminant atteint 1061 m (pic de Tessala) à Djebel Bouhaneche.
  
- ✓ Les Zones des plaines intérieures comprenant :
  - Plaine de Brédéah : elle est limitée au nord par le massif du Murdjadjo, à l'ouest la plaine de M'Leta, à l'est par le plateau des Hassis et par la Sebkhah d'Oran au sud ;
  - Plaine de Boutlélis et Messerghin : aux pieds des monts du Murdjadjo alimentant les nappes du Murdjadjo et de Brédéah ;
  - Plaine de la M'léta : qui se situe entre la Sebkhah d'Oran et le bassin versant septentrional du Tessala avec une altitude moyenne de 50 à 100 m ;
  - Plaine de Ain Temouchent-El Amria : elle possède une altitude moyenne de 300 m.
  
- ✓ Les Bandes littorales comprenant :
  - Massif côtier de Beni Saf : dont l'altitude moyenne est de 200 m, le point culminant atteint 409 m au niveau du Djebel Skhouana ;
  - Plateau d'Ouled Boudjemaa : il possède une altitude moyenne de 350 m est légèrement incliné vers la Sebkhah ;
  - Plaine côtière d'Ain Türk : elle est limitée au nord par la mer Méditerranée et par le massif du Murdjadjo au sud-ouest ;

- Plateau de Mostaganem : il occupe une superficie de 500 Km<sup>2</sup>. Il est limité au nord par la mer, au sud par les Monts de Beni Chougrane, à l'est par la plaine du chéiff et à l'ouest par la plaine de Habra Sig.

La région d'étude se caractérise par une topographie variable (**Figure I.3**). Elle possède une altitude minimale environ -1 m, une altitude moyenne ayant une valeur de 106 m et une altitude maximale environ 596 m



**Figure I.3** : Carte topographique de la ville d'Oran [source : [topographic-map.com](http://topographic-map.com)]

## I.6 Situation climatique

Les précipitations, qui sont le facteur principal de l'alimentation des cours d'eau, ont une influence sur la variabilité des écoulements à toutes les échelles de temps [5]. Pour mieux cerner l'étude de la pluviométrie, des séries des pluies totales annuelles ont été retenues.

Les données pluviométriques de trois stations implantées dans différents endroits de la zone d'étude ont été collectées. Celles-ci ont été fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Oran (ANRH). La durée d'observation de ces trois stations est de 12 ans, pour une période allant de l'année hydrologique (2010/2011) à l'année hydrologique (2020/2021). Les trois stations pluviométriques du bassin versant Côtier Oranais sélectionnées sont : station Es-Senia, station Port et station Arzew. Les caractéristiques géographiques avec leurs périodes d'observations sont données dans le **Tableau I.1**.

Le **Tableau I.1** représente les trois stations sélectionnées du bassin versant Côtier Oranais, pour une période d'observation de 12 ans qui s'étend de 2010 jusqu'à 2021 et qui ne contiennent pas de lacune annuelle.

**Tableau I.1** : Caractéristiques des trois stations pluviométriques sélectionnées du bassin versant Côtier Oranais

Nom de station	Code	Coordonnées géographiques			Période
		X (°N)	Y (°W)	Z (m)	
Es-Senia	60490	35,63	0,60	90	2010-2021
Port	60461	35,70	0,65	22	2010-2021
Arzew	60452	35,82	0,27	4	2010-2021

La méthode des doubles cumuls a été effectuée afin de vérifier l'homogénéité des totaux annuels de la série pluviométrique par rapport à la station d'Es-Senia prise comme station de référence, cette dernière a été contrôlée par le test de Wilcoxon en utilisant les étapes suivantes :

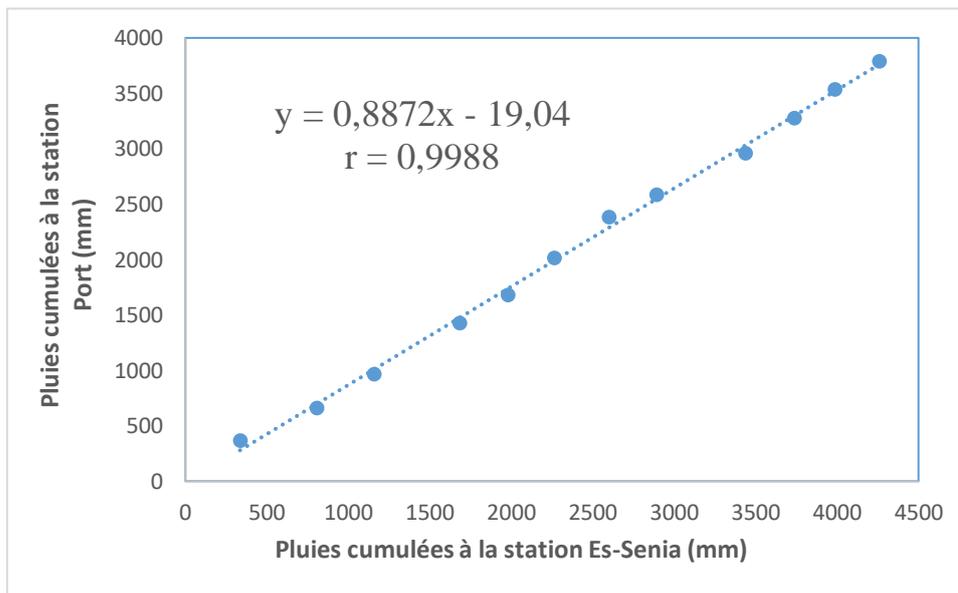
- Nous avons mentionné l'ordre de la pluie de 1 jusqu'à N ;
- Nous avons divisé la série d'observation en deux échantillons X et Y de tailles  $N_1$  et  $N_2$  avec  $N_1 < N_2$  ;
- Nous avons classé la pluie par ordre de grandeur croissant ;
- Nous avons mentionné l'ordre après la classification ;
- Nous avons calculé la somme des rangs  $W_X$  de l'échantillon X ;
- Nous avons calculé  $W_{min}$  et  $W_{max}$  ;
- $W_{min} = \frac{(N_1+N_2+1)(N_1-1)}{2} - 1,96 \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1+N_2+1)}{12}}$ 
  - $W_{max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{min}$
- Nous avons vérifié cette condition  $W_{min} < W_X < W_{max}$  qui a prouvé que la station étudiée est homogène.

Les résultats de ce test statistique sont présentés dans le **Tableau I.2**.

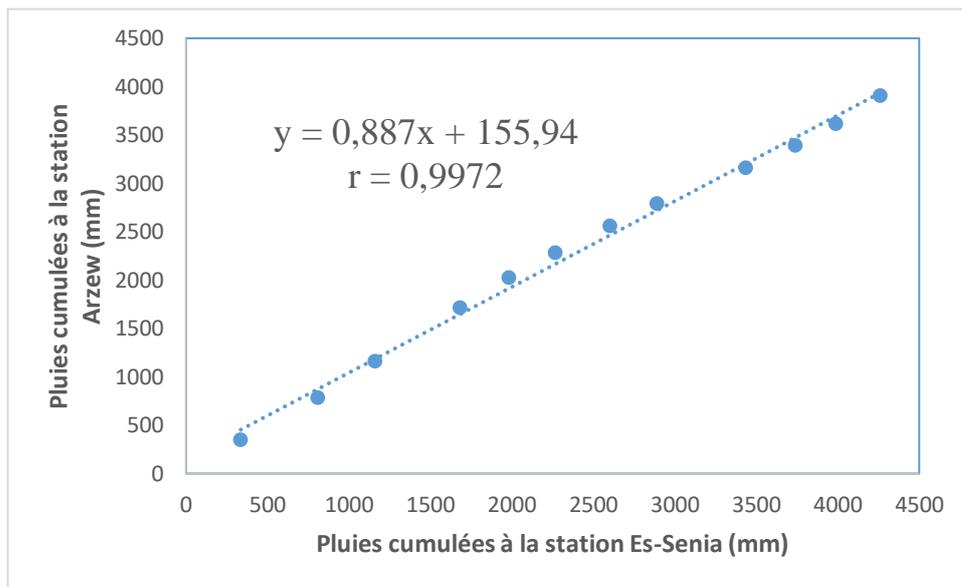
**Tableau I.2** : Résultats du test de Wilcoxon

Taille de l'échantillon X	Taille de l'échantillon Y	$W_x$	$W_{min}$	$W_{max}$	Vérification de la condition	Conclusion
4	8	37	7,96	44,04	$7,96 < 37 < 44,04$	La station d'Es-Senia est homogène

La **Figure I.4** et **I.5** présentent le contrôle de l'homogénéité des données pluviométriques de la station Port et de la station Arzew respectivement par la méthode des doubles-cumuls. D'après ces deux figures, nous constatons que les données pluviométriques de ces deux stations sont homogènes, le fait qu'elles ne possèdent aucune rupture au niveau de la période d'observation. De même pour la corrélation linéaire entre les données de ces deux stations et celle de la station de référence (Es-Senia), la corrélation est positive et parfaite, car le coefficient de corrélation est très important et proche de 1.



**Figure I.4** : Contrôle de l'homogénéité des données pluviométriques de la station Port par la méthode des doubles-cumuls



**Figure I.5 :** Contrôle de l'homogénéité des données pluviométriques de la station Arzew par la méthode des doubles-cumuls

### I.6.1 Statistiques descriptives

Le Tableau I.3 montre les caractéristiques statistiques des séries pluviométriques annuelles des trois stations étudiées. La station Port a été marquée par une petite différence entre la moyenne et la médiane. En revanche, pour les deux autres stations, la différence entre ces deux paramètres de position est significative. La différence entre le minimum et le maximum est importante pour les trois stations. D'après les valeurs du coefficient d'aplatissement, nous constatons que la station Es-Senia se répartit selon une courbe rétrécie, c'est-à-dire les valeurs de sa pluviométrie sont regroupées autour de la moyenne. En revanche, la station Port et la station Arzew se répartissent selon des courbes aplaties. D'après les valeurs du coefficient d'asymétrie, il est clair que la distribution des trois stations étudiées est étalée vers la droite. La station d'Arzew possède la plus grande variation de l'ensemble de données pluviométriques par rapport à sa moyenne, comparativement aux autres stations. Cela pourrait signifier que la station Arzew peut connaître des épisodes de précipitations plus intenses et des périodes de sécheresse plus longues que les deux autres stations.

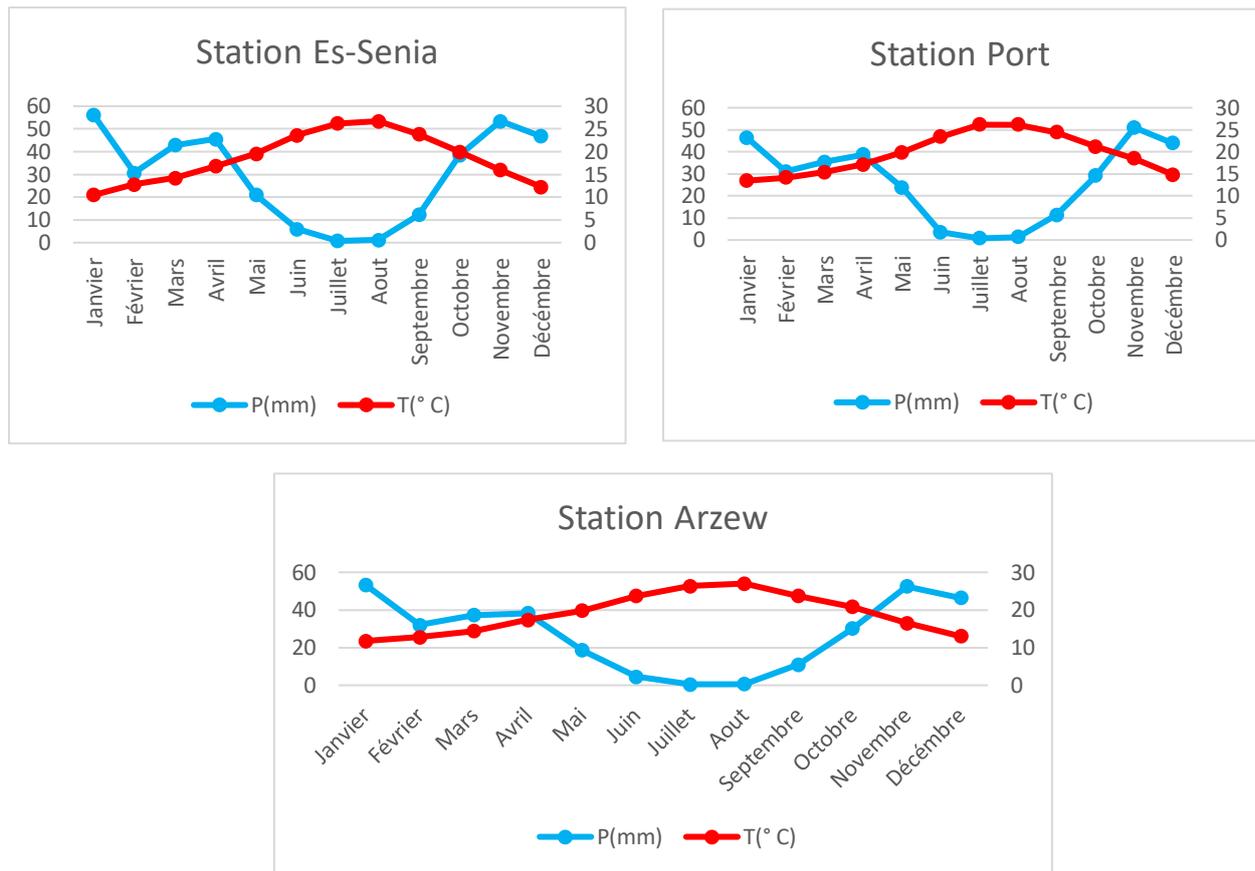
**Tableau I.3** : Caractéristiques statistiques des stations pluviométriques étudiées

<b>Nom de la station</b>	<b>Es-Senia</b>	<b>Port</b>	<b>Arzew</b>
<b>Minimum (mm)</b>	251	203	226
<b>Moyenne (mm)</b>	355,08	315,92	325,42
<b>Médiane (mm)</b>	318	311,5	298
<b>Maximum (mm)</b>	545	459	557
<b>Écart-type (mm)</b>	101,09	69,6	98,58
<b>Coefficient d'aplatissement</b>	-0,18	0,29	1,49
<b>Coefficient d'asymétrie</b>	1,13	0,47	1,22
<b>Coefficient de variation (%)</b>	28,47	22,03	30,29

### I.6.2 Diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique représente les courbes des températures et des précipitations pour les douze mois de l'année. L'ordonnée doit être graduée de manière à ce que la pluie est égale 2 fois la température ( $P = 2T$ ). Cela permet de représenter le déroulement annuel des précipitations, des températures et laisser apprécier le rapport entre les précipitations et les températures, puisque la sécheresse apparaît quand la courbe de la température passe au-dessus de la courbe des précipitations.

En analysant le diagramme ombrothermique des trois stations pluviométriques étudiées (**Figure I.6**) pour la période de 2010 à 2021, nous pouvons observer que la période sèche s'étend sur 6 mois, de mai à octobre, tandis que la période humide s'étend sur les six mois restants, de novembre à avril. Nous pouvons donc en conclure que la saison froide correspond à la période pluvieuse, tandis que la saison chaude correspond la période sèche.



