



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université Echahid Hamma Lakdhar- EL OUED**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Biologie**

En vue de l'obtention du diplôme de Master Spécialité :  
Biodiversité et Environnement

**THÈME**

**Étude comparative des caractéristiques hydrogéochimiques des  
eaux de la nappe profonde.**

**Présenté par l'étudiante :**

**Maioua Fatiha**

**Devant le jury composé de :**

<b>Président</b>	khezzani Bachir	<b>Pr</b>	<b>Université d'El Oued</b>
<b>Examineur</b>	Gahtar Abdelouahab	<b>MCA</b>	<b>Université d'El Oued</b>
<b>Promotrice</b>	Serraye Aicha	<b>MCB</b>	<b>Université d'El Oued</b>

**Soutenu le : 09/10/2025**

**Année universitaire :2024/2025**

## RÉSUMÉ

La région d'El-Oued au sud d'Algérie est caractérisée par la superposition de trois couches aquifères, il s'agit de haut en bas, de l'aquifère superficiel, l'aquifère de complexe terminal (CT) et l'aquifère de continental intercalaire (CI).

Le continental intercalaire semble constituer le réservoir le plus prometteur en eaux thermales en Algérie, est logé dans les formations continentales du crétacé inférieur a une grande profondeur a été mise en exploitation dans le Sud Algérien pour l'approvisionnement en eau d'alimentation publique et agricole. Mais son exploitation dans la région d'El-Oued au cours des dernières années a été rencontré plusieurs problèmes.

L'étude proposée a pour objet, l'estimation de l'état actuel de la qualité des eaux souterraines plus profondes dans la région d'El-Oued, et l'étude physico-chimique des eaux de la nappe de continentale intercalaire pour savoir si elle est convenable pour les fins d'irrigation. À cette fin, on a fait des analyses sur les eaux de cette nappe, nos résultats montre que ces eaux géothermales d'El-Oued sont chaudes (température autour de 58°C et ont grande dureté (TH de l'ordre de 900°F) a pour conséquence l'entartrage rapide des conduites de distribution.

En référence aux normes algériennes des eaux potables, les eaux de CI sont caractérisées fortement minéralisées. Quant à sa qualité pour l'irrigation, elles s'arrangent dans la classe des eaux médiocres à mauvaises.

**Mots clés :** Continental intercalaire, ressource, El-Oued, gestion, exploitation.

## **SUMMARIZE**

The region of El-Oued in the south of Algeria is characterized by the superposition of three aquifer layers, it is from top to bottom, the superficial aquifer, the terminal complex aquifer (CT) and the intercontinental aquifer (CI).

The continental intercalary seems to constitute the most promising reservoir in thermal waters in Algeria, is housed in the continental formations of the Lower Cretaceous at a great depth has been put into operation in southern Algeria for the supply of public and agricultural water. But its operation in the region of El-Oued in recent years has encountered several problems.

The purpose of the proposed study is to estimate the current state of the quality of deeper groundwater in the region of El-Oued, and the physico-chemical study of the waters of the intercontinental aquifer to determine if it is suitable for irrigation purposes. To this end, we have conducted analyses on the waters of this aquifer; our results show that these geothermal waters of El-Oued are warm (temperature around 58°C) and have a high hardness (TH of about 900°F), which results in rapid scaling of the distribution pipes.

In reference to the Algerian standards for drinking water, the waters of CI are characterized as highly mineralized. As for its quality for irrigation, they rank in the class of poor to bad waters.

**Keywords:** Continental intercalaire, resource, El-Oued, management, exploitation.

## ملخص

تتميز منطقة الواد في جنوب الجزائر بتراكب ثلاث طبقات من المياه الجوفية، وهي من الأعلى إلى الأسفل، طبقة المياه الجوفية السطحية، طبقة المائية للمجمع النهائي وطبقة المياه الجوفية للحوض القاري الداخلي .

وتشكل طبقة المياه الجوفية للحوض القاري الداخلي الخزان الواعد للمياه الحرارية في الجزائر، ويقع في التكوينات القارية للعصر الطباشيري السفلي على عمق كبير، وقد تم استغلاله في جنوب الجزائر من اجل توفير المياه وخصوصا للأغراض الزراعية. لكن استغلالها في منطقة الوادي في السنوات الأخيرة يواجه العديد من المشاكل.

الغرض من الدراسة المقترحة هو تقدير الوضع الحالي لجودة المياه الجوفية العميقة في منطقة الوادي، والدراسة الفيزيائية والكيميائية لمياه طبقة المياه الجوفية للحوض القاري الداخلي لتحديد ما إذا كانت مناسبة لأغراض الري. ولتحقيق هذه الغاية، أجرينا تحليلات على مياه هذه الطبقة؛ وأظهرت نتائجنا أن هذه المياه جد ساخنة (درجة الحرارة حوالي 58 درجة مئوية) ولها صلابة عالية حوالي 900 فهرنهايت، مما يؤدي إلى اهتراء سريع في أنابيب توزيع هاته المياه.

وباتباع المعايير الجزائرية لمياه الشرب، تتميز مياه هاته الطبقة بأنها عالية التمعدن. أما بالنسبة لجودتها للري فهي تصنف ضمن فئة المياه الرديئة إلى السيئة.

**الكلمات المفتاحية:** المياه الجوفية للحوض القاري الداخلي، الموارد، الوادي، الإدارة، الاستغلال.

## **Dédicace**

Je dédie ce travail modeste à mes chers parents, source d'amour et de sagesse, à mon mari et à mes enfants, prunelles de mes yeux, pour leur patience et leur soutien.

À mon cher frère Jamal, qui m'a encouragée à poursuivre mes études, à ma sœur Fatima, pour son aide précieuse dans la finalisation de ce mémoire, à toutes mes sœurs, ainsi qu'à mes oncles maternels et paternels.

J'exprime également ma profonde affection à la famille de mon mari, à ma chère amie Marwa, et à toutes mes amies qui m'ont soutenue et accompagnée tout au long de cette année universitaire.

Merci du fond du cœur.

## **Remerciement**

Tout d'abord, je remercie Mme le Dr. Serraye Aicha, mon encadrante, pour m'avoir accordé l'opportunité de réaliser ce mémoire de master et pour m'avoir accompagnée tout au long de son élaboration.

Je remercie également le président du jury, le Professeur Khezzani Bachir, ainsi que l'examineur, Dr. Gahtar Abdel Ouaheb, pour avoir accepté d'évaluer et d'examiner mon travail scientifique.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à tous les collègues de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université d'El-Oued pour leur soutien et leurs encouragements.

Je suis profondément reconnaissante envers les laboratoires d'analyse de la station de dessalement et l'Algérienne des Eaux d'El-Oued, pour leur précieuse aide lors des prélèvements et de la réalisation des analyses.

## Table des matières

<b>RÉSUME</b> .....	<b>II</b>
<b>Remerciement</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>X</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>XI</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>2</b>
<b>Partie bibliographique</b> .....	<b>4</b>
<b>Chapitre 1 : Généralités sur l'état actuel de ressource en eau</b> .....	<b>5</b>
<b>Introduction partielle</b> .....	<b>6</b>
<b>1- État général des ressources en eau</b> .....	<b>6</b>
<b>1-1- Cycle de l'eau</b> .....	<b>6</b>
• Évapotranspiration.....	<b>6</b>
• Précipitations .....	<b>7</b>
• Ruissellement.....	<b>7</b>
• Infiltration .....	<b>7</b>
<b>1-2- Types des eaux conventionnelles</b> .....	<b>8</b>
<b>1-2-1-Eaux superficielles</b> .....	<b>8</b>
<b>1-2-2-Eaux souterraines</b> .....	<b>11</b>
<b>1-3-Distribution de l'eau au niveau mondiale</b> .....	<b>14</b>
<b>1-4-Distribution de l'eau au niveau nationale</b> .....	<b>16</b>
<b>2- Problématique et déficit de l'eau en Algérie</b> .....	<b>17</b>
<b>2-2-Relation entre l'eau et le changement climatique</b> .....	<b>18</b>
<b>2-3-Déficit en eau et le changement climatique dans le monde</b> .....	<b>18</b>
<b>2-4- Impact du changement climatique sur les ressources en eau en Algérie</b> .....	<b>20</b>
<b>3- Infrastructures hydrauliques pour l'approvisionnement d'eau</b> .....	<b>21</b>
<b>3-1- Barrage</b> .....	<b>21</b>
<b>3-2- forage</b> .....	<b>21</b>
<b>4- Gestion Durable des Ressources en Eau</b> .....	<b>21</b>
<b>5- Défis et contraintes de la gestion des ressources en eau</b> .....	<b>22</b>
<b>5-1- Défis sociaux</b> .....	<b>23</b>
<b>5-2- Défis économiques</b> .....	<b>23</b>
<b>5-3- Défis écologiques</b> :.....	<b>24</b>

5-4- Défis d'institutions .....	24
<b>Conclusion partielle.....</b>	<b>25</b>
<b>Chapitre 02 : Contexte géologique et hydrogéologique des eau souterraines dans la wilaya d'El Oued.....</b>	<b>27</b>
<b>Introduction partielle .....</b>	<b>28</b>
<b>1-Structure géologique.....</b>	<b>28</b>
1-1-Ère quaternaire.....	29
1-2-Ère tertiaire.....	29
1-2-1-Étage eocène .....	29
1-2-2-Étage miopliocène.....	30
1-3-Ère Secondaire.....	30
1-3-1-Crétacé Inférieur .....	30
1-3-2-Crétacé Supérieur.....	31
2-1-Nappe phréatique .....	33
2-2-Nappe du Complexe Terminal (CT).....	34
2-3-Nappe du continental intercalaire (CI) .....	35
<b>Conclusion partielle.....</b>	<b>38</b>
<b>Chapitre 03 : Partie pratique.....</b>	<b>39</b>
<b>Matériels et Méthodes .....</b>	<b>40</b>
<b>1-Localisation et caractéristiques de la région d'étude.....</b>	<b>40</b>
<b>1-1-Climat.....</b>	<b>41</b>
1-2-Topographique .....	41
1-3-Pédologie .....	42
1-4- Industrie.....	42
1-5- Agriculture .....	43
1-6- Tourisme .....	43
<b>3-Matériel Utilisé.....</b>	<b>47</b>
3-1-Détermination de température .....	48
3-2-Détermination de potentiel hydrogène (pH) .....	48
3-3-Détermination de Conductivité électrique (CE) .....	49
3-4-Détermination des sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) .....	49
3-5-Détermination du Titre Hydrotimétrique (TH).....	50
<b>4-Analyses statistiques.....</b>	<b>52</b>
<b>Résultats et discussion .....</b>	<b>53</b>
<b>1-Température .....</b>	<b>53</b>