**Figure I.6 :** Diagrammes ombrothermiques de Gaussen et Bagnauls de trois stations pluviométriques

### I.6.3 Régime climatique

En 1930, Emberger a défini les étages bioclimatiques basés sur deux facteurs : la détermination des saisons sèches et des saisons humides qui est représentée par le quotient pluviothermique défini ci-dessous :

$$Q = \frac{2000 \cdot P}{M^2 - m^2}$$

*Q* : Quotient pluviothermique d'Emberger (-).

*P* : Précipitation moyenne annuelle (mm).

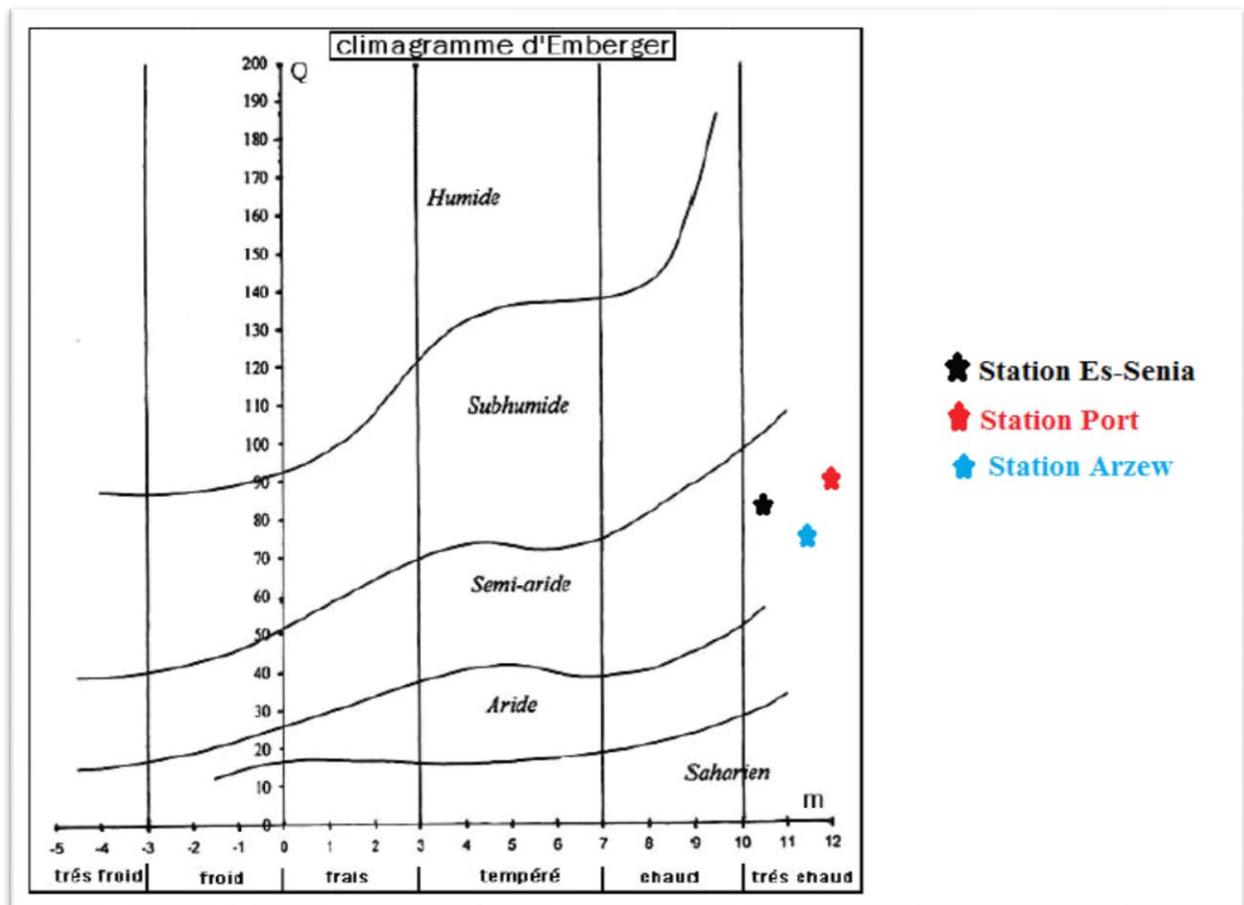
*M* : Temperature moyenne des maxima du mois le plus chaud (° k).

*m* : Temperature moyenne des maxima du mois le plus froid (° k).

Les valeurs du quotient pluviométrique d'Emberger des trois stations étudiées ainsi que leurs localisations sur le climagramme d'Emberger sont présentes sur le Tableau I.4 et la Figure I.6.

**Tableau I.4 :** Caractérisation climatique des trois stations pluviométriques étudiées

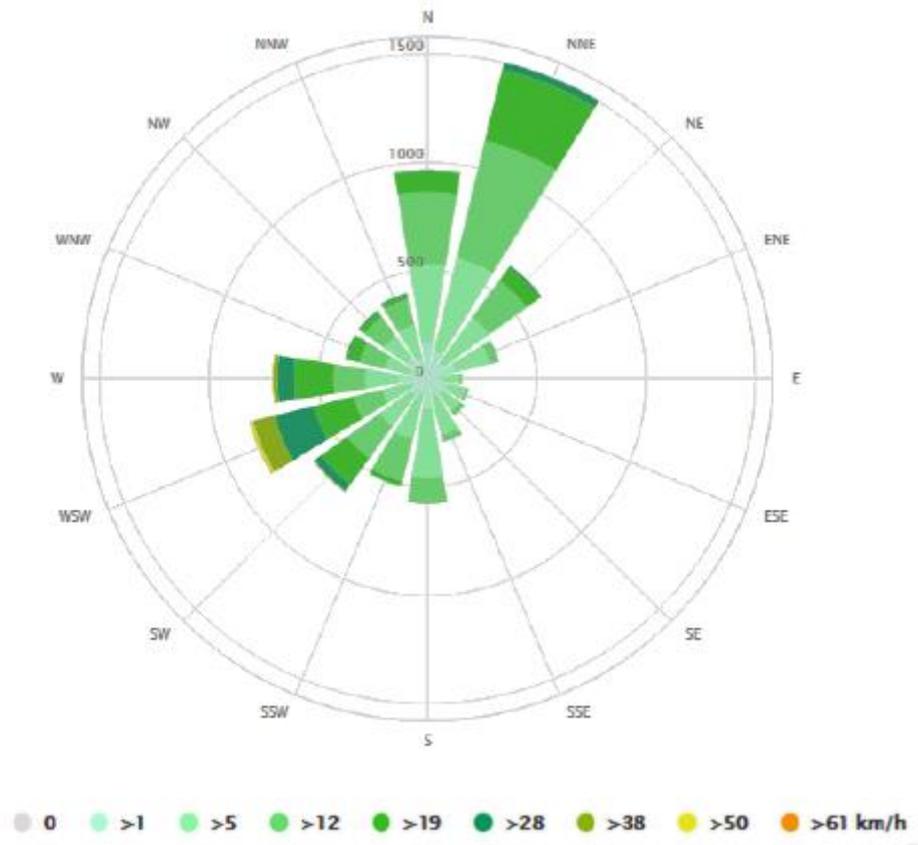
Station	P (mm)	m (° K)	M (° K)	Q (-)	Étage bioclimatique
Es-Senia	355,1	283,61	299,85	74,95	climat semi-aride à hiver très chaud
Port	315,92	286,61	299,3	84,98	climat semi-aride à hiver très chaud
Arzew	325,4	284,92	300,17	72,94	climat semi-aride à hiver très chaud



**Figure I.7 :** Climagramme d'Emberger comportant les stations pluviométriques étudiées

### I.6.4 Vent

La rose des vents pour la station d'Es-Senia montre combien de Km par heure, le vent souffle dans les directions indiquées sur la **Figure I.8**. Il est clair que la direction dominante des vents est le nord-nord-est. La vitesse moyenne des vents est de 3,7 m/s [6].



**Figure I.8 :** Rose des vents de la station Es-Senia [source meteobleu]

### I.7 Situation pédologique

Sur la base des critères à la direction de la pédologie de l'ANRH, les sols aptes à l'irrigation sont classés en cinq catégories de mise en valeur en irrigation. Les sols sont considérés aptes à la mise en valeur hydro-agricole sur la base de leurs propriétés physico-chimiques, ainsi que par les différents facteurs naturels (géomorphologie, topographie, climatologie, etc.), sans tenir compte des potentialités hydriques. On distingue en général cinq catégories de sols [6] :

Catégorie I : Dans cette catégorie sont inclus :

- Les sols profonds ;
- Les sols de texture moyenne à fine ;
- Les sols bien structurés et bien drainés ;

- Les sols à topographie régulière et à pente faible.

Ce sont des sols de mise en valeur prioritaire, ne présentant pas de problèmes majeurs d'aménagement. Ils sont aptes à toutes les cultures.

Catégorie II : Les sols de cette catégorie sont généralement :

- Profonds ou moyennement profonds ;
- De texture moyenne à fine ;
- Bien structurés jusqu'à une profondeur moyenne ;
- Possibilité de présence d'un niveau mal drainant à moyenne profondeur (pouvant occasionner la formation d'une nappe perchée après mise en irrigation) ;
- A topographie régulière ou faiblement ondulée, et à pente faible.

Ces sols sont aptes à toutes les cultures avec restrictions pour certaines cultures arbustives. Ils sont spécialement favorables aux cultures industrielles. Ils présentent des problèmes mineurs d'aménagement (épierrage ou assainissement de surface).

Catégorie III : Cette catégorie comprend les sols :

- Profonds ou moyennement profonds ;
- De textures moyenne, fine ou très fine ;
- Bien structurés jusqu'à moyenne profondeur ;
- Sol pouvant présenter des caractères de salure ou d'hydromorphie (avec présence d'une nappe vers un mètre de profondeur) ;
- Sol à topographie régulière ou moyennement ondulée, la pente peut aller jusqu'à 5 %.

Ces sols sont à réserver aux cultures en assolement. Les problèmes d'aménagement essentiels sont le drainage après irrigation et le dessalage.

Catégorie IV : Les sols de cette catégorie sont :

- De profondeur variable ;
- De textures grossières à très fine ;
- Leur structure peut être défavorable ;
- Ils sont parfois salés ou hydromorphes avec présence d'une nappe à faible profondeur ;
- A topographie régulière à ondulée, la pente peut atteindre 10 %.

Ce sont des sols qui présentent des problèmes majeurs d'aménagement : drainage, dessalage, nivellement. L'aptitude culturale de ces sols est souvent réduite à quelque céréalières, fourragères et maraîchères. La mise en valeur en sec est à conseiller.

Catégorie V : Cette catégorie comprend les sols non irrigables pour diverses raisons :

- Profondeur de sol insuffisante ;
- Présence de croûte à faible profondeur ;
- Pente trop forte, relief accidenté ;
- Sols occupés par une infrastructure (route, construction, lit d'oued).

### **I.8 Situation hydrologique**

La wilaya d'Oran est entourée des plaines de Brédéah et de la M'Léta. Toute cette zone est située en contrebas des Monts du Tessala. Hormis Mersat-El-Hadjaj qui appartient à la portion côtière du marais de la Macta, l'étendue de la wilaya d'Oran présente trois sous bassins versants [1] :

- ✓ Le sous bassin versant côtier d'Ain Türk situé à l'ouest et sur le versant nord du Djebel du Murdjadjo ;
- ✓ Le sous bassin versant de la Sebkhha d'Oran qui est un bassin endoréique qui a la particularité d'avoir une ressource en eau superficielle riche en sel ;
- ✓ Le sous-bassin versant des salines d'Arzew situé au nord-est de la Wilaya.

### **I.9 Réseau hydrographique**

Les principaux oueds de la wilaya sont oued Tlelat, alimentant la sebkhha d'Oran, oued Beggoug et oued Guessiba. L'oued Beggoug appartenant au sous-bassin versant côtier d'Ain Türk situé sur le bassin versant nord du Djebel du Murdjajo comporte une retenue collinaire. L'oued Guessiba qui appartient au sous-bassin versant des salines d'Arzew situé au nord-est de la wilaya contient la deuxième retenue collinaire de la wilaya [1].

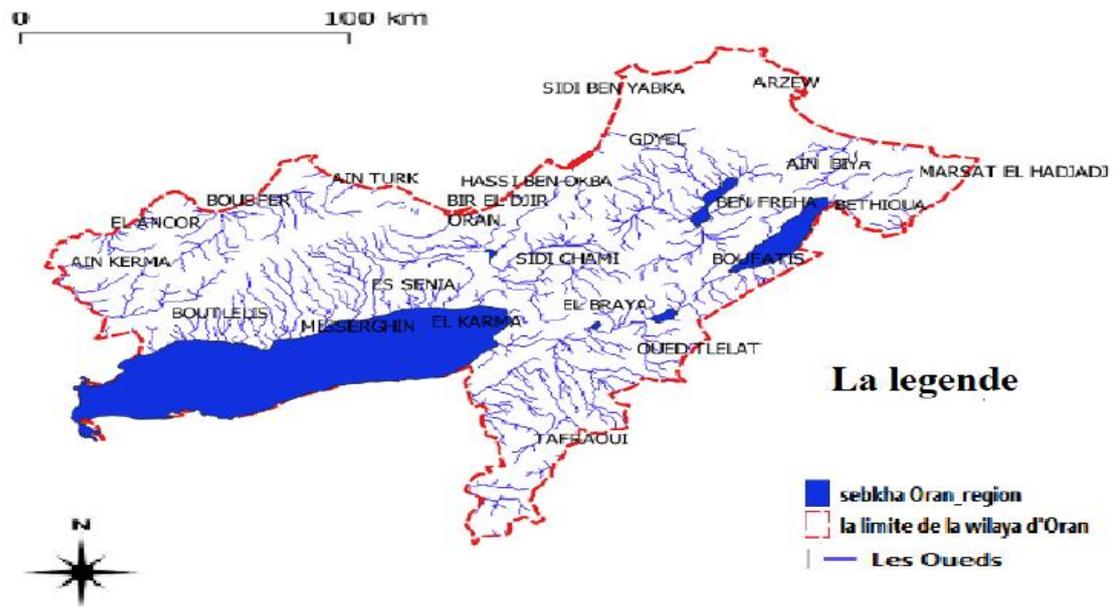


Figure I.9 : Réseau hydrographique de la ville d'Oran [7]

### I.10 Situation géologique

La wilaya d'Oran est constituée par les formations dunaires consolidées, les alluvions actuelles et récentes, quelques lumachelles, poudingues, grès Calabrien, sables, graviers et argiles [2].