<b>2-Potentiel Hydrogène (pH) .....</b>	<b>54</b>
<b>3-Conductivité électrique (CE) .....</b>	<b>55</b>
<b>4-Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) .....</b>	<b>56</b>
<b>5-Titre hydrotimétrique (TH).....</b>	<b>57</b>
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>59</b>
<b>Référence bibliographique .....</b>	<b>62</b>
<b>Liste des annexes.....</b>	<b>73</b>

## Liste des figures

FIGURE 1 : SCHÉMA GÉNÉRALE DU CYCLE D'EAU (SARI, 2014).....	8
FIGURE 2 : CARTE DES RÉPARTITIONS DES BARRAGES EN ALGÉRIE (REMINE ET AL, 2009).....	10
FIGURE 3 : GLACIERS DANS LES MASSIFS MONTAGNEUX DES ALPES (ASCD, 2004) .....	
FIGURE 4 : EXEMPLE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA WILAYA D'EL-OUED (KADRI AND CHAOUICHE, 2018). ....	12
FIGURE 5 : PRÉSENTATION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE (LARKEM AND OUASSIF, 2023).....	14
FIGURE 6 : RÉPARTITION MONDIALE DES RESSOURCES EN EAU DOUCE EN 2020 (TRISTAN, 2024).....	
FIGURE 7 : PLAN GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'EL-OUED DE GRAND ERG ORIENTAL, (BABA SY.M, 2005).....	29
FIGURE 8 : COUPE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'EL OUED (D'APRÈS UNESCO, 1972). ....	33
FIGURE 9 : ZONE D'ALIMENTATION DE LA NAPPE PHRÉATIQUE ET LE SENS D'ÉCOULEMENT DE LA NAPPE (COTE MARC, 2006).....	34
FIGURE 10 : NAPPES AQUIFÈRES DANS LA RÉGION D'EL-OUED, CARTE MODIFIÉE D'APRÈS LA CARTE DE L'ANRH (OUALI, S. 2015). ....	35
FIGURE 11 : LOCALISATION DE LA WILAYA D'EL OUED (WIKIPEDIA, 2019) .....	41
FIGURE 12 : DEUX TYPES D'EAUX DE FORAGE ANALYSÉES, A :EAU DE FORAGE 19 MARS, B : EAU .....	45
FIGURE 13 : POINT D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX DE FORAGE 19 MARS DANS LA ZONE D'ÉTUDE (GOOGLE EARTH, 2025).....	46
FIGURE 14 : POINT D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX DE FORAGE MIX DANS LA ZONE D'ÉTUDE (GOOGLE EARTH, 2025). ....	46
FIGURE 15 : ÉTUVE DE LABORATOIRE (BINDER). ....	
FIGURE 16: ÉTUVE DE LABORATOIRE BINDER.....	
FIGURE 17 : SPECTROPHOTOMÈTRE UV-VIS. ....	
FIGURE 18 : CONDUCTIMÈTRE, THERMOMÈTRE ET PH-MÈTRE.....	
FIGURE 19 : PRÉPARATION DES ÉCHENILLIONS D'EAUX DANS LE LABORATOIRE.....	
FIGURE 20 : ANALYSE DES SULFATES DANS LES ÉCHANTILLONS D'EAUX DANS LE LABORATOIRE .....	
FIGURE 21 : ÉTALONNAGE DE LA DÉTECTION DU TH (TITRE HYDROTIMÉTRIQUE) AU LABORATOIRE.....	51
FIGURE 22 : UTILISATION D'UNE SOLUTION D'ACIDE ÉTHYLÈNE-DIAMINÉTÉTRA-ACÉTIQUE (EDTA) POUR L'ANALYSE DE TH. ....	52
FIGURE 23 : ÉVOLUTION TEMPORELLE DES TEMPÉRATURES DES DEUX TYPES D'EAUX ANALYSÉES, T PRÉSENTE LES DATES DE PRÉLÈVEMENTS. ....	54
FIGURE 24 : ÉVOLUTION TEMPORELLE DE POTENTIEL HYDROGÈNE DES DEUX TYPES D'EAUX ANALYSÉES, T PRÉSENTE LES DATES DE PRÉLÈVEMENTS. ....	55
FIGURE 25 : ÉVOLUTION TEMPORELLE DE CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DES DEUX TYPES D'EAUX ANALYSÉES, T PRÉSENTE LES DATES DE PRÉLÈVEMENTS. ....	56
FIGURE 26 : ÉVOLUTION TEMPORELLE DE SULFATES DES DEUX TYPES D'EAUX ANALYSÉES, T PRÉSENTE LES DATES DE PRÉLÈVEMENTS.....	57
FIGURE 27 : ÉVOLUTION TEMPORELLE DE TITRE HYDROTIMÉTRIQUE DES DEUX TYPES D'EAUX ANALYSÉES, T PRÉSENTE LES DATES DE PRÉLÈVEMENTS. ....	58

## Liste des tableaux

TABLEAU 1 : CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'EL-OUED (A.N.R.H., 1993). .....	32
TABLEAU 2 : FORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES DE LA RÉGION D'EL-OUED (A.N.R.H., 1993). .....	37
TABLEAU 3: MÉTHODES PHYSICO-CHIMIQUES D'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS D'EAU.....	48
TABLEAU 4 : NORMES NATIONALES ALGÉRIENNES (DÉCRET EXÉCUTIF, 2014). .....	74
TABLEAU 5 : DES COORDONNÉES GPS DES POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE / FORAGES. ....	75
TABLEAU 6 : DES DONNÉES CLIMATIQUES DE LA RÉGION D'EL-OUED (PLUVIOMÉTRIE, TEMPÉRATURES MOYENNES, ETC.). .....	75

# **Introduction générale**

## Introduction générale

L'eau douce occupe dans l'histoire de notre planète et dans celle de ses éléments chimiques et de ses atomes, une position tout à fait particulière et unique. Si dans sa composition globale de la planète elle représente qu'un faible pourcentage, elle prédomine en poids dans les géosphères supérieures et dans la biosphère en particulier et détermine toute leur chimie. C'est pourquoi, dans l'état actuel de la science, aucun corps n'a en géochimie une importance comparable à celle des eaux naturelles (Vernadsky, 2019).

Aussi, l'eau est essentielle pour l'Homme, elle a toujours joué un rôle important dans l'histoire de l'humanité comme une source de vie, elle est aussi source de conflits dans de nombreuses régions du monde. Dans le début du XXI siècle, l'eau est devenue un enjeu de taille et seules les nations qui auront su préserver leur capital hydrique pourront survivre. A titre d'exemple, il faut dire qu'il y a environ 220 fleuves internationaux qui sont partagés par au moins deux pays (le Nil, le Jourdain, l'Amazone, etc.) ( Kettab et al.2008).

Notre pays, l'Algérie, est caractérisé par son climat semi-aride à aride souffre autant de la carence des pluies et de leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les contraintes du climat, la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande d'eau qui ne cesse pas d'augmenter. Parallèlement, le recours à l'irrigation due à l'intensification de l'agriculture est devenu une nécessité face à ces défis, les ressources en eau en Algérie sont devenues rares et insuffisantes pour combler le manque (Rouibah and Belabbas, 2022).

Par conséquent, la recherche de moyens plus durable pour progresser et améliorer le rendement agricole par le gouvernement algérien nécessite l'utilisation de tous les sources d'eaux sûre par exemple les eaux souterraines dans l'irrigation.

Actuellement, l'eau souterraine devenue une nécessité et fait partie intégrante de la stratégie actuelle de mobilisation de toutes les ressources nationales disponibles (Touil et al., 2020).

La demande croissante de l'eau notamment dans les régions désertiques comme celle de la région d'El Oued pose une problématique sérieuse et un défi nécessite des solutions durables et bien planifiées. Les données disponibles sur la surexploitation des nappes sans traitement préalable montrent que cette tendance constitue une menace directe pour l'avenir et la qualité des ressources hydriques dans cette région. Par conséquent, l'amélioration de la gestion de ces ressources devient une exigence urgente pour assurer la sécurité hydrique pour les générations présentes et futures.

L'objectif de cette mémoire est :

- L'estimation de l'état actuel de la qualité des eaux souterraines plus profondes dans la région d'El-Oued.
- L'étude physico-chimique des eaux de la nappe de continentale intercalaire pour savoir si elle est convenable pour les fins d'irrigation.
  - l'étude des problèmes techniques posés par l'exploitation de la nappe de continentale intercalaire dans la région d'El-Oued.

Ce travail est divisé en deux parties et trois chapitres :

Dans la première partie, on a :

- le premier chapitre qui montre la synthèse bibliographique sur l'état actuel des ressources en eau ;
- Le deuxième chapitre présente la synthèse bibliographique sur le contexte géologique et hydrogéologique des eaux souterraines dans la wilaya d'El Oued.

Dans la deuxième partie, on a le troisième chapitre qui présente la partie pratique de notre mémoire, composé de la méthodologie de recherche, les résultats obtenus et leur discussion.

# **Partie bibliographique**

# **Chapitre 1 : Généralités sur l'état actuel de ressource en eau**

## **Introduction partielle**

La wilaya d'El Oued, située au sud-est de l'Algérie, se caractérise par un contexte géologique saharien dominé par de vastes formations sableuses et des dépôts alluvionnaires reposant sur des aquifères profonds, notamment le Continental Intercalaire et le Continental Terminal. Ces réservoirs souterrains, hérités de l'histoire géologique du bassin saharien, constituent la principale source d'eau pour la région en raison de la rareté des précipitations et de l'absence de ressources de surface permanentes. Sur le plan hydrologique, l'exploitation de ces nappes est essentielle pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation agricole et les besoins industriels, mais elle est confrontée à des défis liés à la surexploitation, à la salinité croissante et aux contraintes climatiques propres aux zones arides. (Heggy *et al.*, 2021).

### **1- État général des ressources en eau**

#### **1-1- Cycle de l'eau**

Aussi appelé le cycle hydrologique (figure 1), est un système de recyclage de l'eau et se déroule entre les trois phases : solide, liquide et gazeuse. L'eau circule dans une boucle fermée et d'une façon répétitive, en commençant des eaux de surface résultantes des précipitations où le processus d'évaporation d'eau se passe, ce dernier et grâce aux températures élevées remonte sous forme des gouttelettes d'eau (ou vapeur) dans les couches supérieures de l'atmosphère et se condense sous l'effet des basses températures formants des nuages de pluie ou de glace. La plupart de ces précipitations tombent et pénètrent dans le sol et tracent leur chemin vers les nappes phréatiques ou ils continuent de se déplacer vers les rivières et les océans où ils s'évaporent à nouveau dans un temps chaud, sans oublier qu'une partie est absorbé depuis les racines des plantes et se filtrent à travers les surfaces des feuilles est revenu à l'atmosphère sous le processus d'évapotranspiration. Et ainsi de suite, le cycle se renouvelle à l'infini (Bouziane et kharoubi, 2022).

Les étapes de cycle d'eau sont :

- Évapotranspiration

L'évapotranspiration (ET) est un processus hydrologique qui combine l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration des plantes. En termes simples, c'est la quantité d'eau qui passe de la

surface terrestre à l'atmosphère sous forme de vapeur. Plusieurs méthodes et formules permettent d'estimer l'évapotranspiration (Tetbirt Z ,2017).

- Précipitations

Représentent les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) et/ou solide (neige, grésil, grêle) ainsi que les précipitations déposées ou occultes comme la rosée, gelée blanche et givre (Bensaadallah M, 2020). Elles correspondent à différents mécanismes d'ascendance (formation des nuages) et présentent des caractéristiques d'intensité et de durée diverses. Itchir F. (2015) a dit que la pluie est un phénomène associé aux systèmes nuageux précipitant, qui dépend de la microphysique des nuages mais aussi des mouvements atmosphériques à grande échelle. Les précipitations sur les terres (800mm/an) proviennent à 40 % de l'évaporation à partir des océans et à 60 % à partir de l'évaporation au niveau des plans de l'atmosphère et du sol.

- Ruissellement

En hydrologie, le ruissellement désigne l'écoulement de l'eau à la surface du sol, généralement après des précipitations, lorsque le sol ne peut plus absorber toute l'eau. Ce phénomène peut conduire à des inondations localisées et à l'érosion des sols (Anctil F,2012).

- Infiltration

Gonzalez M. (2012) a indiqué que l'infiltration est le processus par lequel l'eau de pluie s'infiltrer à travers la surface du sol pour y pénétrer. L'infiltration peut se produire à travers des surfaces imperméables telles que les routes et les places, ou à travers le sol et la végétation. Une partie de cette eau s'infiltrer dans les nappes phréatiques, tandis que l'autre partie s'écoule par ruissellement de surface vers les rivières et les mers.

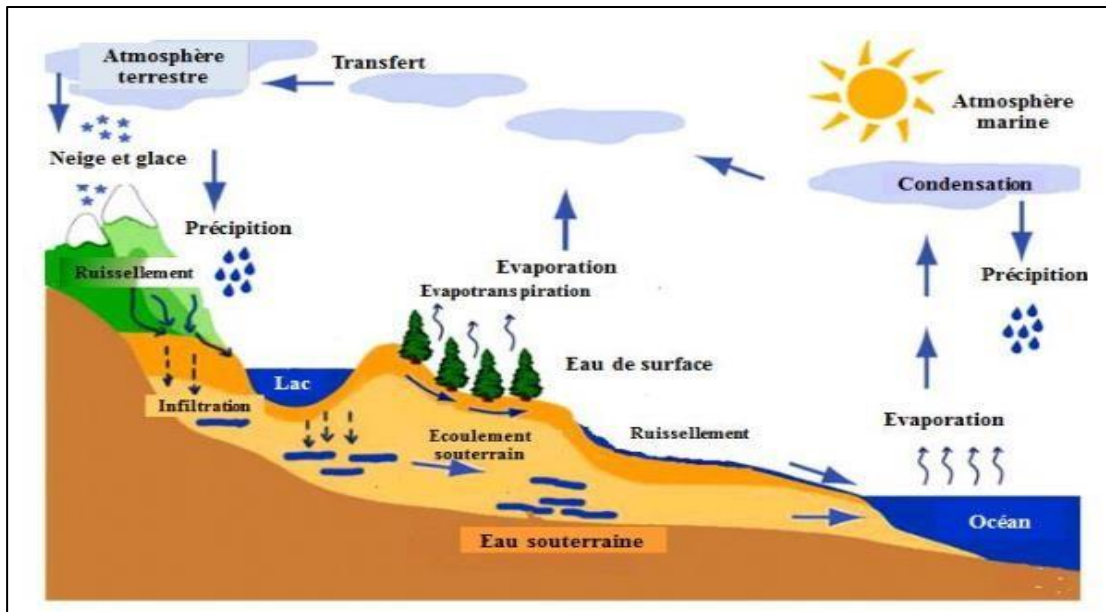


Figure 1 : Schéma générale du cycle d'eau (Sari, 2014).

## 1-2- Types des eaux conventionnelles

### 1-2-1-Eaux superficielles

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (Dussart,1992).

Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable, elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé. Cette ressource est facilement accessible mais malheureusement fragile et vulnérable à la pollution ce qui la rendant souvent impropre à l'utilisation en l'absence d'un traitement préalable (Bontoux F,1993).

Les origines des eaux superficielles sont les :

#### 1-2-1-1- Précipitations :

C'est la pluie et la rosée. Elles jouent un rôle clé dans le renouvellement des ressources en eau et dans les conditions climatiques et dans la biodiversité. En fonction des conditions locales, les

précipitations peuvent alimenter les rivières et les lacs, reconstituer les nappes phréatiques ou retourner dans l'atmosphère par évaporation (Tricart, 1976) .

### **1-2-1-2-Barrages**

Les barrages constituent 33% seulement des ressources en eau produites à l'échelle nationale. L'Algérie dispose actuellement de 75 barrages en cours d'exploitation, 05 qui entreront en service prochainement, en sus de 05 autres barrages en cours de réalisation (Algérie presse service, 2022).

La carte de répartition des barrages (Figure 2) montre qu'ils se concentrent presque exclusivement dans la partie tellienne du pays où les conditions naturelles sont optimales. Les ressources en eau de surface sont estimées à 12,3 milliards de m<sup>3</sup>, le volume mobilisable ne représente que la moitié (52%) des ressources d'eau. Le taux de remplissage des 16 barrages de côté Ouest est resté médiocre. Les barrages de l'est étaient relativement sous approvisionnés durant seulement 2001 et 2002. Trois barrages présentent des signes inquiétants ; le tout petit Foum El Gueiss, le Zardezas et le Hammam Grouz. Nous pouvons rajouter le Mexa qui enregistrait des taux honorables entre 2001 et 2003, dépassant les 70 % mais n'arrive plus à atteindre la barre symbolique des 50 % depuis (2001-2003) (Touati, 2010).

Le volume d'eau estimé dans les barrages en Algérie est d'environ  $7776,5 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> (Ouamane, 2009).

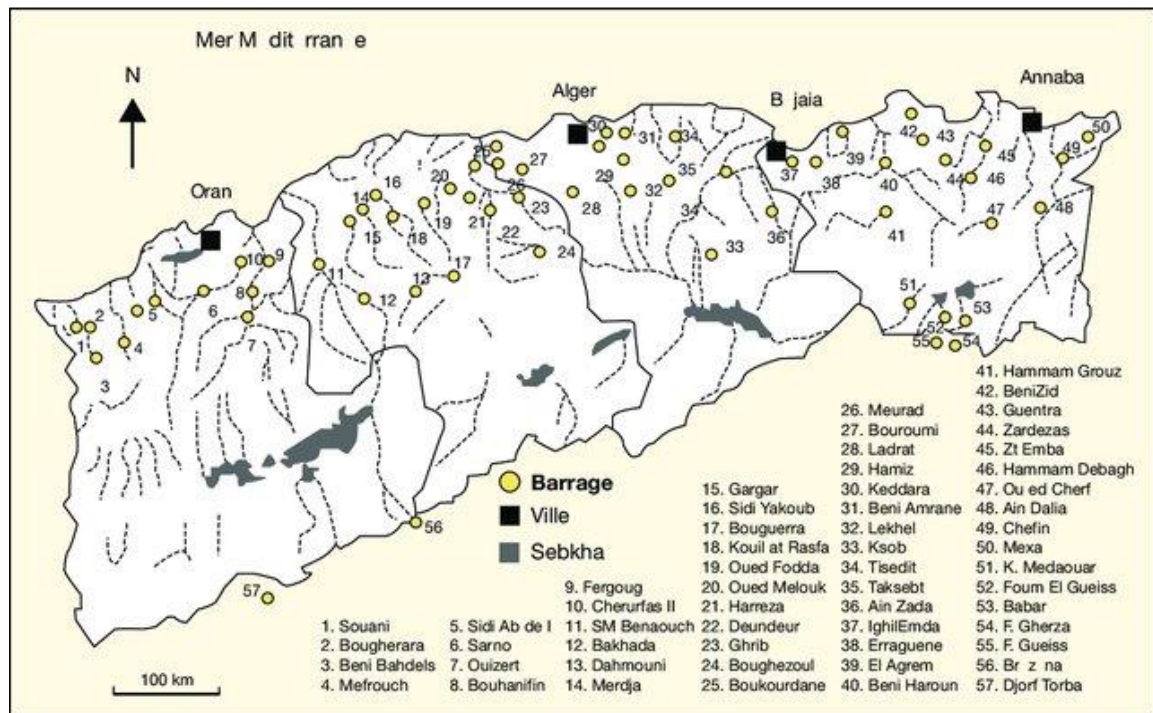


Figure 2 : Carte des répartitions des barrages en Algérie (Remini et al, 2009).