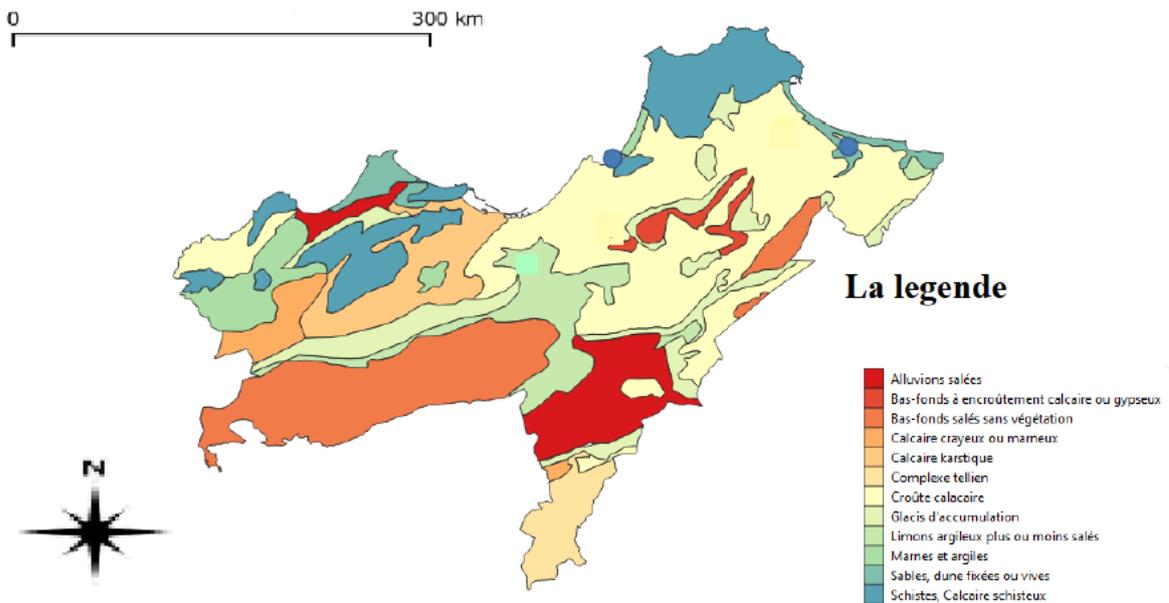


Figure I.10 : Carte géologique de la ville d'Oran [7]

### I.11 Situation hydrogéologique

Les réservoirs d'eau souterraine **Figure I.11** les plus importants de la région sont constitués par [1, 2, 6, 7] :

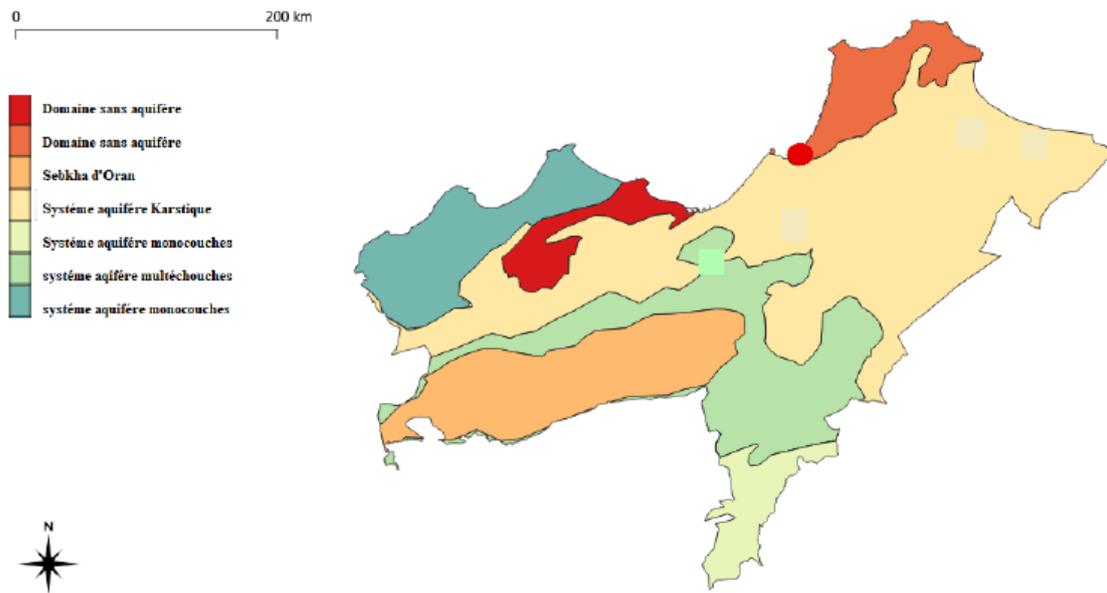
- **Complexe karstique Murdjadjo–Brédéah** : comprenant une partie calcaire et une partie alluviale (alluvions rouges à galets), cette dernière est alimentée par les écoulements souterrains des circulations karstiques le long de la bordure sud des Monts Murdjadjo. Cet aquifère fait l'objet d'un suivi piézométrique et hydrochimique ;
- **Complexe aquifère Mio-pliocène** : reconnu par forages profonds (300 à 500 mètres) dans la partie est de la plaine de la M'léta, notamment au droit de la plaine du Tlélat. Cet horizon aquifère très puissant (150 mètres d'épaisseur) est constitué par des grès carbonatés attribués au Pliocène marin localement en contact avec les calcaires du Miocène. La nappe contenue dans les grès et calcaires est fortement captive, et isolée des nappes superficielles beaucoup plus salées, par les formations argileuses du Pliocène continental. La minéralisation de la nappe profonde pliocène est de l'ordre de 1 à 2 g/l. Cette nappe fait également l'objet d'un suivi piézométrique et hydrochimique par l'ANRH depuis 1994.

Les alluvions quaternaires de la grande Sebkhia renferment des nappes phréatiques alimentées par leur propre impluvium ainsi que par les infiltrations des oueds.

L'eau de ces nappes est en général fortement minéralisée (4 à 15 g/l). Cette ressource est néanmoins sollicitée par de nombreux puits d'irrigation en dépit d'une qualité peu propice à un usage agricole. Un réseau de surveillance de la nappe quaternaire avait été mis en place en 1988 par l'ANRH dans la plaine de la Mleta. Il a fonctionné jusqu'en mai 1991, puis a été abandonné en raison de l'importante salinité enregistrée dans les eaux de cet aquifère.

A l'heure actuelle subsistent de nombreuses incertitudes et lacunes de connaissance sur les potentialités en eaux souterraines du bassin versant de la sebkhia :

- ✓ La nappe des calcaires du Murdjadjo sur la bordure nord de la sebkhia, a fait l'objet de nombreuses études. Le débit exploitable dans cette nappe a été évalué à 475 l/s par B.Sourisseau en 1976. Peut-on considérer,
- ✓ Un réservoir aquifère important a été reconnu en bordure sud-est de la sebkhia (plaine du Tlélat) dans les grès carbonatés du Pliocène marin. L'extension de ce réservoir sous la sebkhia n'a pas encore été reconnue.



**Figure I.11** : Carte hydrogéologique de la ville d'Oran [7]

### I.12 Conclusion

La topographie de la ville d'Oran présente une grande variabilité, avec une altitude minimale d'environ -1 m, une altitude moyenne de 106 m et une altitude maximale d'environ 596 m.

Le climat de la ville d'Oran au cours des dernières 12 années a été de type semi-aride à hiver très chaud. La période de sécheresse s'étend de mai à octobre, tandis que la période humide couvre les mois de novembre à avril.

La région d'étude dispose d'un potentiel en sols d'une grande valeur agronomique. La composition géologique de la wilaya d'Oran se compose de formations dunaires consolidées, d'alluvions actuelles et récentes, ainsi que de lumachelles, poudingues, grès Calabrien, sables, graviers et argiles.

La région d'étude traverse un important réseau hydrographique à savoir oued Tlelat, oued Beggoug et oued Guessiba et elle dispose d'un réseau hydrogéologique varié qui comprend différentes nappes souterraines.

# **Chapitre II**

## **Ressources hydriques**

### **desservant la ville d'Oran**

## II.1 Introduction

Les ressources mobilisées actuellement dans la Wilaya d'Oran ont différentes origines (eaux de surface, eaux souterraines, ressources locales et ressources externes) prélevées en plusieurs points. Elles sont destinées à l'alimentation en eau potable des ménages et des collectivités, à l'industrie et à l'irrigation. Cette mobilisation se fait par le biais de plusieurs infrastructures dont certaines sont situées à l'extérieur de la Wilaya pour mobiliser les eaux de surface (transferts externes).

## II.2 Ressources en eau potable alimentant la ville d'Oran

Le système d'alimentation en eau potable de la wilaya d'Oran est quasi dépendant des grands transferts Est-Ouest (eaux conventionnelles) et des eaux non-conventionnelles des usines de dessalement [8].

### II.2.1 Eaux conventionnelles

Nous pouvons distinguer deux systèmes principaux d'alimentation en eau potable : Est et Ouest.

#### II.2.1.1 Principaux transferts

- ✓ Transferts Ouest : Adduction Tafna (barrage de Béni Bahdel et barrage de Boughrara) dont la capacité de transfert installée est de 250 000 m<sup>3</sup>/j.
- ✓ Transferts Est : Adduction Gargar (barrage de Gargar) dont la capacité de transfert installée est de 110 000 m<sup>3</sup>/j et Adduction MAO (barrage Cheliff) dont la capacité de transfert installée est de 300 000 m<sup>3</sup>/j.



**Figure II.1 : Transfert Tafna [8]**



**Figure II.2 : Transfert Gargar [9]**

### II.2.1.2 Ressources locales (puits et forages)

Les ressources mobilisées dans la wilaya d'Oran sont aussi concentrées dans certaines communes par le prélèvement des eaux souterraines, comme le montre le tableau II.1 qui présente les différents débits soutirés pour l'AEP de la ville d'Oran en 2018 [9].

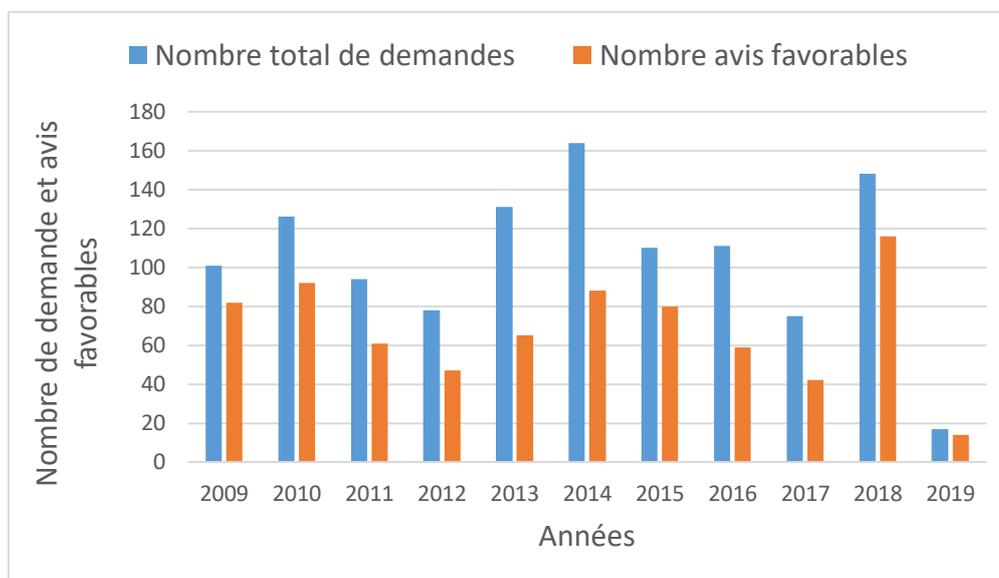
**Tableau II.1 : Débits soutirés pour l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran en 2018 [9]**

Forages		Puits		Sources	
Nombre	Débit (m <sup>3</sup> /an)	Nombre	Débit (m <sup>3</sup> /an)	Nombre	Débit (m <sup>3</sup> /an)
38 dont 18 en exploitation	1 876 120	27 dont 06 en exploitation	381 434	08 dont 05 en exploitation	186 397
Total du débit soutiré pour l'alimentation en eau potable est de <b>2,44 Hm<sup>3</sup>/an</b>					

#### II.2.1.2.1 État de l'étude des dossiers de demande d'autorisation de captage des eaux souterraines dans la wilaya d'Oran

La figure II.3 représente le nombre total de demandes d'autorisation de captage des eaux souterraines dans la ville d'Oran sur une période de 11 ans (de 2009 à 2019) ainsi que le nombre d'avis favorables déclarés par la direction chargée de l'eau. Nous constatons une tendance à la hausse du nombre total de demandes de 2009 à 2014, avec une légère baisse en 2015 et 2016, puis une forte baisse en 2017. En 2018, le nombre de demandes a connu une nouvelle croissance de demandes, cependant, en 2019, le nombre a significativement chuté, probablement en raison de l'approvisionnement suffisant de l'eau de la ville d'Oran aux consommateurs. Pour ce qui est au nombre d'avis favorables, pour toutes les années étudiées, il était faible par rapport au

nombre de demandes, suggérant qu'un pourcentage de demandes pour chaque année a été rejeté.



**Figure II.3 :** Étude de demandes d'autorisation de captage des eaux souterraines dans la ville d'Oran

### II.2.2 Eaux non-conventionnelles

Compte tenu de la pression de la demande d'eau qui accompagne le développement de la Wilaya, cette dernière a également recours au dessalement de l'eau de mer.

**Tableau II.2 :** Ressources non-conventionnelles [8]

Nom de la station	Type de station	Capacité de production installée (m <sup>3</sup> /j)	Volume produit actuellement (m <sup>3</sup> /j)
Kahrama	Station de dessalement	90 000	50 000
Bousfer	Station de dessalement	5 000	1 500
Les Dunes	Station de dessalement	5 000	1 500
Bredeah	Station de déminéralisation	24 000	11 000
Chatt El Hillal	Station de dessalement	200 000	120 000
Mactaa	Station de dessalement	500 000	320 000



**Figure II.4 :** Stations de dessalement alimentant la ville d'Oran [8, 9]

### II.2.2.1 Évolution de la contribution du dessalement dans l'AEP de la ville d'Oran

La figure II.5 montre l'évolution des volumes d'eau produits et dessalés dans la ville d'Oran sur une période de 9 ans, de 2008 à 2016. Nous constatons une augmentation considérable de la production d'eau dessalée au fil des années, qui suit une fonction croissante avec des variations significatives en pourcentage d'eau dessalée. Cette augmentation de la capacité de dessalement est due à la sécheresse qui a touché la ville d'Oran ces dernières années ainsi qu'à l'augmentation de la population, qui a engendré une hausse de la demande en eau.

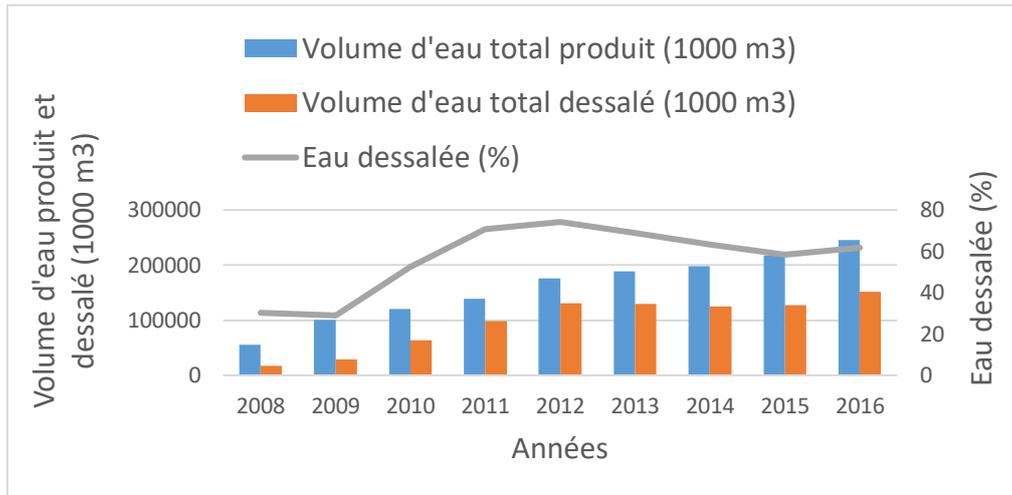


Figure II.5 : Évolution des volumes d'eau produits et dessalés dans la ville d'Oran

### II.3 Évolution de la situation de l'AEP de la ville d'Oran

La figure II.6 présente l'évolution de la situation de l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran sur une période de 16 ans (de 2004 à 2019) est fortement influencée par l'augmentation significative de la population, passée de 1 311 457 à 2 053 205 habitants. Les besoins théoriques en eau ainsi que la production ont augmenté au fil des années. Entre 2004 et 2011, les besoins en eau ont dépassé la capacité de production, tandis qu'à partir de 2012 jusqu'à 2019, la production a commencé à dépasser les besoins en eau, cela peut être le résultat d'efforts de gestion de l'eau dans la ville d'Oran, d'une amélioration de l'efficacité de la distribution de l'eau potable ou d'une augmentation des sources d'approvisionnement en eau.