**1-2-1-3- Glaciers :**

L'eau est stockée sous forme de neige et de glace, Elle alimente les cours d'eau locaux en quantités variable en fonction des saisons. Cependant, beaucoup des glaciers s'amenuisent à l'heure actuelle en raison du réchauffement climatique (Tricart, 1976). Les glaciers naissent sous l'influence de conditions climatiques froides, dans les zones de hautes montagnes ou aux extrémités polaires. Les massifs montagneux des Alpes (Figure 3) culminant à plus de 4500 m. Chaque glacier a des propres caractéristiques (ASCD, 2004).



Figure 3 : Glaciers dans les massifs montagneux des Alpes (ASCD, 2004)

### 1-2-2-Eaux souterraines

Elle présente une source spécifique et privilégiée d'approvisionnement en eau. Leur usage permet et de mettre un poids intéressant relatif dans l'économie de l'eau. En addition, leur utilisation présente un volet très important sur le plan socio-économique. Elle a des caractéristiques particulières concernant le volume d'eau offrir par rapport aux eaux de surface. Ces qualités conditionnent fortement le recours à l'eau souterraine comme source d'approvisionnement (Margat *et al*, 2007).

En zone aride et semi arides ressources en eau souterraines renouvelables, d'extension plus lâche et d'abondance très intégrale et généralement limitée quant à leur flux naturels, sont les seuls ressources permanentes, hors des cas de ressources « importées » par des fleuves allogènes (Euphrates, Nil ...). Elles sont donc exclusives pour beaucoup d'utilisations, malgré des défauts de qualité plus répandus (salinité). Elles sont aussi différemment dépendantes des ressources en eau de surface dans la mesure où elles sont plus souvent leur « sous-produits » que leur régulateur y compris dans le cas des « nappes d'accompagnement » des fleuves allogènes et où les exutoires naturels des eaux souterraines et des eaux superficielles sont dissociés. Irrégulières dans ces zones que les réservoirs aquifères peuvent le contribuer, par des aménagements appropriés, à mieux maîtriser des ressources en eau superficielle irrégulières et

clairsemées. D'où, là encore, l'intérêt d'une gestion intégrée des ressources en eau (Magat, 1991).

Ces ressources sont évaluées à 1.8 milliards de m<sup>3</sup> dans le Nord de l'Algérie. Les potentialités du Sud sont estimées à 60000 milliards de m<sup>3</sup> (Figure 4). Ces dernières sont difficilement exploitables et renouvelables; et 4 à 5 milliards de m<sup>3</sup> sont exploitables annuellement (Kettab, 2001).

Leur teneur en nitrates augmente jusqu'à dépasser il y a une dizaine d'années les normes de potabilité. On prendra comme exemple le bassin du Chlef, de Sidi Bel Abbes et du Mazagran (Boudjadja et Pauc, 2003).

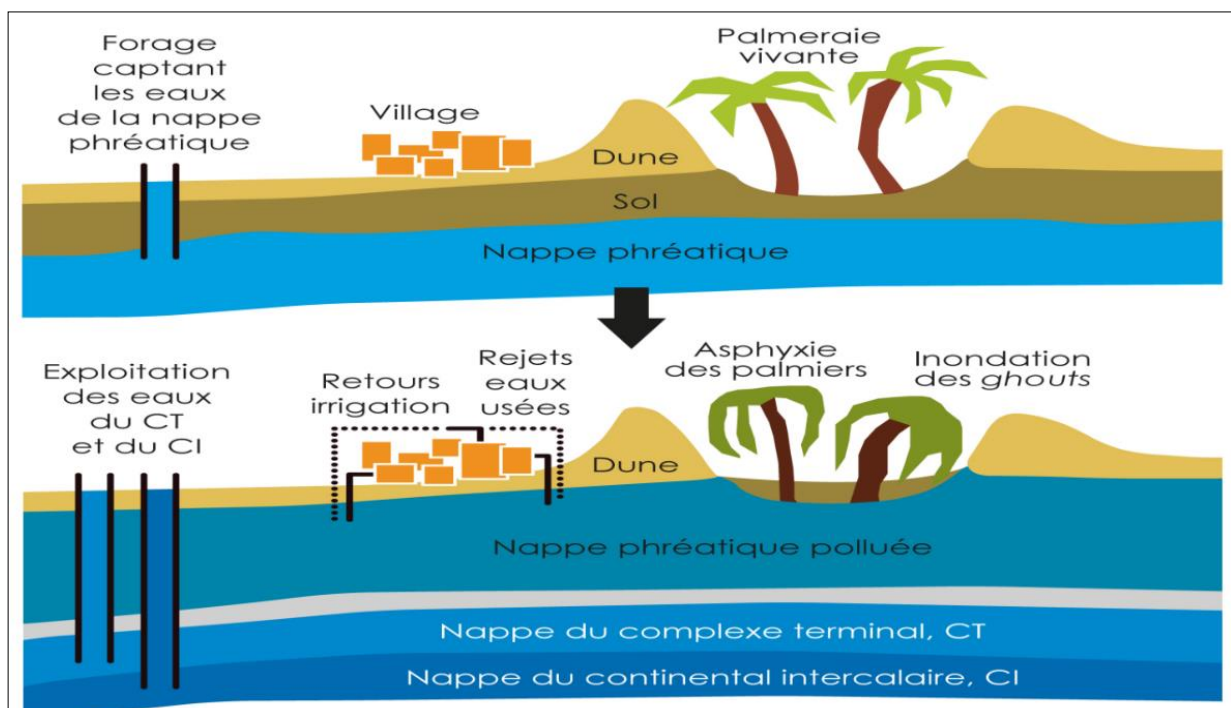


Figure 4 : Exemple des eaux souterraines dans la wilaya d'El-Oued (Kadri and Chaouche, 2018).

Fouché (2016) a défini une nappe d'eau souterraine comme l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère dont toutes les parties sont en continuité hydraulique. Une nappe est une masse d'eau qui partage un volume avec la masse minérale solide : elle ne se conçoit bien que par abstraction. On isole par la pensée une « couche » d'eau occupant la porosité, limitée vers le haut, vers le bas et latéralement, qui imprègne un aquifère comme une éponge. L'idée peut se comparer avec une « nappe de brouillard » où l'espace est partagé entre l'eau et l'air.

D'après Jailliet (2018), les eaux souterraines ont plusieurs types selon nature de la surface supérieure de la nappe. Ces types sont comme suivant :

### **1-2-2-1-Nappes libres**

La nappe libre est dite aussi nappe phréatique. Sous climat tempéré, pour un sol de porosité et perméabilité uniformes, l'eau s'infiltré dans la zone non saturée jusqu'à la surface libre. On appelle nappe la masse d'eau contenue dans la porosité de la zone saturée, depuis la surface libre jusqu'à un substratum imperméable. Par opposition à une nappe captive, une nappe libre est une nappe dont la surface piézométrique coïncide avec la surface libre physique de la nappe.

### **1-2-2-2-Nappes captives**

Une nappe est dite captive ou « en charge » si elle est limitée au toit par une formation très peu perméable et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure à la cote de son toit. Abaisser le niveau d'eau à la périphérie de la nappe abaissera la pression dans la zone centrale, mais ne la dénoiera pas, l'épaisseur saturée y restera la même. Ainsi, l'exploitation d'une nappe captive fait diminuer la pression d'eau qui règne en son sein mais ne réduit pas sa transmissivité.

Quand on fore un puits ou un piézomètre dans une nappe captive, l'eau remonte brusquement dans l'ouvrage au moment où l'on crève le toit imperméable de la nappe. Si la pression est suffisante pour que l'eau remonte jusqu'à la surface du sol et jaillisse, autrement dit si la charge hydraulique est supérieure à la cote du sol, la nappe captive est dite artésienne ; le forage est artésien et jaillissant. Le comportement artésien tend à s'atténuer au cours de l'exploitation et peut même disparaître à force de réduire la charge dans l'aquifère (Fouché, 2016).

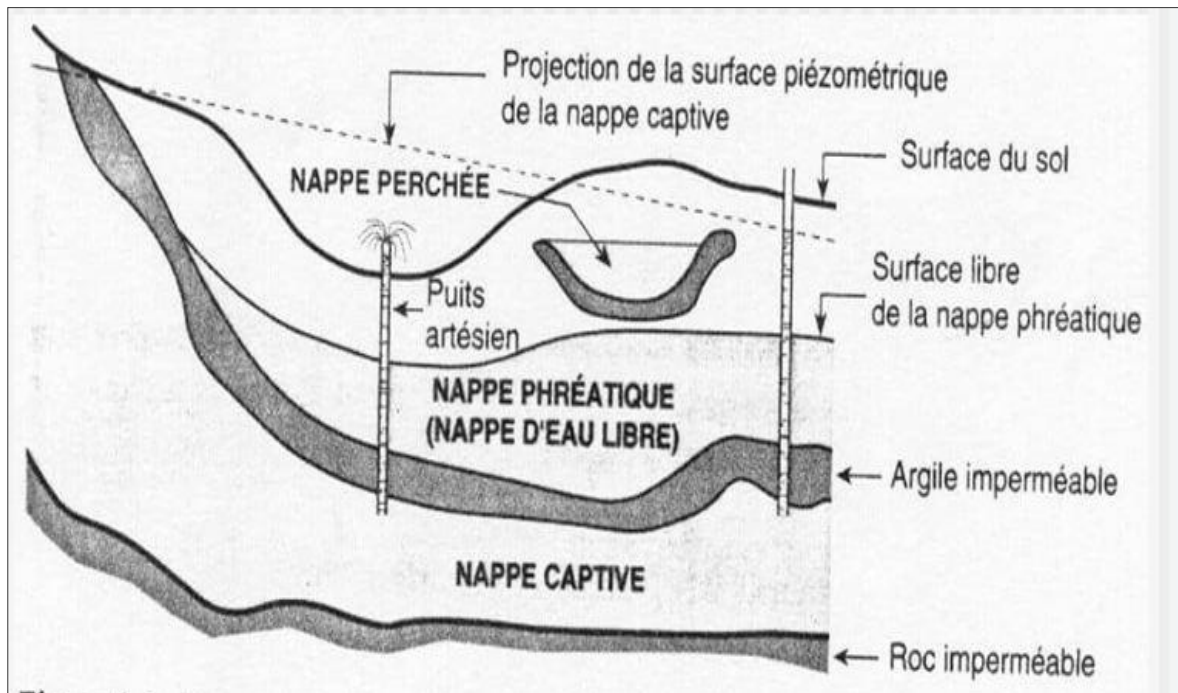


Figure 5 : Présentation des nappes d'eau souterraine (Larkem and Ouassif, 2023)

### 1-3-Distribution de l'eau au niveau mondiale

L'eau de la planète est répartie dans différents réservoirs dont le plus grand est composé des mers et océans avec plus de 97% d'eau salée contre moins de 3% d'eau douce. Plus de 2/3 de l'eau douce est conservée à l'état solide (glaces polaires et éternelles) et un peu moins d'1/3 est constitué des eaux souterraines. Le reste des réserves d'eau douce est réparti principalement dans les continents, les lacs, les cours d'eau et dans l'atmosphère. L'eau est une ressource abondante sur terre mais seule une infime partie est directement utilisable par la biosphère et notamment par l'homme. En effet, l'eau douce des cours d'eau et des nappes phréatiques représente 1 % du volume d'eau douce et 0.01% de toute l'eau sur terre. Cette ressource est inégalement répartie à travers la planète. L'Amérique du sud (Brésil, Colombie, Pérou) est la plus riche avec 1/3 des ruissellements, l'Asie (Chine, Inde, Indonésie) bénéficie de 25% des ressources, suivie par l'Afrique subsaharienne et avec 10%. Le Moyen orient et l'Afrique du nord sont les moins bien servis avec 1% seulement des ruissellements mondiaux (Souak, 2008).

D'après (Kettab *et al*, 2008), l'Europe dispose de 8 % des ressources mondiales en eau douce, mais sa part atteint 15 % de la consommation mondiale. De ce fait, la consommation d'eau en

Europe varie entre 200 et 1 000 m par habitant, en fonction du niveau de développement économique ; ce ne sont pas les pays d'Europe du Nord dont les ressources en eau sont les plus importantes qui consomment le plus. La mobilisation des eaux superficielles a été, de tous temps, une préoccupation pour l'homme. C'est un élément de la vie quotidienne, et elle est si familière qu'on oublie souvent son rôle, son importance, son originalité, ainsi que sa nécessité absolue.

En outre, 3,6 milliards d'habitants (soit la moitié de la population mondiale) vivent dans des zones touchées par une grave pénurie d'eau au moins un mois par an et 55 millions de personnes sont touchées par la sécheresse chaque année. Avec la hausse des consommations et le changement climatique, sans adaptation, ce sont 5 milliards d'humains qui seront en zones potentielles de pénuries au moins un mois par an en 2050. Les impacts sont aussi économiques. D'ici à 2050, Le Produit Intérieur Brut (PIB) pourrait diminuer de 6 % dans certaines régions du monde si les sociétés ne changent pas leur façon de gérer l'eau et de protéger les écosystèmes d'eau douce (Gaudiaut, 2024).

On estime qu'en 2025, ils se partageront 70% des ressources accessibles et pourraient même utiliser plus de 90% de toutes les ressources en eau douce disponibles d'ici 2030. 2,6 milliards d'entre eux ne sont pas branchés sur un réseau d'assainissement fiable et 1,5 milliards n'ont pas accès à une eau saine. Il faut savoir que la consommation mondiale d'eau par les différents secteurs utilisateurs, reflète souvent les priorités de développement (Souak, 2008).

La figure suivante (Figure 6) nous donne un portrait actuel de la répartition des ressources en eau douce dans le monde, où 10 pays se partagent plus de 10% de réserves en eau.

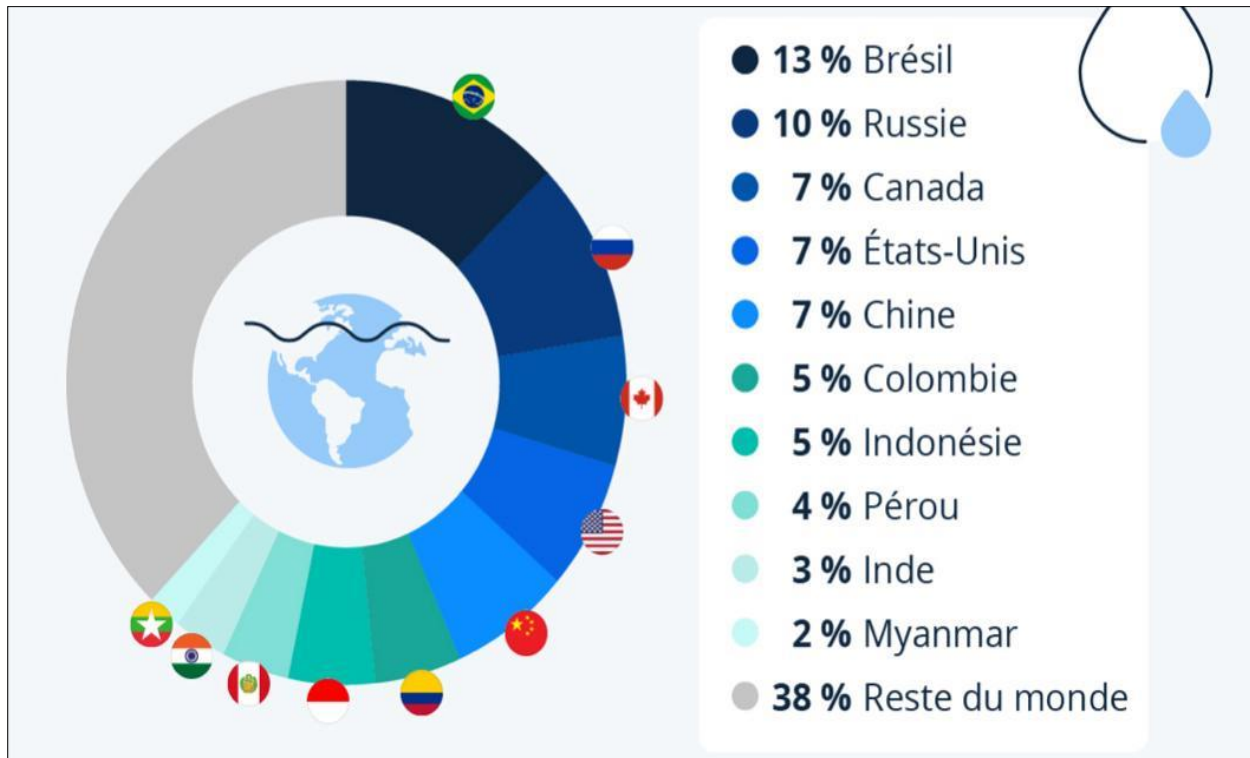


Figure 6 : Répartition mondiale des ressources en eau douce en 2020 (Tristan, 2024).

#### 1-4-Distribution de l'eau au niveau nationale

Selon Kettab A. (2008), les ressources en eau en Algérie se répartissent comme suit :

- 100 milliards de m<sup>3</sup> de précipitations totales dans le nord de l'Algérie, dont 85 % s'évapore et 15 % constitue l'écoulement superficiel ;
- 12,4 milliards de m<sup>3</sup> d'écoulement superficiels ;
- 1,8 milliard de m<sup>3</sup> d'eaux souterraines mobilisables dans le nord et sont exploités à près de 90 % ;
- 6 milliards de m<sup>3</sup> mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (hydrologie, topographie, géologie, etc..) ;
- 4,8 milliards de m<sup>3</sup> mobilisables actuellement ;

- 2 milliards de m<sup>3</sup> mobilisés pour une centaine de barrages ;
- 29 barrages en construction actuellement.

## **2- Problématique et déficit de l'eau en Algérie**

Bouketta, A (2020) a dit qu'en Algérie, les ressources en eau sont caractérisées par un contexte naturel défavorable, accentué par des cycles de sécheresse prolongés engendrant une maîtrise insuffisante de la gestion de l'eau dans ses différents aspects (décalsages dans la mobilisation de l'eau par rapport à la forte croissance des besoins au niveau des grands pôles urbains et industriels, pertes importantes dans les réseaux, multiplication des sources de pollution d'origine urbaine, industrielle et agricole, tarification inadaptée et mode de financement qui a atteint ses limites).