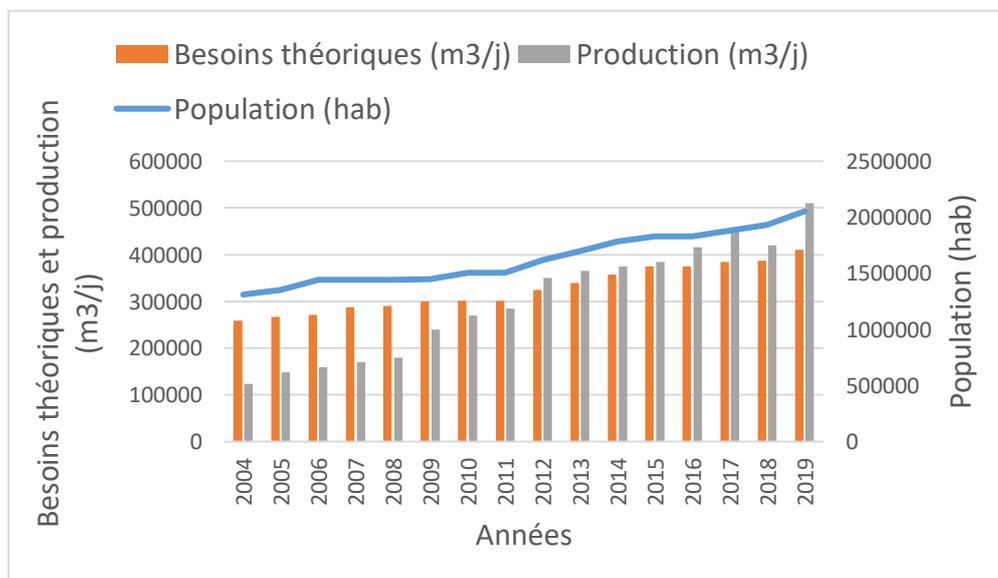


Figure II.6 : Évolution de la situation de l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran

## II.4 Aires de stockage de la ville d'Oran

La ville d'Oran dispose d'une capacité de stockage de 730 000 m<sup>3</sup>, un volume permettant d'assurer une autonomie assez importante et couvrant tout le territoire de la Wilaya [10].

Les aires des stockages sont subdivisées en deux parties :

### II.4.1 Réservoirs de production

Nous dénombrons quatre grands réservoirs dont deux sont considérés comme les poumons du système d'alimentation en eau potable de la Wilaya d'Oran à savoir :

- ✓ Réservoir 4 \* 75 000 m<sup>3</sup> de Belgaid alimenté à partir du transfert Est ;
- ✓ Réservoir 2 \* 50 000 m<sup>3</sup> d'Ain El Beida alimenté à partir du transfert Ouest ;
- ✓ Pour les deux réservoirs restants : il s'agit des réservoirs tampons d'une capacité de 50 000 m<sup>3</sup> chacun : un se trouve à Ain Bia et l'autre à Arraba, tous les deux sont alimentés à partir du transfert Est.

### II.4.2 Réservoirs de distribution

Nous ne citerons que les principaux réservoirs de capacité dépassant les 5 000 m<sup>3</sup> :

- ✓ Réservoir 2 \* 20 000 m<sup>3</sup> de Gambetta ;
- ✓ Réservoir 2 \* 10 000 m<sup>3</sup> d'Ain Beida ;
- ✓ Réservoir 15 000 m<sup>3</sup> d'Eckmühl ;
- ✓ Réservoir 10 000 m<sup>3</sup> de Canastel ;
- ✓ Réservoir 2 \* 5 000 m<sup>3</sup> de Bouamama ;
- ✓ Réservoir 2 \* 5 000 m<sup>3</sup> d'Arzew ;
- ✓ Réservoir 2 \* 5 000 m<sup>3</sup> de Bir El Djir.

## II.5 Conclusion

Le secteur des ressources en eau représente un levier capital pour l'économie nationale. Dans cette optique, la wilaya d'Oran a mis en place un important programme de développement qui se concentre sur plusieurs aspects :

- ❖ Le renforcement de la mobilisation de la ressource en eau ainsi que la révision du programme de répartition pour intégrer les eaux non-conventionnelles dans la balance hydrique. Cela garantit une distribution pérenne de cette ressource à travers le territoire de la wilaya ;
- ❖ La wilaya d'Oran dispose d'un schéma directeur d'alimentation en eau potable assuré par les deux grands transferts Est-Ouest ainsi que la desserte à partir des grands ouvrages de stockage. De plus, un système de sécurisation a été mis en place pour assurer la continuité de l'approvisionnement en eau potable.

**Chapitre III**

**Qualité des eaux brutes  
des barrages alimentant  
la ville d'Oran**

### III.1 Introduction

La pollution des eaux de surface décrit la situation dans laquelle le niveau de contaminants entrave l'utilisation prévue de l'eau [11]. La connaissance de la qualité des eaux de surface est un fondement primordial pour assurer la protection des ressources hydriques naturelles et pour déterminer les sources possibles d'altération de la qualité de l'eau [12]. Les rejets déversés dans les eaux superficielles proviennent des eaux usées domestiques et industrielles ainsi que des activités agricoles [13]. Ces polluants déversés perturbent l'équilibre de l'écosystème et altèrent la qualité de l'eau [11]. L'Algérie, à l'instar d'autres pays en développement, n'est pas à l'abri des problèmes de la pollution des eaux, il est parmi les pays d'Afrique les plus menacés par le fléau de la pollution de ses eaux [14]. La ville d'Oran qui a fait l'objet de cette étude, elle est alimentée à l'est par le barrage Gargar ainsi que le barrage Cheliff MAO et à l'ouest par le barrage Beni Bahdel ainsi que le barrage Hammam Boughrara (Figure III.1). L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux de trois barrages (Gargar, Cheliff MAO et Hammam Boughrara) alimentant la ville d'Oran et de les classer par ordre croissant selon le degré de pollution, c'est-à-dire du barrage le moins pollué au barrage le plus pollué.

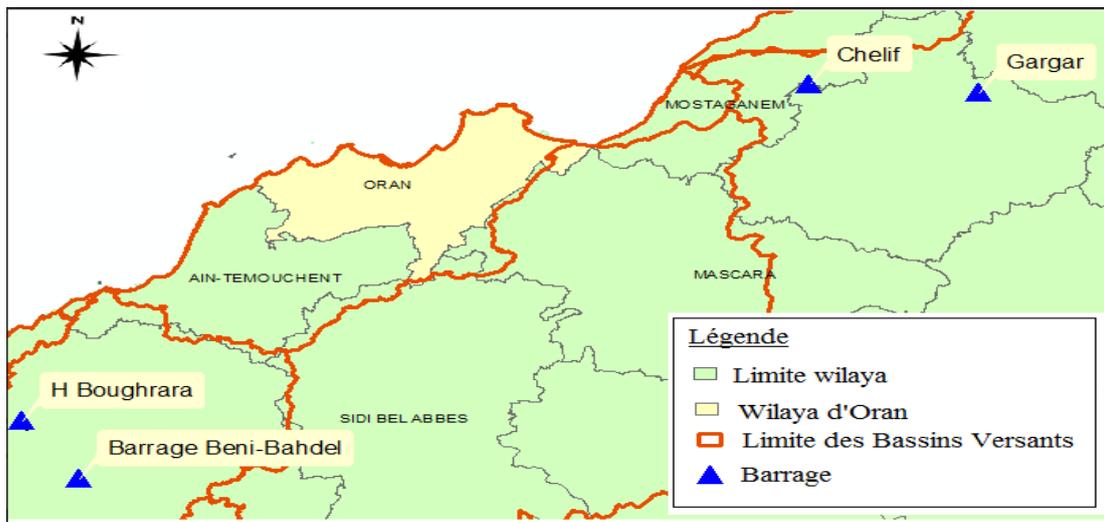


Figure III.1 : Barrages alimentant la ville d'Oran

### III.2 Présentation des barrages

#### III.2.1 Barrage Gargar

Le barrage Gargar est situé dans la wilaya de Relizane, à 5 km au Sud- Ouest de la ville de oued Rhiou et à peu près à 3 km en amont du pont de la route N4 sur l'oued Rhiou. Il est alimenté par un grand nombre d'oueds. Le barrage de Gargar a été implanté sur un substratum constitué de terrains miocènes qui sont, de bas en haut essentiellement gréseux et marneux, et calcaire. Le barrage retient l'oued Rhiou qui s'écoule sensiblement sud-est-nord-ouest depuis

le massif de l'Ouarsenis jusqu'à la plaine de l'oued Chélif qui s'oriente vers l'ouest jusqu'à proximité de Mostaganem où il se jette dans la mer méditerranée. Il est destiné à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable. La plus grande partie des volumes emmagasinés par le barrage sert à l'alimentation de quelques localités de la wilaya de Relizane, Mostaganem et Oran. Le transfert vers Oran, qui s'étend sur près de 170 km, a été inauguré en 2002, pour un volume initial de 100 000 m<sup>3</sup>/j. Il est constitué de deux stations de traitement, de six stations de pompage et de plusieurs tronçons d'adduction [15, 16].

### III.2.1.1 Caractéristiques du barrage Gargar

- **Début de travaux** : juin 1984 ;
- **Fin de travaux** : 17 octobre 1988 ;
- **Mise en eau** : 22 novembre 1988 ;
- **Réception provisoire** : 06 mars 1989 ;
- **Réception définitive** : 16 septembre 1990 ;
- **Type** : Terre zonée ;
- **Longueur en crête** : 400 m ;
- **Largeur à la base** : 480 m ;
- **Largeur en crête** : 10 m ;
- **Hauteur depuis la fondation** : 90 m ;
- **Volume des remblais** : 4 459 000 m<sup>3</sup> ;
- **Superficie totale du bassin versant** : 2900 km<sup>2</sup> ;
- **Capacité initiale du barrage** : 450 millions m<sup>3</sup> ;
- **Taux d'envasement** : 3 %.



Figure III.2 : Barrage Gargar [16]

### III.2.2 Barrage Cheliff

Le barrage Cheliff est situé à 30 Km au Nord-Est de la ville de Mostaganem, cet ouvrage implanté sur l'oued Cheliff, à 500 m en aval de la confluence de l'oued El Kheir et 5 Km en amont du pont de la route N90. Il est destiné à l'alimentation en eau potable du couloir Mostaganem-Arzew-Oran (MAO). La construction de l'ouvrage et son circuit hydraulique ont commencé en mai 2007, il a été réceptionné en Août 2013 [17].

#### III.2.2.1 Caractéristiques du barrage Cheliff

- **Type** : Terre zonée ;
- **Longueur en crête** : 392 m ;
- **Largeur en crête** : 6 m ;
- **Hauteur depuis la fondation** : 43 m ;
- **Capacité totale** : 50 millions m<sup>3</sup> ;
- **Volume utile** : 30 millions m<sup>3</sup> ;
- **Volume mort** : 20 millions m<sup>3</sup> ;
- **Superficie totale du bassin versant** : 44000 km<sup>2</sup> ;
- **Superficie totale du bassin versant à l'aval des barrages existants** : 14000 km<sup>2</sup> ;
- **Débit de la crue déca-millénaire** : 6770 m<sup>3</sup>/s ;
- **Station de pompage** : 12 pompes d'une puissance totale 40 MW et d'un débit nominal 9,5 m<sup>3</sup>/s.

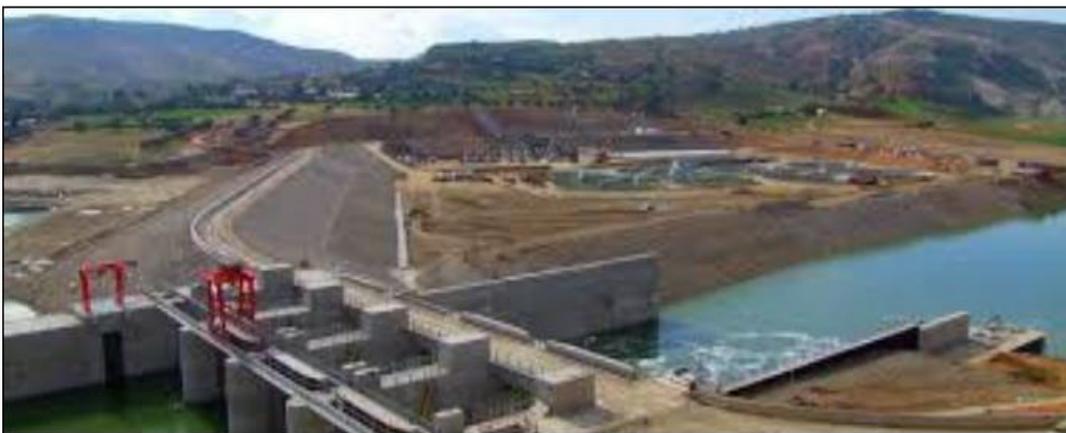


Figure III.3 : Barrage Cheliff [17]

### III.2.3 Barrage Hammam Boughrara

Le barrage Hammam Boughrara, situé à une trentaine de kilomètres de la ville de Tlemcen (Algérie). Le barrage Hammam Boughrara est construit à la confluence des oueds Tafna et Mouillah qui appartiennent au grand bassin versant de la Tafna (7245 Km<sup>2</sup>). Cet

ouvrage important a été construit spécialement pour assurer l'approvisionnement en eau potable des villes d'Oran, d'Ain Timouchent, Maghnia et éventuellement des couloirs Nord-Ouest de la wilaya de Tlemcen. Cet ouvrage desservira également les périmètres d'irrigation de la moyenne et de la basse Tafna [18, 19].

### III.2.3.1 Caractéristiques du barrage Hammam Boughrara

- **Année de construction** : 1994 ;
- **Année de mise en eau** : 1999 ;
- **Oued** : Tafna ;
- **Type** : Terre zonée ;
- **Hauteur depuis la fondation** : 61 m ;
- **Longueur en crête** : 1100 m ;
- **Largeur en crête** : 10 m ;
- **Superficie totale du bassin versant** : 2677 km<sup>2</sup> ;
- **Capacité initiale** : 177 millions m<sup>3</sup> ;
- **Apport moyen annuel** : 71,5 millions m<sup>3</sup> ;
- **Envasement annuel** : 0,43 millions m<sup>3</sup>/an.



**Figure III.4** : Barrage Hammam Boughrara [20]

### III.3 Matériel et méthodes

Les données utilisées dans le cadre de cette étude proviennent des résultats des paramètres physico-chimiques mensuels durant l'année 2019 fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) d'Oran. Les paramètres physico-chimiques étudiés sont : le pH, l'oxygène dissous, l'ammonium, les nitrates, les nitrites, les phosphates, la DBO<sub>5</sub>, et la DCO. L'évaluation de l'état de la qualité des eaux des barrages a été faite par

l'application des indices de la qualité de l'eau à savoir l'Indice de Pollution Organique (IPO), le Lisec-Index, la classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE) ainsi que l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE).

### III.3.1 Indice de Pollution Organique (IPO)

L'indice de pollution organique (IPO) son principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 5 classes, puis de déterminer, à partir de ses propres mesures, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre puis d'en faire la moyenne [21].

IPO = Moyenne des numéros des classes des quatre paramètres [21] :

- IPO = 5 – 4,6 : Pollution organique nulle ;
- IPO = 4,5 – 4 : Pollution organique faible ;
- IPO = 3,9 – 3 : Pollution organique modérée ;
- IPO = 2,9 – 2 : Pollution organique forte ;
- IPO = 1,9 – 1 : Pollution organique très forte.

**Tableau III.1 : Classes de l'IPO [21]**

Paramètres	Unités	Classes				
		5	4	3	2	1
DBO <sub>5</sub>	mg-O <sub>2</sub> /l	<2	2 – 5	5,1 - 10	10,1 – 15	>15
Ammonium	mg-N/l	<0,1	0,1 – 0,9	2,4	2,5 - 6	>6
Phosphates	µg-P/l	15	16 – 75	76 - 250	251 - 900	>900
Nitrites	µg-N/l	5	6 – 10	11 - 50	51 -150	>150

### III.3.2 Lisec-Index

Le principe est le même que celui de l'IPO, mais on calcule la somme des valeurs de classes et non pas la moyenne.

Lisec-Index = somme des numéros de classes [22] :

- Lisec-Index = 4 - < 6 : Très bonne qualité ;
- Lisec-Index = 6 - < 10 : Bonne qualité ;
- Lisec-Index = 10 - < 14 : Qualité moyenne ;
- Lisec-Index = 14 - < 20 : Très mauvaise qualité.

Tableau III.2 : Classes de Lisec-Index [22]

Paramètres	Unités	Classes				
		1	2	3	4	5
Oxygène dissous de saturation	%	91 - 110	71 - 90	51 - 70	31 - 50	<30
DBO <sub>5</sub>	mg-O <sub>2</sub> /l	3	3,1 - 6	6,1 - 9	9,1 - 15	>15
Ammonium	mg-N/l	<0,5	0,5 - 1	1,1 - 2	2,1 - 5	>5
Phosphates	µg-P/l	50	51 - 249	250 - 899	900 - 1499	>1500

### III.3.3 Classification des paramètres par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE)

C'est la même méthode que l'IPO (répartition des valeurs en 5 classes), mais il s'agit d'autres paramètres et d'autres classes.

IHE = Moyenne des numéros des classes des quatre paramètres [22] :

- IHE = 5 – 4,6 : Pollution organique nulle ;
- IHE = 4,5 – 4 : Pollution organique faible ;
- IHE = 3,9 – 3 : Pollution organique modérée ;
- IHE = 2,9 – 2 : Pollution organique forte ;
- IHE = 1,9 – 1 : Pollution organique très forte.

Tableau III.3 : Classes de l'IHE [22]

Paramètres	Unités	Classes				
		5	4	3	2	1
Oxygène dissous de saturation	%	90 - 110	70 - 89	50 - 69	30 - 49	<30
DCO	mg-O <sub>2</sub> /l	5	5,1 - 10	10,1 - 20	20,1 - 50	>50
DBO <sub>5</sub>	mg-O <sub>2</sub> /l	1	1,1 - 3	3,1 - 5	5,1 - 10	>10
Ammonium	mg-N/l	0,05	0,06 – 0,5	0,51 - 1	1,01 - 2	>2
Phosphates	µg-P/l	50	51 - 100	101 - 200	201 - 400	>400

### III.3.4 Indice de Qualité de l'Eau (IQE)

Cinq paramètres importants (pH, DBO<sub>5</sub>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ont été sélectionnés pour calculer l'indice de qualité de l'eau IQE. Cet indice est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes nationales algériennes dans notre cas d'étude. En d'autres termes, l'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (excellente, bonne, mauvaise, très mauvaise, etc.). Cette méthode a été initialement proposée par Horton (1965) et Brown *et al.* (1970). Dans cette étude l'indice IQE a été appliqué pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des eaux de surfaces des trois barrages. Cet indice a été calculé méthode de l'indice arithmétique pondéré. Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif ( $W_i$ ), en suivant la spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante [23] :

$$W_i = \frac{k}{S_i}$$

Avec  $k$  est constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}}$$

Avec  $n$  est le nombre de paramètres et  $S_i$  est la valeur maximale de la norme standard algérienne des eaux de surface de chaque paramètre en (mg/l) sauf pour le pH qui est sans unité.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité ( $Q_i$ ) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme de chaque paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Q_i = \left( \frac{C_i}{S_i} \right) \cdot 100$$

Avec  $Q_i$  est l'échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre et  $C_i$  est la concentration de chaque paramètre (mg/l).

Finalement, l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tableau III.4) :

**Tableau III.4 : Classes de l'IQE [23]**

Classes d'IQE	Type d'eau	Usage possible
0 – 25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>25 – 50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>50 – 75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
>75 – 100	Très mauvaise qualité	Irrigation
>100	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

### III.4 Résultats et discussion

Les résultats de Lisec-Index indiquent que les trois barrages présentent une bonne qualité d'eau, avec une saturation en oxygène très élevée, ceci est en relation avec les grandes surfaces des lacs des barrages qui permettent une meilleure oxygénation du milieu et une absence de pollution en termes de nutriments à savoir l'ammonium et les phosphates, ainsi que de la DBO<sub>5</sub>.

Selon l'IHE, les trois barrages sont classés comme présentant une pollution organique modérée en raison de la présence de certaines substances organiques polluantes dans leurs eaux. Le calcul de l'IPO a révélé que le barrage Gargar possède une pollution organique modérée, tandis que les deux autres barrages indiquent une pollution organique plus élevée. Cette différence peut être attribuée à la forte concentration des nitrites dans les eaux de ces deux barrages, qui est causée par divers facteurs tels que les activités agricoles, les rejets industriels, la pollution urbaine ainsi que les rejets humains.

Selon les résultats fournis par l'IQE, les eaux des barrages Gargar et Cheliff sont classées comme étant de bonne qualité. En revanche, le barrage Hammam Boughrara est classé comme étant de mauvaise qualité. Cette différence de classement peut s'expliquer par le lessivage des terres agricoles environnantes, où l'utilisation d'engrais dans la région peut être une source probable de pollution. De plus, l'oxydation des nitrites par les bactéries de nitrification peut également contribuer à la détérioration de la qualité de l'eau lorsque les eaux usées se mélangent avec celles du cours d'eau.

Tableau III.5 : Résultats de l'IPO

Barrages	Classes des paramètres				Valeur de l'IPO	Classification
	DBO <sub>5</sub>	Ammonium	Phosphates	Nitrites		
Gargar	4	4	3	1	3	Pollution organique modérée
Cheliff	3	4	3	1	2,75	Pollution organique forte
Hamman Boughrara	3	4	3	1	2,75	Pollution organique forte

Tableau III.6 : Résultats de Lisec-Index

Barrages	Classes des paramètres				Valeur de Lisec-Index	Classification
	Oxygène dissous de saturation	DBO <sub>5</sub>	Ammonium	Phosphates		
Gargar	1	2	1	2	6	Bonne qualité
Cheliff	2	2	1	2	7	Bonne qualité
Hamman Boughrara	2	2	1	2	7	Bonne qualité

Tableau III.7 : Résultats de l'IHE

Barrages	Classes des paramètres					Valeur de l'IHE	Classification
	Oxygène dissous de saturation	DCO	DBO <sub>5</sub>	Ammonium	Phosphates		
Gargar	5	2	3	4	4	3,6	Pollution organique modérée
Cheliff	4	2	2	4	4	3,2	Pollution organique modérée
Hamam Boughrara	4	2	2	4	4	3,2	Pollution organique modérée

Tableau III.8 : Récapitulation des résultats des trois premiers indices de qualité

Barrages	Classification des indices		
	Indice de Pollution Organique (IPO)	Lisec-Index	Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (IHE)
Gargar	Pollution organique modérée	Bonne qualité	Pollution organique modérée
Cheliff	Pollution organique forte	Bonne qualité	Pollution organique modérée
Hamam Boughrara	Pollution organique forte	Bonne qualité	Pollution organique modérée

Tableau III.9 : Résultats de Qualité de l'Eau (IQE)

Tableau (a)

Paramètre	$S_i$ (mg/l)	$1/S_i$ (mg/l) <sup>-1</sup>	$W_i$	$C_i$ Gargar (mg/l)	$C_i$ Hammam Boughrara (mg/l)	$C_i$ Cheliff (mg/l)
Nitrates	50	0,02	0,005	5,33	3,5	5,58
pH (-)	8,5	0,12	0,03	8,04	8,14	8,1
Ammonium	0,5	2	0,46	0,25	0,48	0,23
Phosphates	0,5	2	0,46	0,08	0,1	0,1
DBO <sub>5</sub>	5	0,2	0,046	4,98	5,94	5,28
	$\sum_{i=1}^5 S_i$	4,34	$\sum_{i=1}^5 W_i = 1,001$			
	k	0,23				

Tableau (b)

$Q_i$ Gargar	$Q_i$ Hammam Boughrara	$Q_i$ Cheliff	$Q_i \cdot W_i$ Gargar	$Q_i \cdot W_i$ Hammam Boughrara	$Q_i \cdot W_i$ Cheliff
10,66	7	11,16	0,049	0,0322	0,051
94,59	95,76	95,29	2,56	2,59	2,58
50	96	46	23	44,16	21,16
16	20	20	7,36	9,2	9,2
99,6	118,8	105,6	4,5816	5,46	4,86
		$\sum_{i=1}^5 Q_i \cdot W_i$	37,5500824	5	37,85

Tableau (c)

Barrages	Valeur de l'IQE	Classification
Gargar	37,64	Bonne qualité : Usage possible : Eau potable, irrigation ainsi que industrie
Hammam Boughrara	61,59	Mauvaise qualité : Usage possible : irrigation ainsi que industrie
Cheliff	37,94	Bonne qualité : Usage possible : Eau potable, irrigation ainsi que industrie

**III.5 Conclusion**

Les trois barrages alimentant la ville d'Oran ont été classés par ordre croissant de degré de pollution comme suit : le barrage Gargar, le barrage Cheliff, et enfin le barrage Hammam Bouhrara. Nous avons conclu que le cas défavorable est le barrage Hammam Bouhrara, les causes principales de pollution de ses eaux sont liées notamment aux rejets directs des eaux usées dans les oueds alimentant ce barrage et entraînant par la suite le phénomène d'eutrophisation. Les eaux de ces trois barrages devraient être traitées pour avoir usage à l'alimentation en eau potable. L'application des indices de qualité de l'eau sont des outils très pertinents pour pouvoir identifier le degré de pollution des eaux de surface.

**Chapitre IV**

**Qualité des eaux produites  
par les unités de dessalement  
alimentant la ville d'Oran**

## **Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran**

---

### **IV.1 Introduction**

Aujourd'hui, dans de nombreuses régions du monde, les ressources en eau douce pour la production d'eau potable sont inexistantes ou insuffisantes vis-à-vis de la croissance démographique ou de la production industrielle. Par conséquent, des solutions telle que le dessalement d'eau salée, qui représente la très grande majorité de l'eau disponible sur terre devient une solution clé, répondant en outre aux exigences du développement durable. Le dessalement est en passe de devenir une méthode prépondérante pour la production d'eau potable dans les zones de pénurie en eau douce [24]. L'objectif de ce chapitre consiste à évaluer de manière qualitative les eaux de mer traitées provenant de quatre unités de dessalement (station Kahrama, station Chatt El Hillal, station les Dunes, station Mactaa) qui alimentent en eau potable la ville d'Oran. Cette évaluation vise à analyser les performances de fonctionnement de ces stations de dessalement. Les données utilisées dans le cadre de cette étude proviennent des résultats des paramètres organoleptiques et physico-chimiques annuels moyens fournis par les quatre unités de dessalement étudiées pour l'année 2019.

### **IV.2 Généralités sur le dessalement**

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale. Quels que soient les usages, les techniques de dessalement sont actuellement capables de fournir une eau répondant exactement aux critères requis pour leur utilisation : eau potable (eau bactériologiquement irréprochable et légèrement minéralisée), industrie (eau ultra-pure - eau seulement adoucie) et agriculture (eau peu chargée en sel et en microorganismes). Quel que soit le procédé de séparation du sel de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes [25, 26].

#### **IV.2.1 Prise d'eau de mer**

La prise d'eau de mer doit permettre d'obtenir à l'entrée de l'usine de dessalement une eau de la meilleure qualité possible, en particulier du point de vue matières en suspension. Cette prise en compte de la qualité de l'eau est d'autant plus importante que le procédé de dessalement choisi soit l'osmose inverse.

Deux technologies peuvent être utilisées, les forages côtiers et les prises d'eau de surfaces [27] :

- ✓ Les forages côtiers soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettent d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stable (turbidité, température). Cette technique, limitée en débit suivant la nature du terrain est utilisée pour les usines

## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran

---

de capacité inférieure à 40 000 m<sup>3</sup>/jour. L'inconvénient des forages côtiers est leur colmatage éventuel au cours du temps ;

- ✓ La prise d'eau peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégée des pollutions et des forts courants et ne pas être sous l'influence de rejets. La prise d'eau peut être aussi réalisée au moyen d'un chenal d'alimentation. De tels systèmes permettent d'alimenter des installations de grande capacité (> 100 000 m<sup>3</sup>/jour).

### IV.2.2 Poste de Prétraitement

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire, car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au colmatage. Les procédés de prétraitement peuvent être divisés en deux catégories : les prétraitements physiques et les prétraitements chimiques [27].

#### IV.2.2.1 Prétraitements physiques

Les prétraitements physiques incluent le dégrilleur, la clarification (coagulation-floculation), la décantation, la filtration et la microfiltration.

##### IV.2.2.1.1 Filtration mécanique

Pour une alimentation par prise directe en mer, il convient d'éliminer toutes les matières grossières avant qu'elles ne pénètrent dans le système. Pour ce faire, la conduite de prise en mer doit être équipée d'une crépine. Pour ne pas avoir à nettoyer manuellement les crépines, il est préférable de choisir des crépines à fentes, obtenues par enroulement d'un fil de section triangulaire, dont l'angle est orienté vers l'intérieur de la crépine, dans le sens de la filtration, ce qui les rend peu sensibles au colmatage [27, 28].

##### IV.2.2.1.2 Coagulation -floculation

L'opérateur de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement de floccs colloïdaux) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de floccs par agrégation. Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite [29].

##### IV.2.2.1.3 Filtration

La filtration, habituellement procédé suivant les traitements de coagulation-floculation et décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries de la turbidité et de certains goûts et odeurs.

#### IV.2.2.2 Prétraitements chimiques

Les prétraitements chimiques consistent en l'addition d'inhibiteurs d'entartrage, de désinfectants et acidification et injection de séquestrant.

#### IV.2.3 Post de traitement

En générale les étapes de ce post comportent 2 phases principales ajustement de pH pour obtenir une eau équilibrée et la chloration pour désinfecter et éliminer les contaminations afin d'empêcher le développement de maladies hydriques.