A cet de fait naturel la situation actuelle en Algérie est encore exacerbée par plusieurs contraintes les plus importantes sont :

- Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles.
- Les besoins en eau exprimés par les différents usagers sont nettement supérieurs aux ressources en eau mobilisées ce qui engendre des conflits d'affectation et nécessite parfois des arbitrages difficiles.
- Un déséquilibre géographique entre les besoins et les ressources.
- La pollution des nappes et des ressources superficielles.
- Risques de rupture d'un développement durable
- Outre cela, la faiblesse de ces ressources est encore aggravée par :
- La mauvaise répartition spatiale de ces ressources et l'irrégularité temporelle des écoulements hydriques.
- L'érosion des sols et l'envasement des barrages.
- Les pertes dues à la vétusté des réseaux de distribution et à l'insuffisance de la gestion.

## **2-2-Relation entre l'eau et le changement climatique**

Les changements climatiques altéreront aussi le cycle de l'eau terrestre par l'intermédiaire de nombreux processus différents. Les retours et les interactions entre ces processus, qui ne sont pas tous bien compris ou mesurables aux échelles pertinentes, en rendent difficiles la quantification et la prévision des conséquences (Milly *et al.*, 2008).

Le changement climatique modifie la distribution spatiale et temporelle des ressources en eau, remettant en question la fiabilité et la sécurité de l'approvisionnement en eau urbaine dans le monde entier (Dong *et al.*, 2020 ; Grève *et al.*, 2018). En termes de qualité, une grande quantité de substances, y compris les nutriments, les produits chimiques, les sédiments, etc., provenant des activités humaines et paysagères telles que l'urbanisation, la fabrication et l'industrie lourde, l'agriculture et l'exploitation minière menacent la qualité des approvisionnements en eau urbains (Best 2018; Herrera *et al.*, 2017; Veldkamp *et al.*, 2017).

Il est urgent de procéder à une évaluation globale des impacts des pressions humaines et du changement climatique sur la rareté mondiale de l'eau urbaine et les risques de qualité de manière intégrée, afin d'identifier des mesures efficaces pour assurer la sécurité de l'eau en milieu urbain, protéger les lieux de vie des citoyens, et atteindre les objectifs de développement durable des Nations Unies, en particulier les objectifs 6 Eau propre et assainissement, 14 Vie sous l'eau et 15 Vie sur terre (Liu *et al.*, 2024).

## **2-3-Déficit en eau et le changement climatique dans le monde**

Le changement climatique a déjà commencé à affecter les ressources en eau dans le monde entier, par le réchauffement, des changements dans les schémas de précipitations et l'occurrence d'événements météorologiques extrêmes (sécheresses, vagues de chaleur, inondations). Ces impacts ne sont pas distribués uniformément, mais ils montrent de fortes variations spatiales et temporelles à la suite de la variation climatique (Singh R. et Biswal B, 2019).

Par exemple, dans le bassin méditerranéen, le rythme du réchauffement a été nettement supérieur à la moyenne mondiale, ce qui entraînera probablement des changements significatifs dans la disponibilité des ressources en eau et les demandes d'eau pour faire face à la fréquence plus élevée des sécheresses (Dai A, 2013).

Des études pertinentes révèlent soit une intensification du cycle hydrologique mondial, c'est-à-dire des augmentations à la fois des flux d'évaporation et de précipitation, soit des altérations allant de l'intensification au dé-intensification avec des fluctuations correspondantes sur les modèles de précipitation et d'évaporation et une tendance excessivement décroissante de l'humidité globale (Huntington T.G,2006).

Malgré l'accord général concernant les projections du modèle climatique aux échelles mondiale et régionale, la réduction d'échelle de ces projections à des échelles qui permettent une planification et une gestion efficace des ressources en eau (par exemple, l'échelle du bassin versant) reste un défi méthodologique (Abdelazim M, 2012). Même à des échelles plus grandes, l'incertitude des modèles climatiques mondiaux et des modèles hydrologiques mondiaux reste grande (Wada Y *et al* ,2013).

En dehors de la disponibilité des ressources en eau, il reste encore très incertain quant à la façon dont le changement climatique affectera l'utilisation de l'eau, en particulier dans le secteur agricole et domestique. Les premières études ont montré des observations montrant une augmentation du WUE des cultures agricoles (Bernacchi C.J *et al* ,2007). Mais cet effet positif d'un taux de CO<sub>2</sub> élevé peut être éliminé lors de sécheresses intenses en raison de la plus grande surface foliaire (Gray S.B *et al*,2016).

Malek K *et al* (2018) ont affirmé que l'effet du changement climatique sur les besoins en irrigation dépend du scénario de changement climatique et de la méthode d'irrigation. L'augmentation de 9 % des pertes par évaporation a été signalée, mais elle a presque été contrebalancée par une réduction des pertes non par évaporation.

De plus, les augmentations prévues de l'indice d'aridité soulèvent des questions sur l'avenir de l'agriculture pluviale. Les déficits élevés en eau exigeront que des volumes supplémentaires d'eau soient alloués à l'agriculture pluviale pour maintenir sa viabilité économique et le développement des zones rurales ; cependant, assurer un approvisionnement supplémentaire en eau pour l'agriculture reste très incertain dans le cadre des plans de gestion de l'eau existants, politiques, et infrastructure existante (Berdugo M *et al* , 2020).

La situation est également comparable dans le secteur domestique. Estimation précise de l'avenir demandes nécessite des informations sur les relations entre la température et la consommation d'eau en utilisant une combinaison de données de comptage d'eau intelligent, de

caractéristiques des ménages et de données socio-économiques, ont développé de telles relations, qui pourraient potentiellement être utilisées pour la planification de l'utilisation de l'eau dans le secteur domestique. Ces relations étaient complexes et montraient des variations saisonnières et hebdomadaires ainsi que de fortes dépendances au statut socio-économique et aux caractéristiques des ménages (par exemple, présence ou absence de jardins). Plus d'études sont nécessaires pour permettre une estimation précise des besoins en eau domestique dans différents contextes climatiques (Tzanakakis *et al*, 2020).

Dans un rapport de 2007, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a compilé 25 modèles climatiques mondiaux pour évaluer le climat entre 2050 et 2100. Il a été noté que la température devrait augmenter de 2 à 3 degrés Celsius d'ici 2050 et de 3 à 5 degrés d'ici 2100. Les précipitations seront moins fréquentes mais plus intenses, tandis que la sécheresse sera plus répandue. La répartition spatiale et temporelle des précipitations va changer, ce qui affectera directement l'agriculture et les ressources en eau (Touitou, 2018).

#### **2-4- Impact du changement climatique sur les ressources en eau en Algérie**

Les ressources en eau sont considérées comme la ressource la plus importante en Algérie, en raison de la vitalité de cette ressource et de son importance pour la consommation humaine, la production alimentaire, l'industrie et les transports...etc. Cependant, les fluctuations ou les changements climatiques ne sont pas les seuls facteurs qui déterminent la vulnérabilité de cette ressource. Le climat, les facteurs économiques, démographiques et même environnementaux sont des facteurs qui affectent cette ressource importante, ainsi que la vulnérabilité et la façon dont cette ressource est distribuée (Bouziani M, 2006).

L'Algérie souffre de longues périodes de sécheresse, en raison de sa sensibilité au climat, notamment dans les hautes terres et les steppes qui couvrent près de 60% des terres arables du nord. Le changement climatique, notamment en ce qui concerne l'augmentation des températures et la diminution des précipitations, entraînera une raréfaction des ressources en eau ensuite une perte de biodiversité, une dégradation des écosystèmes et un risque accru de famine (Nichane, M. & Khelil M. A, 2015).

La baisse continue des précipitations a entraîné des sécheresses depuis le début des années 1970, ce qui a entraîné aussi une diminution des réserves d'eau souterraine, en particulier dans le nord du pays. Le niveau des eaux souterraines a baissé à un rythme alarmant (> 20 mètres).

L'aggravation de la sécheresse a conduit à une surexploitation des eaux souterraines. L'utilisation des eaux souterraines est de 79 % dans la région nord et peut parfois atteindre ou dépasser 90 % dans certaines zones (Bensaad A, 2016).

### **3- Infrastructures hydrauliques pour l'approvisionnement d'eau**

Les structures de génie civil réalisées pour résoudre des tâches spécifiques d'utilisation de l'eau sont appelées structures hydrauliques, tandis que la science appliquée traitant de leur théorie générale, de leur conception, de leur construction et de leur fonctionnement est l'hydrotechnique ou l'ingénierie hydraulique (Riego P, 1989). Parmi les structures hydrauliques on a :

#### **3-1- Barrage**

Un barrage est un ouvrage naturel ou artificiel, généralement établi en travers d'une vallée, transformant en réservoir d'eau un site naturel approprié. Si la hauteur est supérieure ou égale à 20 m et la retenue d'eau supérieure 15 millions de m<sup>3</sup>, il est appelé "grand barrage". Les barrages servent principalement à la régulation des cours d'eau, à l'alimentation en eau des villes, à l'irrigation des cultures, au soutien d'étiage, à la production d'énergie électrique et au tourisme et aux loisirs (Guirous L, 2010).

#### **3-2- forage**

Nguyen (1993) a indiqué que le forage est l'ensemble des opérations qui consistent à introduire dans le sous-sol des outils appropriés, pour des études géologiques ou pour l'extraction des fluides contenus dans les terrains traversés. Il existe deux procédés de forage :

- Forage par percussion (battage).
- Forage par rotation.

### **4- Gestion Durable des Ressources en Eau**

La gestion durable des ressources en eau est une discipline cruciale dans le contexte actuel de changements climatiques et de pressions anthropiques croissantes sur les ressources hydrauliques naturelles (Bouchareb N, 2024).