#### IV.2.4 Procédé de dessalement : Osmose inverse

Le processus de dessalement par osmose inverse est basé sur l'utilisation de membranes semi-perméables. Ces membranes permettent le passage de l'eau, mais sont imperméables aux sels sous l'action de la pression (54 à 80 bar pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phases [29, 30].

Dans des circonstances normales, lorsqu'une telle membrane est utilisée pour séparer deux solutions à différentes concentration de sel, l'eau passe de la moins concentrée à la plus concentrée en sel. Ce processus, appelé osmose, est un phénomène naturel. Cependant, si l'on exerce une pression suffisante sur la cuve à concentration de sel élevée, il est possible d'inverser la direction de l'eau pure, qui passera du coté le plus sale au coté le moins sale. C'est le principe de l'osmose inverse. La pression à exercer nécessaire pour provoquer cette inversion du flux de l'eau est déterminée par une propriété de la solution appelée pression osmotique et celle-ci augmente à mesure que la salinité de la solution augmente. Pour cette raison, la pression et par conséquent la puissance de pompage nécessaire au dessalement de l'eau de mer est bien plus élevée que celle nécessaire à dessaler l'eau saumâtre. La teneur en sel de l'eau osmosée est de l'ordre de 0,5 g/l [31, 32, 33].

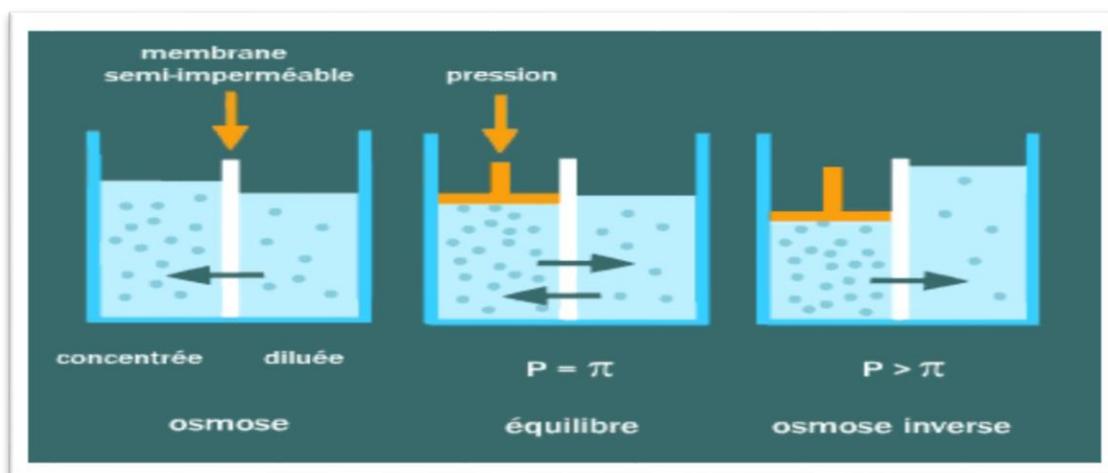


Figure VI.1 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse [28]

## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran

### IV.3 Performances de la qualité de l'eau des unités de dessalement

#### IV.3.1 Paramètres organoleptiques

La couleur n'est pas tolérée pour une bonne eau de consommation. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur sa potabilité, L'odeur et la saveur sont également deux critères de jugement de la qualité d'une eau, Elles sont dues généralement soit à des pollutions soit à la présence d'organismes vivants dans l'eau (algues, produits de décomposition).

La turbidité est la propriété d'une eau d'être d'aspect trouble, c'est un excellent indicateur de traitement global, Il permet d'évaluer rapidement la qualité de l'eau produite, Si la turbidité de l'eau est hors normes, l'action des bactéricides est ralentie, voire annulée. Les colloïdes responsables de la turbidité peuvent protéger les bactéries des oxydants.

Le tableau IV.1 présente les résultats qui correspondent à des mesures de différents paramètres organoleptiques dans quatre unités de dessalement différentes : station Kahrama, station Chatt El Hillal, station les Dunes et station Mactaa. Les résultats montrent que la saveur, l'odeur, la couleur et la turbidité de l'eau dans les quatre stations sont généralement similaires, avec des variations mineures. L'eau potable livrée par ces quatre usines de dessalement est incolore sans odeur ni saveur. Les valeurs de la turbidité sont en dessous de la valeur maximale admissible de 5 NTU.

**Tableau IV.1** : Résultats des paramètres organoleptiques des quatre unités de dessalement

Stations		Station Kahrama	Station Chatt El Hillal	Station les Dunes	Station Mactaa
Paramètre	Unité	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Saveur	Taux de dilution	1	1,5	1	1
Odeur	Taux de dilution	1	1,5	1	1
Couleur	mg/l platine	<5	<5	<5	<5
Turbidité	NTU	0,37	0,825	0,465	0,56

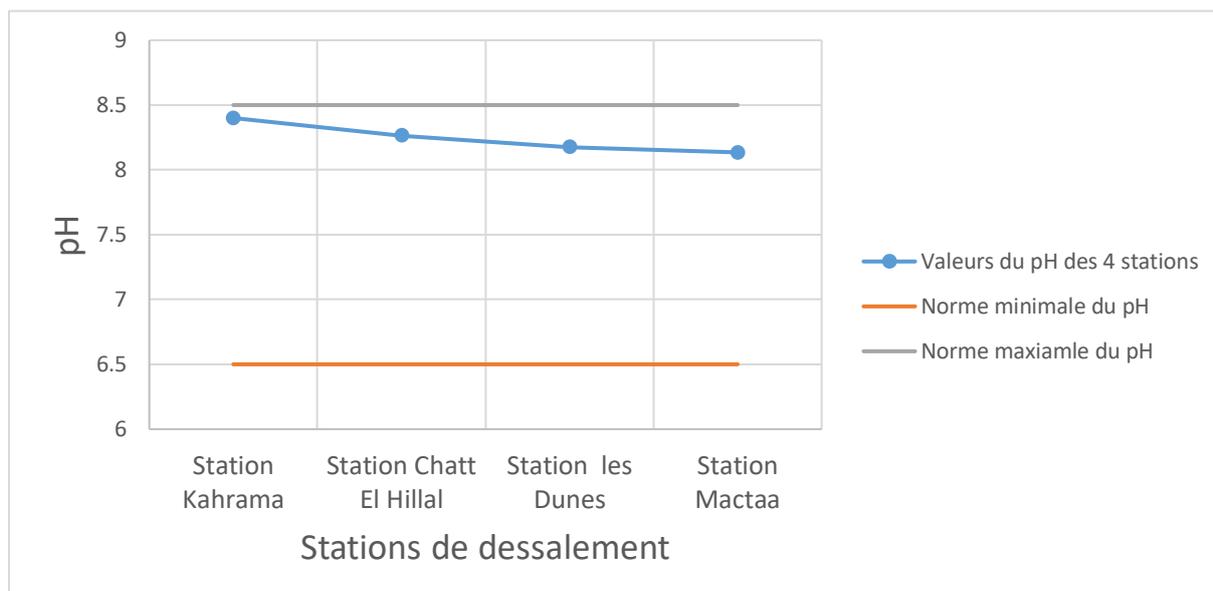
#### IV.3.2 Paramètres physico-chimiques

Une eau potable est celle qui porte une série de qualité physico-chimique non-nuisible à la santé et afin d'évaluer la qualité de l'eau produite au niveau des quatre unités de dessalement, un ensemble de paramètres physico-chimiques a été étudié à savoir le pH, la conductivité, l'alcalinité, la dureté totale, le calcium, le magnésium, le chlore résiduel libre, l'aluminium, les nitrites, l'indice de Langelier, le résidu sec, les ortho-phosphates et le bore.

### IV.3.2.1 pH

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau sur une échelle allant de 0 à 14, où 7 est considéré comme neutre. Des valeurs inférieures à 7 indiquent une acidité croissante, tandis que des valeurs supérieures à 7 indiquent une alcalinité croissante.

La figure IV.2 montre la variation des valeurs du pH de l'eau traitée par les quatre unités de dessalement. Dans ce cas, les valeurs de pH dans les quatre stations sont supérieures à 7, ce qui indique une alcalinité. Toutes les valeurs de pH mesurées sont supérieures à la norme minimale de 6,5, ce qui suggère que l'eau est suffisamment alcaline pour répondre aux exigences minimales. De plus, toutes les valeurs de pH mesurées sont inférieures à la norme maximale de 8,5, ce qui signifie que l'eau ne dépasse pas les limites maximales d'alcalinité. Une augmentation dans la valeur du pH de l'eau traitée au niveau de la station Kahrama a été observée (environ 8.46), cette augmentation est due à la libération d'ion  $\text{OH}^-$  en solution après l'étape de reminéralisation de l'eau.



**Figure IV.2 : pH des quatre unités de dessalement**

### IV.3.2.2 Conductivité

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau. Pour des besoins urgents, elle facilitera l'élimination des eaux de minéralisation trop élevée [33].

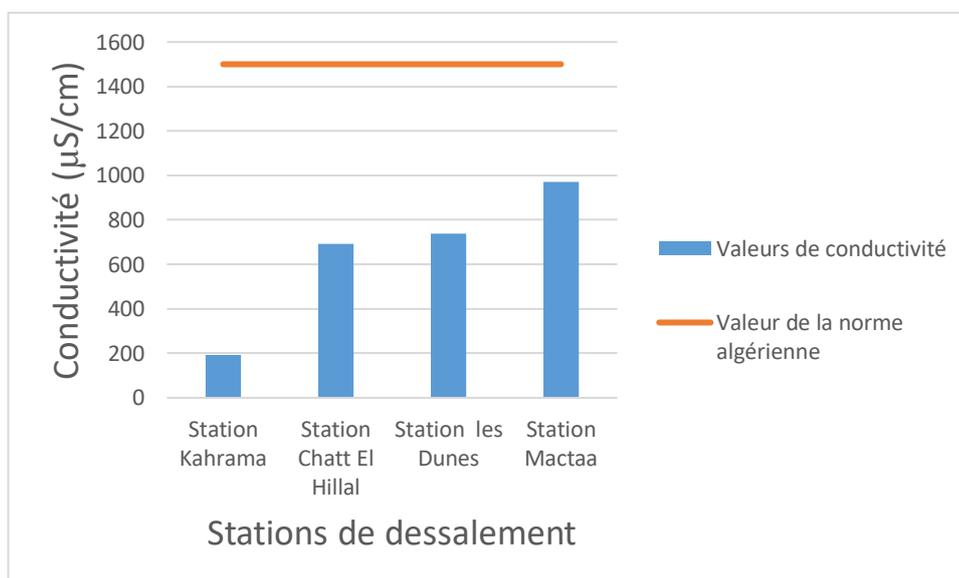
Selon la conductivité, une eau peut être définie comme suite [29] :

- ✓ Eau pure si la conductivité est inférieure à 23  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ;

## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran

- ✓ Eau douce de minéralisation très faible si la conductivité est comprise entre 23 et 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ;
- ✓ Eau douce peu minéralisée si la conductivité est comprise entre 100 et 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ;
- ✓ Eau de minéralisation moyenne si la conductivité est comprise entre 200 et 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ;
- ✓ Eau très minéralisée si la conductivité est comprise entre 500 et 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La figure IV.3 donne la variation de la conductivité de l'eau traitée des quatre unités de dessalement. Les concentrations de la conductivité de l'eau traitée restent comprises entre 192,5 et 971  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui reflète une bonne reminéralisation de l'eau après l'étape d'osmose inverse. Les valeurs de la conductivité pour l'eau traitée sont conformes à la norme algérienne (<1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

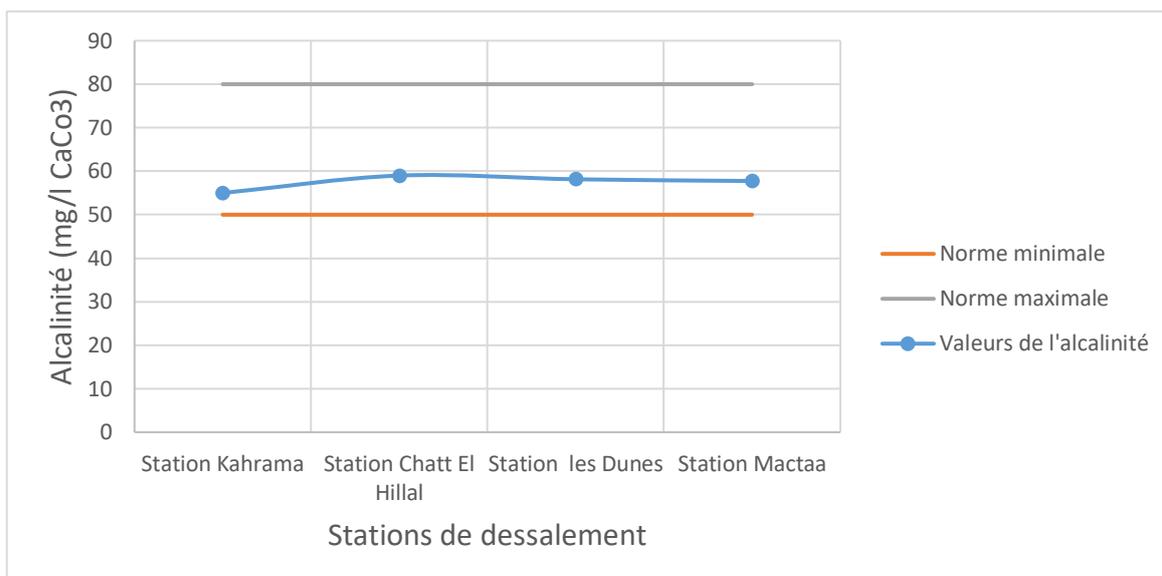


**Figure IV.3 :** Conductivité des quatre unités de dessalement

### IV.3.2.3 Alcalinité

L'alcalinité de l'eau peut être définie comme la capacité de l'eau à neutraliser un acide. La figure IV.4 présente la variation de la concentration de l'alcalinité totale de l'eau traitée des quatre unités de dessalement. L'examen des résultats indiqués sur la figure IV.4 montre que les valeurs de l'alcalinité totale de l'eau traitée se rapprochent et varient de 55 à 59 mg/l. Ces valeurs sont conformes aux normes de l'OMS et à la norme algérienne qui limitent la concentration de l'alcalinité des eaux de consommation de 50 à 80 mg/l en  $\text{CaCO}_3$ .