Chaque pays applique un programme de gestion des ressources hydrique, en l'adaptant selon la nature et l'intensité des problèmes liées à l'eau, les ressources humaines, les capacités

institutionnelles, les forces et les caractéristiques relatives des acteurs de l'eau, Le paysage culturel et les conditions naturelles qui lui sont propres (George G, 2004).

ont expliqué que la gestion intégrée des ressources en eau permet d'aider les pays à faire face aux problèmes liés à l'eau de manière économiquement efficace et durable. L'intérêt du concept de gestion intégrée des ressources en eau s'est développé au lendemain des conférences internationales sur l'eau et l'environnement qui se sont tenues à Dublin et Rio de Janeiro en 1992. Cependant, ni le concept, ni sa mise en application, n'ont été clairement définis. Que faut-il intégrer et comment procéder à cette intégration ? Les principes généraux de gestion intégrée des ressources en eau peuvent-ils passer le cap de la théorie à la pratique ?

Pour répondre à ces questions sur la gestion possible de ces ressources, nous pouvons appliquer par différentes formes :

- Réduction des pertes dans les infrastructures d'eau et particulièrement dans les réseaux de Distribution,
- Mise en œuvre d'une tarification qui incite à l'économie de l'eau et tend vers le coût réel de l'eau,
- Incitation à l'utilisation de systèmes d'irrigation économes en eau,
- Résoudre les problèmes liés à la pollution des ressources en eau et du milieu marin.

Des économies significatives sur la consommation domestique peuvent être réalisées en réduisant l'utilisation d'eau potable pour l'irrigation des espaces verts. De plus, des innovations technologiques, des cadres politiques actualisés et des solutions fondées sur le marché qui augmentent l'offre et réduisent la demande en eau seront nécessaires pour relever le défi d'un approvisionnement durable en eau domestique. Plus précisément, la mise en place d'incitations et d'un cadre réglementaire flexible pour promouvoir l'adoption de solutions et d'outils technologiques appropriés, applicables à différents niveaux d'organisation par exemple : les ménages, les infrastructures urbaines en conjonction avec la motivation et la formation efficaces des utilisateurs finaux produira des résultats positifs (MacDonald, G.M,2020).

## **5- Défis et contraintes de la gestion des ressources en eau**

Dans l'ensemble, l'optimisation de l'utilisation de l'eau dans différents secteurs constitue une mesure importante pour atténuer ou prévenir la surconsommation d'eau et pour améliorer les

bilans hydriques au niveau régional ou mondial ; l'importance de l'utilisation de l'eau des écosystèmes terrestres sur les cycles mondiaux de l'eau et du carbone est déjà à l'étude (Bouchareb N, 2024).

Les défis mondiaux de la gestion des ressources en eau sont nombreux et complexes, touchant aussi bien les aspects environnementaux que sociaux et économiques. Parmi ces défis il y a :

### **5-1- Défis sociaux**

La croissance démographique constante est considérée comme un facteur important de l'augmentation de la demande en eau dans tous les secteurs, en particulier l'agriculture. Elle représente l'un des défis les plus importants auxquels sont confrontés la plupart des pays du monde, en plus de la pauvreté, qui constitue un autre obstacle social à l'amélioration de la gestion des ressources en eau. D'autre part, la rareté et l'épuisement des ressources, les vagues successives de sécheresse et la désertification sont des facteurs qui contribuent à l'exacerbation et à la propagation de la pauvreté (kettab A,2008).

La sécurité de l'eau se produit lorsque l'eau est gérée de manière efficace, durable et équitable, à la fois pour exploiter son potentiel productif et pour limiter son potentiel destructeur. La sécurité de l'eau est définie comme la disponibilité d'une quantité et d'une qualité d'eau acceptables pour la santé, les moyens de subsistance, les écosystèmes et la production, associée à un niveau acceptable de risques liés à l'eau pour les personnes, les environnements et les économies (Benmouna Z, 2024).

### **5-2- Défis économiques**

D'après (Payen, 2011), La gestion économique renvoie au coût de l'eau, pour accroître la quantité d'eau disponible, il faut améliorer la maîtrise des pollutions de l'eau par l'homme (polluants agricoles, rejet d'eaux polluées par les activités industrielles, eaux usées par les populations). La dépollution coûte cher et ne profite pas au payeur ce qui génère une difficulté à mobiliser les ressources nécessaires. C'est surtout le cas dans les pays en voie de développement, où la mauvaise qualité de l'eau finit par toucher l'ensemble du monde via le milieu marin.

Les gaspillages mettent en péril cette ressource indispensable. Toutefois, l'optimisation des usages et la lutte contre le gaspillage où le gâchis est typiquement la stratégie à adopter vis-à-vis d'une ressource fossile non renouvelable. L'eau douce, qui, est généralement renouvelée chaque

année et réutilisable plusieurs fois, n'est pas du tout dans cette situation. Optimisation des usages et lutte contre le gaspillage ne sont donc pas les seules voies à emprunter. S'organiser pour vivre avec des consommations croissantes d'eau passe par des démarches collectives plus ambitieuses qui tirent parti des caractéristiques propres à l'eau : il s'agit, pour les pouvoirs publics, d'organiser et de faciliter les usages successifs de l'eau en considérant les eaux usées comme des ressources et non pas comme des eaux perdues (Frérot A, 2011).

Pour Loïc Fauchon, président du conseil mondial de l'eau, le temps de « l'eau facile » est terminé. La gestion économique. Est contenue dans la loi relative à l'eau de 2005. Elle est un élément du programme élaboré dans le cadre de la nouvelle politique, basé principalement sur la maîtrise de la demande (d'eau potable, dans l'industrie et l'agriculture) et l'incitation à l'économie d'eau par le système de tarification des services de l'eau. En effet, l'un des problèmes majeurs que rencontre le secteur réside dans les fuites et les pertes dans les réseaux d'eau potable et dans le secteur d'irrigation. L'article 129 de la loi sur l'eau soumet les propriétaires et exploitants à une rationalisation de l'eau agricole à travers l'utilisation de techniques plus économes (Souak F.Z, 2008).

### **5-3- Défis écologiques :**

La gestion des ressources en eaux doit veiller au maintien des écosystèmes indispensables ainsi qu'à la réduction des effets nuisibles sur les autres ressources naturelles. La gestion écologique c'est aussi la maîtrise de la valorisation agronomique des eaux usées traitées et du risque sanitaire global chimique et microbiologique. La préservation des réserves d'eau, notamment celles non renouvelables, devient un préalable pour assurer aux générations futures leur part de cette ressource. L'accès à l'eau doit être amélioré et ce par une lutte contre la pollution des cours d'eau comme des nappes phréatiques et par la nécessité de faire des économies d'eau. Il faut noter que des efforts importants sont réalisés en matière de traitement de ces déchets pour réduire la pollution des ressources hydriques (Bouketta A. Belaib I, 2020).

### **5-4- Défis d'institutions**

Les institutions de gestion de l'eau se standardisent avec des spécificités par chaque pays. Au niveau national, c'est le Ministre des Ressources en Eau (MRE) que s'occupe de la gestion et du maintien de cette ressource, il exerce ses missions en s'appuyant en particulier sur des établissements publics à compétence nationale dans les domaines direction (Direction des

Ressource en Eau (DRE), Algérienne Des Eaux (ADE), et des agences comme l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT). Au niveau des wilayas, ce sont les directions des ressources en eau qui remplacent le ministère, sous l'autorité administrative du Wali. Cette direction assure la conduite des projets locaux, l'assistance technique aux communes et veille à la protection et à la bonne gestion du domaine public hydraulique (Kettab, 2001).

Une réforme similaire a été adoptée parallèlement pour les compétences en matière d'assainissement transférées progressivement à l'office national de l'assainissement (ONA) Au niveau régional de gestion des ressources en eau est apparu en 1996 avec la création des agences de bassin hydrographique (ABH). Couvrante des territoires constitués de plusieurs bassins hydrographique, ne correspondant pas à un découpage administratif, ces agences ont pour but de promouvoir le gestion intégrée et concertée de l'eau par bassin, leurs missions essentielles portent sur l'évaluation des ressources, la surveillance de l'état de pollution des eaux, les plans directeurs d'aménagement et d'affectation des ressources, ainsi que l'information et la sensibilisation des usagers à l'utilisation rationnelle de l'eau. Il faut souligner que les agences de bassin sont les premières institutions dont les statuts prévoient effectivement la participation des usagers au fonctionnement des agences et à l'élaboration des plans directeurs (Bazzini M, 2016).

Les problèmes des institutions de gestion de l'eau en Algérie, c'est l'incertitude des rôles et des missions qui doit être bien clairement définie. En outre, le cadre juridique, institutionnel, doit être clair et stable dans le cadre global du pays et du système méditerranéen dans lequel nous évoluons. Aussi cette gestion requiert une prise rapide de décision qui nécessite la décentralisation des compétences et responsabilités, avec des moyens de communications rapides et efficaces. Un autre défi, c'est la création d'une banque de données fiables, accessibles, compréhensibles et régulièrement mises à jour, tenant compte de normes internationales (sur l'état de la ressource en tant en qualité qu'en quantité est une nécessité. En plus, Les méthodes et moyens d'analyses d'eau doivent être modernisés (Aroua, 2014).

### **Conclusion partielle**

Les ressources en eau connaissent des dynamiques contrastées selon les régions, influencées par plusieurs facteurs naturels et anthropiques. La compréhension de ces enjeux est essentielle pour diminuer les déséquilibres futurs et orienter les politiques de gestion d'eau vers une utilisation plus équitable et durable de cette ressource précieuse.

D'après le chapitre 1, nous avons constaté que l'eau est un élément vital très important pour l'humanité, en particulier dans les régions arides et sujettes à la sécheresse. L'Algérie fait partie des pays qui souffrent de ce problème de rareté de l'eau. Il est donc essentiel de mettre en place des stratégies adaptées aux conditions spécifiques de chaque pays afin d'assurer une meilleure utilisation et conservation de cette ressource précieuse.

**Chapitre 02 : Contexte géologique et  
hydrogéologique des eau souterraines  
dans la wilaya d'El Oued**

## **Introduction partielle**

Les études appliquées et de terrain constituent une composante essentielle des recherches hydrogéologiques, car elles permettent une compréhension réaliste et précise des caractéristiques physiques et chimiques des eaux souterraines. Elles aussi contribuent également à la vérification des hypothèses théoriques établies à partir du cadre géologique et hydrogéologique de la région d'étude.