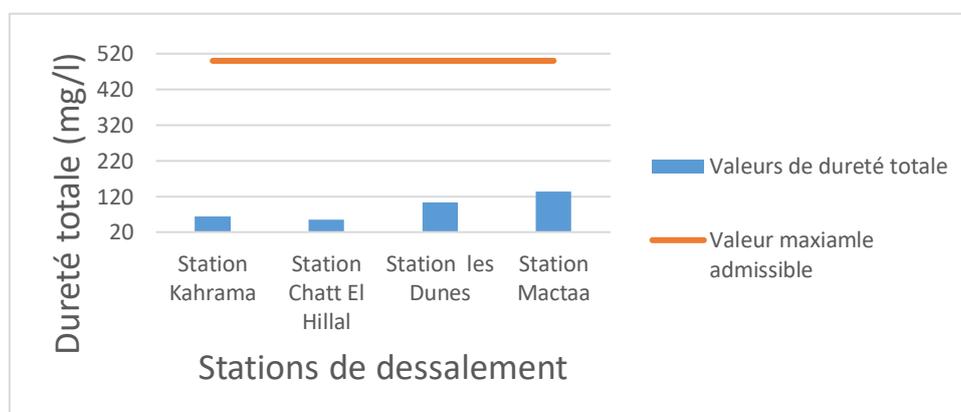
## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran



**Figure IV.4 :** Alcalinité totale des quatre unités de dessalement

### IV.3.2.4 Dureté totale

La dureté de l'eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau, elle est due aux ions de calcium et magnésium. La dureté provient des sels de chaux et de magnésie ; elle provoque des dépôts dans les appareils ménagers qui s'opposent aussi à un bon transfert de la chaleur. Une faible dureté ne permet pas l'élaboration de la couche carbonatée pouvant participer à une protection des canalisations contre certains risques de corrosion, par contre, une dureté élevée constitue un risque important d'entartage des canalisations [28]. D'après les résultats obtenus sur la figure IV.5 montrant la variation de la dureté totale des quatre stations de dessalement, nous constatons que la dureté de l'eau traitée varie de 54,5 à 133,5 mg/l, ce qui signifie que l'eau traitée est de nature douce, ces valeurs sont en accord avec la réglementation algérienne qui préconise une valeur maximale admissible de 500 mg/l.



**Figure IV.5 :** Dureté totale des quatre unités de dessalement

## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran

### IV.3.2.5 Calcium et magnésium

Une concentration élevée en calcium et en magnésium dans l'eau ne présente aucun danger pour la santé. La figure IV.6 montre la variation de la concentration en calcium et en magnésium pour l'eau traitée des quatre unités de dessalement. D'après les résultats obtenus pour l'eau traitée, les teneurs en calcium restent sous la valeur guide (75 mg/l) et la valeur maximale (200 mg/l) de la réglementation algérienne et les teneurs en magnésium sont très faibles et sont en accord avec les normes algériennes qui fixent 150 mg/l comme valeur maximale.

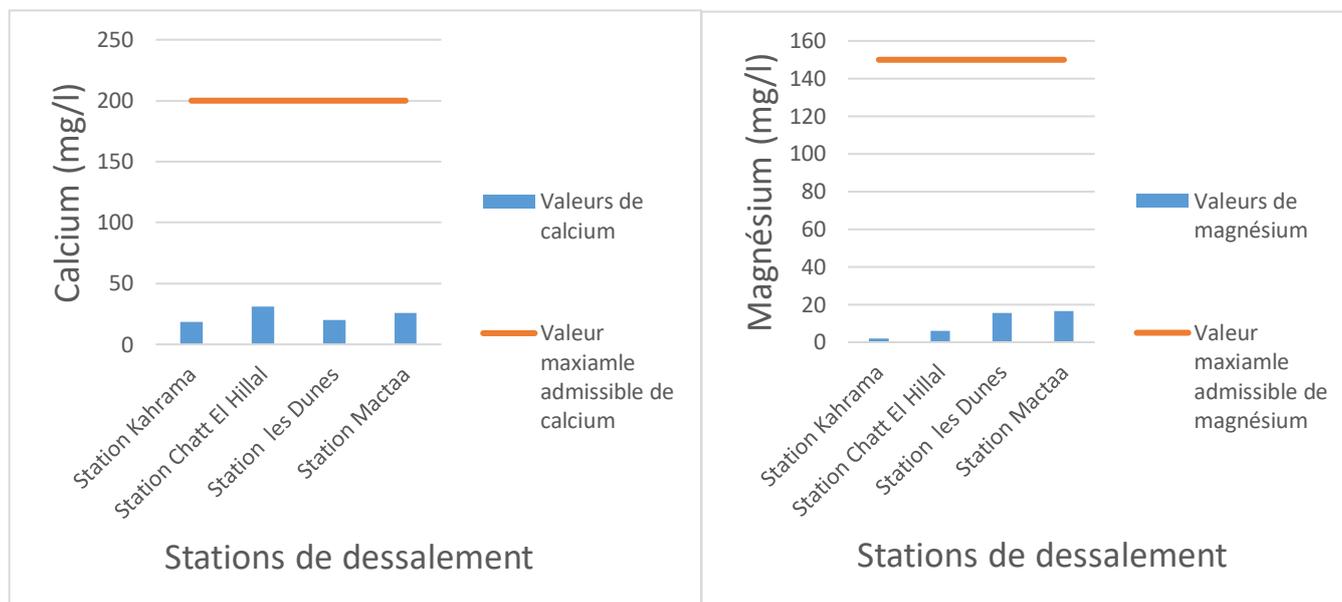


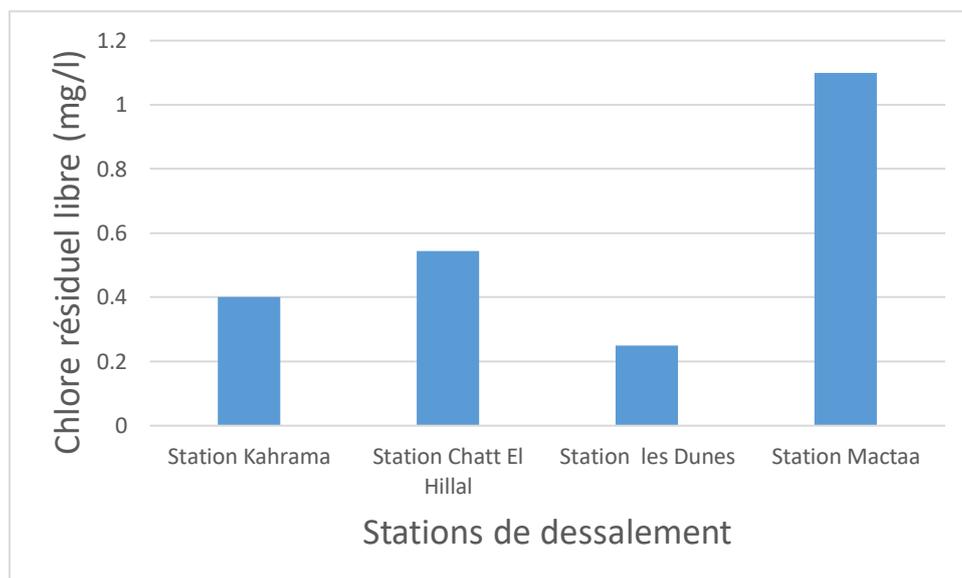
Figure IV.6 : Calcium et magnésium des quatre unités de dessalement

### IV.3.2.6 Chlore résiduel libre

Le chlore libre est un paramètre indicateur de la concentration en désinfectant (biocide) nécessaire pour maintenir l'eau sans micro-organismes pathogènes. La Figure IV.7 montre la variation de la concentration en chlore résiduel pour l'eau traitée des quatre unités de dessalement. L'analyse de cette figure montre que les teneurs en chlore résiduel varient de 0,25 à 1,1 mg/l. Les résultats montrent une variation de la concentration du chlore résiduel libre dans l'eau des différentes stations. La station Mactaa présente la concentration la plus élevée, tandis que la station Kahrama et la station les Dunes ont des concentrations plus faibles. La concentration du chlore résiduel permet d'assurer une potabilité biologique de l'eau produite jusqu'au le château d'eau afin de la protéger contre de nouvelles contaminations ultérieures au

## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran

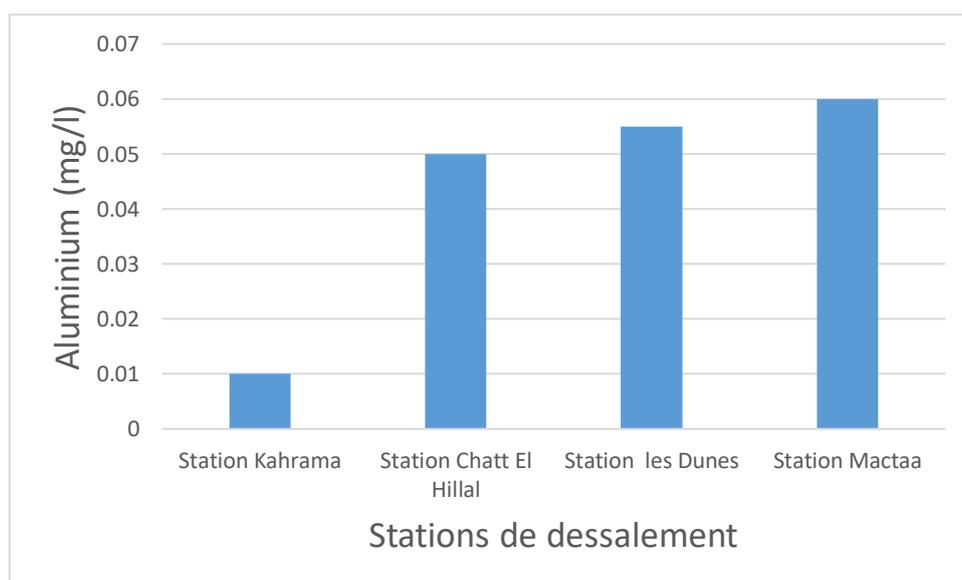
cours de son trajet, ce qui confirme que cette eau est de bonne qualité et exempte de tout germe pathogène



**Figure IV.7 :** Chlore résiduel libre des quatre unités de dessalement

### IV.3.2.7 Aluminium

L'aluminium est l'un des métaux les plus utilisés, il est présent dans tous les sols et peut donc se retrouver naturellement dans l'eau. D'après la figure IV.8, nous remarquons une concentration très faible d'aluminium dans l'eau traitée pour les quatre unités de dessalement, l'absence de ces ions dans l'eau traitée est due à sa filtration par les modules d'osmose inverse. Ces résultats sont en accord avec les normes algériennes qui fixent 0,2 mg/l comme valeur maximale.



**Figure IV.8 :** Aluminium des quatre unités de dessalement

## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran

### IV.3.2.8 Nitrites

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal. D'après les résultats de la figure IV.9, la concentration des nitrites dans l'eau traitée est quasi nulle pour les quatre unités de dessalement. Ceci montre l'efficacité de traitement de l'eau par le dessalement. Les valeurs en nitrites des quatre stations sont en accord avec la réglementation algérienne qui préconise une valeur maximale de 0,2 mg/l.

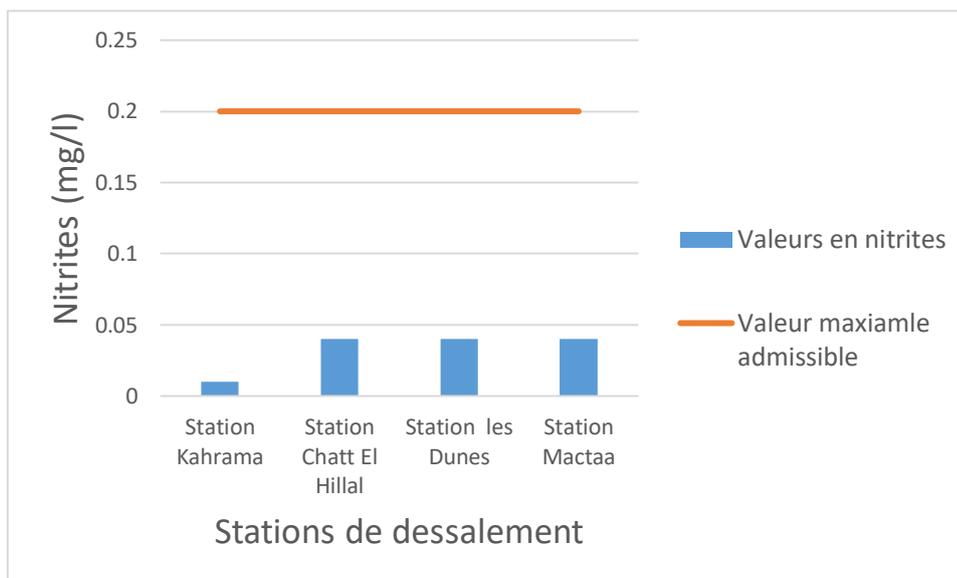
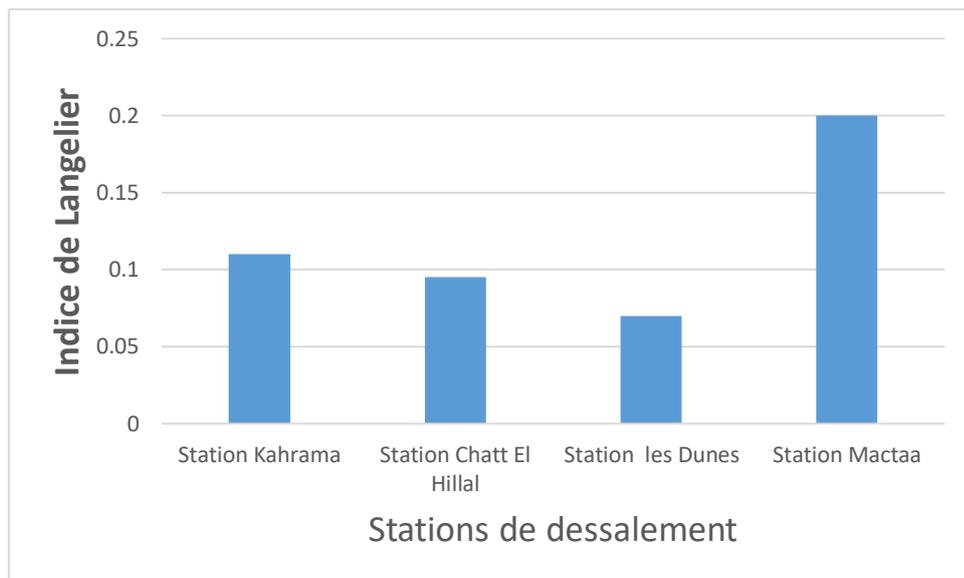


Figure IV.9 : Nitrites des quatre unités de dessalement

### IV.3.2.9 Indice de Langelier

L'indice de Langelier est une évaluation globale de la qualité de l'eau pour déterminer si cette dernière est corrosive ou si elle est entartrante (tendance à précipiter le carbonate de calcium). La figure IV.10 représente l'évolution de l'indice de Langelier de l'eau traitée des quatre unités de dessalement. Les valeurs de l'indice de Langelier présentent un bon équilibre chimique, ces valeurs sont comprises entre 0,07 et 0,2, y a aucune norme qui fixe la valeur limite de ce paramètre.

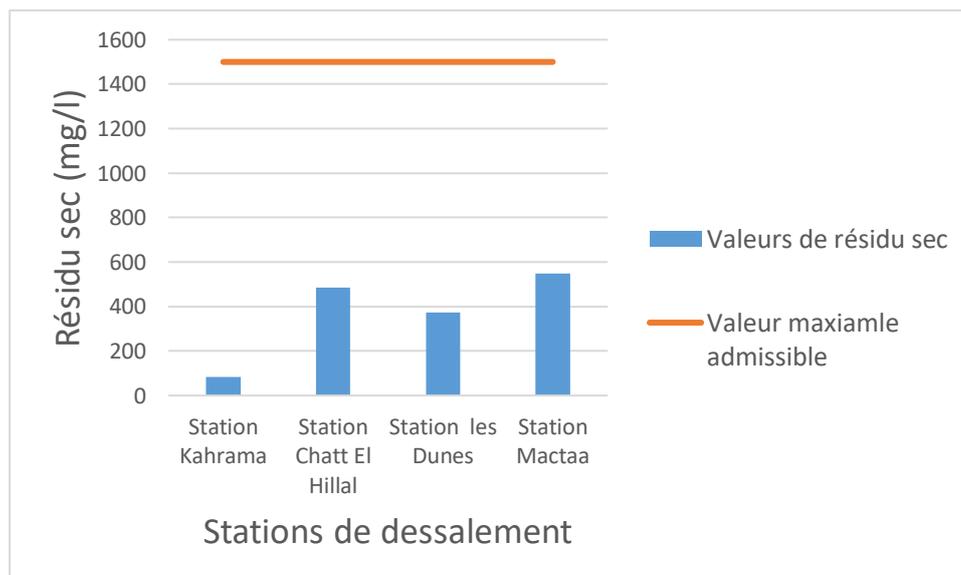
## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran



**Figure IV.10 :** Indice de Langelier des quatre unités de dessalement

### IV.3.2.10 Résidu sec

Le résidu sec (Rs) est une mesure de la quantité de matières solides dissoutes dans l'eau. La figure IV.11 présente les résultats des valeurs du résidu sec mesurées dans les quatre unités de dessalement. Il est clair que toutes les stations étudiées ont des niveaux de résidu sec inférieurs à la valeur maximale admissible de 1500. Cependant, la station Mactaa présente la concentration la plus élevée parmi les stations étudiées. Il convient de surveiller attentivement les niveaux de résidu sec dans toutes les stations pour garantir le respect des normes de qualité de l'eau.



**Figure IV.11 :** Résidu sec des quatre unités de dessalement

## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran

---

### IV.3.2.11 Ortho-phosphates

La présence des ions d'ortho-phosphates dans les eaux naturelles peut provenir, en plus de la dégradation de la matière organique, de la nature des terrains traversés. D'après le tableau IV.2 montrant les résultats des teneurs en ortho-phosphates des quatre stations de dessalement, nous constatons que la teneur en ortho-phosphates de l'eau traitée ces unités de dessalement est inférieure à 0,05 mg/l, elle est presque négligeable. Vu que les phosphates représentent un paramètre de pollution, cette absence nous indique d'une part l'absence de pollution organique, et d'autre part, elle confirme qu'il y a une bonne désinfection, c'est-à-dire, une destruction des germes pathogènes. Ces résultats sont conformes à la norme algérienne, dont la concentration maximale admissible est respectivement inférieurs à 5 mg/l.

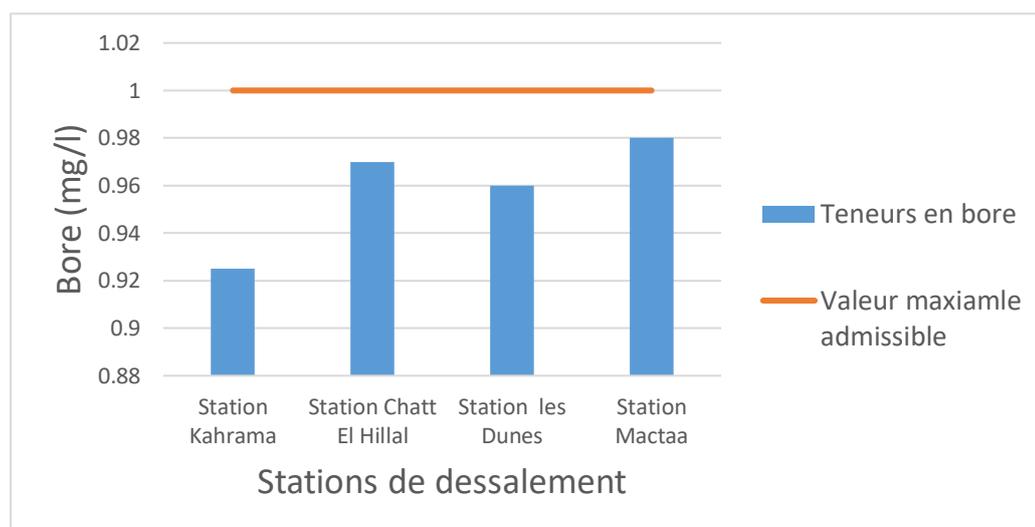
**Tableau IV.2 :** Teneurs en ortho-phosphates des quatre unités de dessalement

Stations de dessalement	Teneurs en ortho-phosphates (mg/l)
Station Kahrama	0,01
Station Chatt El Hillal	< 0,05
Station les Dunes	< 0,05
Station Mactaa	< 0,05

### IV.3.2.12 Bore

Le bore est un élément chimique qui peut être présent naturellement dans l'eau et peut provenir de sources industrielles ou agricoles. La particularité de l'eau potable issue du dessalement est qu'elle peut contenir du bore qui est présent dans l'eau de mer à des teneurs de 5 mg/l [33]. A cet effet, les procédés de dessalement de l'eau de mer sont conçus de telle sorte à avoir une eau potable avec des teneurs en bore inférieur à 1 mg/l. La figure IV.12 montre les valeurs des teneurs en bore dans l'eau potable issue des quatre stations de dessalement. Toutes les stations étudiées ont des teneurs en bore qui se situent dans une plage acceptable et qui sont tous inférieurs à 1 mg/l.

## Chapitre IV Qualité des eaux produites par les unités de dessalement alimentant la ville d'Oran



**Figure IV.12 :** Bore des quatre unités de dessalement

### IV.4 Conclusion

Les résultats de l'étude des paramètres organoleptiques et physico-chimiques ont démontré que les quatre stations de dessalement qui approvisionnent la ville d'Oran fonctionnent correctement et que l'eau produite (eau de mer traitée) à la sortie de ces stations est douce, de bonne qualité et conforme aux normes de potabilité pour l'année 2019 et cela s'est expliqué par :

- Le bon fonctionnement des installations de ces stations ;
- L'efficacité du système d'osmose inverse et de prétraitement ;
- La bonne gestion des stations ;
- Le nettoyage et l'entretien permanent des installations (filtre à sable, filtre à cartouche et module d'osmose inverse) ;
- Les bonnes conditions opérationnelles des installations ;
- Le suivi régulier des installations.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

L'Algérie à l'instar d'autres pays s'est trouvée confrontée à la problématique de l'eau. Le manque et la rareté des pluies ainsi que leur fréquence disparate et irrégulière lié à des facteurs environnementaux, géographiques et surtout d'ordre climatique, pénalisent la politique hydraulique entreprise par l'état qui était jusqu'au début des années 2000 axée sur la mobilisation de ces ressources naturelles par voie de captage.

La région côtière ouest de l'Algérie qui accuse un déficit alarmant en matière d'eau est presque condamnée à puiser son eau de la mer, du fait que la sécheresse qui guette cette région est devenue chronique. Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau qui touche l'ensemble du pays, le secteur de l'eau a fait l'objet d'une attention particulière de la part des pouvoirs publics qui lui consacrent des moyens de plus en plus importants. La construction de nouveaux barrages, la réalisation de grands transferts régionaux et de grandes adductions urbaines et agricoles, des usines de dessalement ont permis d'augmenter nettement le volume des ressources en eau mobilisées et d'améliorer les conditions d'approvisionnement des régions et des agglomérations déficitaires.

Les sources alimentant l'AEP de la wilaya d'Oran sont passées de quatre sources en 2005 à neuf sources en 2016, dont trois sont issues des unités de dessalement (Kahrama, Chatt El Hillal et Magtaa), ainsi que l'usine de dessalement de l'eau de saumâtre de Bredeah, fournissent une quantité importante de ressources. Pendant une décennie (2006-2016), les ressources provenant du dessalement de l'eau de mer ont représenté en moyenne 60 % de toutes les ressources utilisées par la SEOR. Cependant, la contribution annuelle du dessalement a changé en fonction de la disponibilité d'autres ressources. Cette ressource a joué un rôle important en période de pénurie, mais aussi dans des situations d'exploitation inhabituelles. De plus, les scénarios de changements climatiques futurs pourraient accroître la demande en eau.

Ce travail vise à étudier les améliorations apportées à l'approvisionnement en eau potable de la ville d'Oran, tant du point de vue qualitatif, en utilisant une approche de gestion intégrée des ressources, cela inclut l'étude des ressources conventionnelles (eaux brutes des barrages), ainsi que des ressources non-conventionnelles (stations de dessalement d'eau de mer).

L'évaluation de la qualité des eaux brutes provenant des trois barrages qui alimentent la ville d'Oran a révélé une mauvaise qualité de ces réservoirs en termes de pollution. L'utilisation des indices de classification de la qualité des eaux de surface est un outil pratique pour identifier le degré de contamination des eaux provenant de sources superficielles.

Par conséquent, il est impératif de traiter adéquatement les eaux de ces barrages et de les distribuer aux consommateurs en mettant en place des mesures de suivi beaucoup plus strictes.

En général, les résultats de l'évaluation de la qualité de l'eau provenant des unités de dessalement qui alimentent le réseau d'approvisionnement en eau potable d'Oran sont très positifs. L'eau est limpide, sans odeur ni goût perceptible, et la turbidité est bien en dessous de la valeur maximale admissible de 5 NTU. De plus, tous les paramètres physico-chimiques respectent largement les normes recommandées en Algérie pour l'eau potable destinée à la consommation.

Les résultats de cette étude démontrent clairement l'efficacité des stations de dessalement d'eau de mer qui approvisionnent la ville d'Oran en eau douce. Non seulement elles parviennent à produire une quantité suffisante d'eau douce, mais elles garantissent également une excellente qualité de l'eau, ce qui confirme la fiabilité de ces structures. Le bon fonctionnement des installations, l'efficacité du système d'osmose inverse et de prétraitement, ainsi que la gestion adéquate de ces stations, soulignent l'intérêt de leur implantation dans la ville d'Oran pour résoudre les problèmes de pénurie d'eau dans cette région.

En plus de l'analyse des paramètres organoleptiques et physico-chimiques des eaux de mer traitées, il est recommandé de réaliser des études complémentaires sur les paramètres bactériologiques des eaux de mer traitées ainsi que sur la qualité des eaux souterraines. Ces études n'ont pas pu être effectuées en raison du manque de données disponibles.

## **Références Bibliographiques**

- [1] BOUKLIA-HASSANE, Rachid. Contribution à la gestion de l'eau dans la ville d'Oran. 2011. Thèse de doctorat. USTO.
- [2] Djouadi Amel. Etude quantitative et qualitative des pluies à Oran. 2015. Thèse de magister. USTO.
- [3] Bendjelid, A. (2009). Principaux résultats de l'exploitation exhaustive (du recensement général de la population et de l'habitat de 2008) Données statistiques, n° 527, 28 pages par wilaya, Office national des statistiques, Alger, 2009. *Insaniyat. Revue algérienne d'anthropologie et de sciences sociales*, (46), 91-92.
- [4] Rapport de DRE (Direction des Ressources en Eau), 2008.
- [5] Meddi, H., & Meddi, M. (2009). Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 20(1), 57-65.
- [6] Rapport de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), 2011.
- [7] SAHLI CHAIMAA NOUR EL HOUDA & MAKRIA FATIMA ZOHRA. Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines dans différentes régions d'Oran. 2021. Mémoire de Master. USTO.
- [8] Rapport de l'ABH (Agence des Bassins Hydrographiques), 2020.
- [9] Rapport de DRE (Direction des Ressources en Eau), 2019.
- [10] Rapport de SEOR (Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran), 2018.
- [11] Kambole, M. S. (2003). Managing the water quality of the Kafue River. *Physics and Chemistry of the Earth, parts A/B/C*, 28(20-27), 1105-1109.

- [12] He, T., Lu, Y., Cui, Y., Luo, Y., Wang, M., Meng, W., Zhao, F. (2015). Detecting gradual and abrupt changes in water quality time series in response to regional payment programs for watershed services in an agricultural area. *Journal of Hydrology*, 525, 457-471.
- [13] Luo, Z., Shao, Q., Zuo, Q., & Cui, Y. (2020). Impact of land use and urbanization on river water quality and ecology in a dam dominated basin. *Journal of Hydrology*, 584, 124655.
- [14] Remini, B., Leduc, C., Hallouche, W. (2009). Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. *Revue Sécheresse*, 1(20), 1-8.
- [15] GARGAR, B., EL GHERZA, O. E. F. (2016). PERTE DE CAPACITE DANS LES BARRAGES SITUES DANS LES ZONES ARIDES ET SEMI ARIDES. CAS DES BARRAGES DE. *Larhyss Journal*, (25), 183-201.
- [16] BELKHIRA Souhila & SAHNOUNE Halima. Etude de l'impact d'inondation en cas de rupture d'un mur de barrage (Cas de barrage Gargar). 2017. Mémoire de Master. USTO.
- [17] Cherief Abdelillah & Khedimallah Lakhdar. Étude de protection contre les inondations des agglomérations qui se situent en aval du barrage de Chellif (W. Mostaganem). 2019. Mémoire de Master. USTO.
- [18] DJELITA, B., NEHAR, K., & BOUZID-LAGHA, S. (2015). Mécanismes d'eutrophisation dans le barrage de Hammam Boughrara, Algérie: Apports en nutriments et dynamique des populations phytoplanctoniques. *Geo-Eco-Trop*, 39, 101-118.
- [19] Bouzid-Lagha, S., & Djelita, B. (2012). Etude du phénomène d'eutrophisation dans le Barrage de Hammam Boughrara (Wilaya de Tlemcen, Algérie). *Hydrological sciences journal*, 57(1), 186-201.
- [20] Rapport de l'ABH (Agence des Bassins Hydrographiques), 2019.

- [21] Bahroun, S. O. F. I. A., & Bousnoubra, H. K. (2011). Évaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'El Tarf (Nord-Est Algérien). *LARHYSS Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (9).
- [22] ALLAOUA NOUA. Evaluation de la qualité des écosystèmes. (2020). Polycoié de cours. Université Larbi Ben M'hidi -Oum El Bouaghi.
- [23] Bekri, M. H., El Hmaidi, A., Jaddi, H., Kasse, Z., El Mati, F., Essahlaoui, A., & El Ouali, A. (2020). Utilisation des indices de qualité et de pollution organique dans l'évaluation de la qualité physicochimique des eaux superficielles des oueds Moulouya et Ansegmir (Haute Moulouya, NE du Maroc). *European Scientific Journal*, 16(27), 55-75.
- [24] Tansakul C. Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse. (2009). Thèse de doctorat, Délivré par INSA Toulouse, unité de recherche : LISBP.
- [25] Bandahmane I, Zebbar M. L'évaluation des performances d'osmose inverse membranaires. (2019). Mémoire master, université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.
- [26] Ahmouda I, Biaa H. Traitement des rejets de dessalement de l'eau de mer cas de « les dunes » Oran. (2015). Mémoire de master, université Larbi Tebessi Tebessa.
- [27] Boukellal I, Abdelghani H. Etude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station de cap djinet de la wilaya de boumerdes. (2015). Mémoire de master, université Abderrahmane Mira Bejaïa.
- [28] Bouchakour N, Sadok A. Impact environnemental de la station de dessalement de l'eau de mer de Ténès (wilaya de Chlef). (2017). Mémoire de master, université Abderrahmane Mira Bejaïa.
- [29] Maurel A. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. (2006). 2ème éd Tec et Doc, Lavoisier, Paris.

[30] Idir S. Qualité microbiologique de l'eau de source « Mont Djurdjura » Bouira. (2019). Mémoire de master, Université Abderrahmane Mira Bejaïa.

[31] Kettab A Bessenasse M. Dessalement d'eau de mer : option incontournable pour l'Algérie. (2020).

[32] Maiga A S. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière. (2005). Thèse doctorat en pharmacie.

[33] Renaudin V. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. (2003). CNRS, Nancy.