Dans ce cadre, ce chapitre vise à évaluer les particularités des eaux souterraines dans la région d'El Oued, et plus particulièrement celles liées à la nappe de l'aquifère continental intercalaire (CI), qui constitue l'un des réservoirs souterrains les plus importants de la région.

### **1-Structure géologique**

À la base de l'édifice sédimentaire il y a des terrains paléozoïques marins contenant des niveaux aquifères salés et les gisements d'hydrocarbure au-dessus, et en discordance on rencontre des formations du Secondaire et du Tertiaire qui peuvent dépasser 3000 m dans le centre du bassin dans la région El-Oued. Le Quaternaire représenté essentiellement par des sables dunaires atteint parfois plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. La litho-stratigraphie de la région d'El Oued est définie par l'étude des diagraphies de forage des forages d'eau et des sondages d'exploration pétroliers réalisés précédemment dans la région. Dans la Figure 7, on a présenté le plan géologique de la région. Les titres qui suivent expriment de façon approfondie les aires et les étages géologiques relevés.

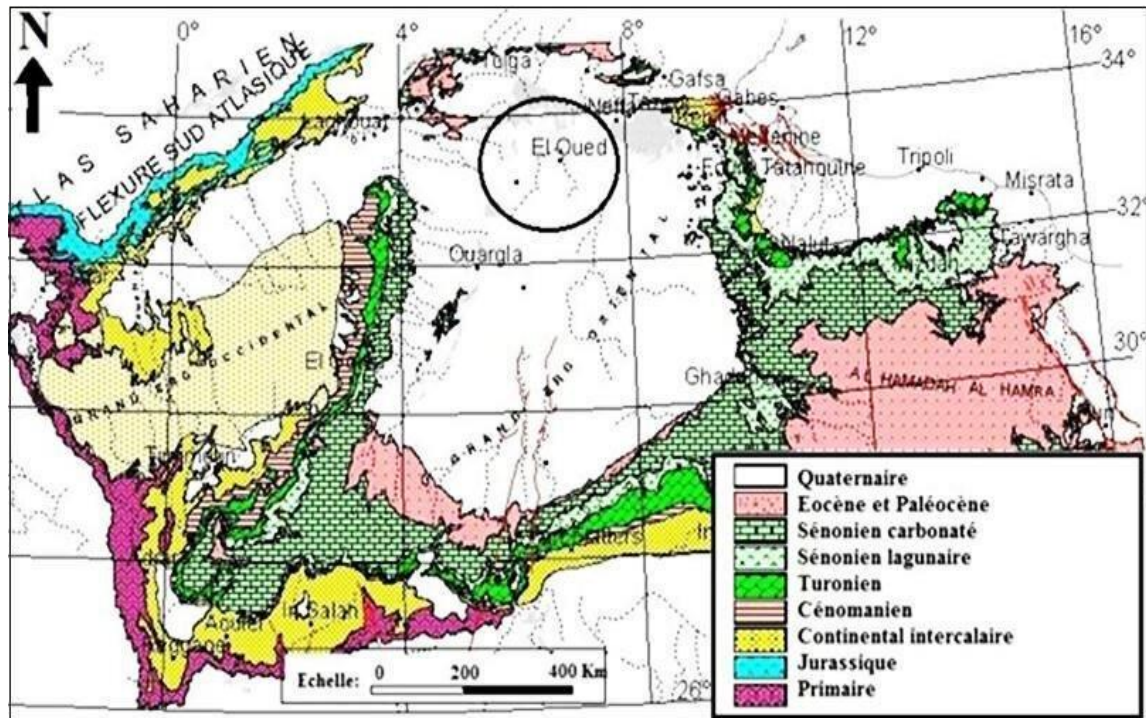


Figure 7 : Plan Géologique de la région d'El-Oued de Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).

### 1-1-Ère quaternaire

Le quaternaire est formé par des dépôts sableux de type éolien donnant naissance à des dunes, qui forment à leur tour l'extrémité ouest du grand Erg oriental. Au nord de la région, ce sont les chotts qui disparaissent peu à peu sous les sables dunaires (Tableau 1). C'est au niveau de cet horizon que l'on rencontre la nappe phréatique. Les colonnes stratigraphiques de certains forages montrent que l'épaisseur moyenne de cette nappe est de l'ordre de 60 mètres (Zidane, M. L., & Soufi, M., 2018).

### 1-2-Ère tertiaire

Dans la région d'El-Oued, le tertiaire géologique est représenté principalement par des formations d'âge paléogène et néogène. Les étages géologiques remarquables dans cet ère sont :

#### 1-2-1-Étage eocène

Cet étage est formé par des argiles et des calcaires marneux, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Cet étage est carbonaté à la partie inférieure, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaires à marin peu profond. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres (Tableau 1). La nature fine de ces sédiments reflète une sédimentation calme,

adéquates à l'accumulation de niveaux argilo-marneux qui jouent le rôle de couches imperméables dans le système aquifère (Zidane, M. L., & Soufi, M., 2018).

### **1-2-2-Étage miopliocène**

Bel, F. & Demargne, F. (1966) ont dit que ce dernier repose en discordance indifféremment sur le primaire d'une part et sur le crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part. La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Mi-pliocène est constitué par un empilement des niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et dépassées de grès (Tableau 1). La variabilité granulométrique de ces dépôts traduit des épisodes hydrodynamiques contrastés, avec des phases d'érosion et de remplissage. Sur toute l'étendue du Sahara oriental séparent cet horizon comme suit:

- Niveau argileux : il présente une faible épaisseur, son existence n'affecte que la partie centrale de Sahara oriental.
- Niveau grés-sableux : c'est le plus puissant par rapport aux autres, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara. C'est en fait à ce niveau que se trouve le principal horizon aquifère appelé aussi complexe terminal (CT).

### **1-3-Ère Secondaire**

Selon Rolland, G. (1890), cette ère nommée aussi l'ère mésozoïque, comprise entre 145 millions d'années et 66 millions d'années avant ce jour-là. Il se compose des deux périodes principales et des étages géologiques basés sur l'âge des roches. On distingue les suivants:

#### **1-3-1-Crétacé Inférieur**

Cette époque est dominée par les formations continentales et littorales. Ses dépôts sont liés à des environnements fluviaux et deltaïques, elle se compose de Berriasien, Valangien, Hauterivien, Barrémien, Aptien et Albien. On concentre sur l'Albien (Tableau 1).

##### **1-3-1-1-Albien**

Cet étage géologique se distingue par une alternance de marnes, de grès, de sables, et surtout de calcaires souvent associés à des passages des silex et de l'argile qui sont des résidus de l'altération de roches calcaires (Moullade et al., 1998 ; Foucault ; Raoult, 2005).

Sa limite inférieure est définie par le toit de la barre aptienne, tandis que sa limite supérieure est marquée par l'apparition progressive de faciès argilo-carbonatés (Ferry, 2017).

### **1-3-2-Crétacé Supérieur**

Les dépôts de cette époque dans la région d'El-Oued sont plus marins, ils sont riches en fossiles marins. Les étages géologiques de cet intervalle sont: Cénomaniens, Turoniens, Conaciens, Sénoniens, Campaniens et Maastrichtiens. On explique les suivants:

#### **1-3-2-1-Cénomaniens**

Les forages exécutés dans la région indiquent que le Cénomaniens est formé d'une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites (ANRH, 1993). Ce faciès confère à cet étage un caractère semi-perméable, le désignant comme un écran protecteur naturel qui isole les aquifères profonds (Karpoff, 1952).

Concernant ses limites stratigraphiques, la base se reconnaît par l'apparition d'évaporites et de dolomies, tandis que la partie supérieure est marquée par l'apparition de calcaires et évaporites, qui annoncent la transition vers le Turonien (Fabre, 1976).

#### **1-3-2-2-Sénoniens**

D'après Bouselsal (2016), la plupart des études géologiques achevées à travers le Sahara Algérien dévoilent que le Sénoniens est formé de deux ensembles très divers du point de vue faciès: L'un correspond au Sénoniens lagunaire situé à la base, l'autre le Sénoniens carbonaté au-dessous (Karpoff M, 1952).

##### **1-3-2-2-1-Sénoniens Lagunaire**

La limite de cet étage est bien distinguée est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles ou ces derniers sont aisément différentiant de ceux du Turoniens. Il est constitué également d'anhydritique, de calcaires dolomitiques, d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur presque 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncidée avec le Turonien de la dernière intercalation anhydritique. Sa consistance oscille entre 270 m et 300 m.

##### **1-3-2-2-2- Sénoniens carbonatée**

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno-argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés et de dolomies

vacuolaires (Tableau 1). Son épaisseur dépasse quelquefois 200 mètres. Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et Eocène qui présentent tous deux des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

**Tableau 1** : Contexte géologique de la région d’El-Oued (A.N.R.H., 1993).

Ère géologique	Étage géologique	Lithologie
L'ère du Quaternaire	—	Sables
		Argiles, évaporites
L'ère Tertiaire	Mio-pliocène	Sables
		Argiles gypseuses
	Pontien	Sables, graviers et grès
	Eocène Moyen	Argiles lagunaires
	Eocène Inférieur	Dolomies et calcaires
L'ère Secondaire	Sénonien carbonaté	—
	Sénonien lagunaire	Évaporites, argiles
	Cénomaniens	Argile, marnes
	Albien	Sables et grès

## 2-Contexte Hydrogéologie

La région d’El Oued se caractérise, sur le plan hydrogéologique, par la présence de deux principaux systèmes aquifères : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal (Figure 8), tous deux recouverts par une nappe superficielle libre communément désignée sous le nom de nappe phréatique (Bouselsal & Saibi, 2022).

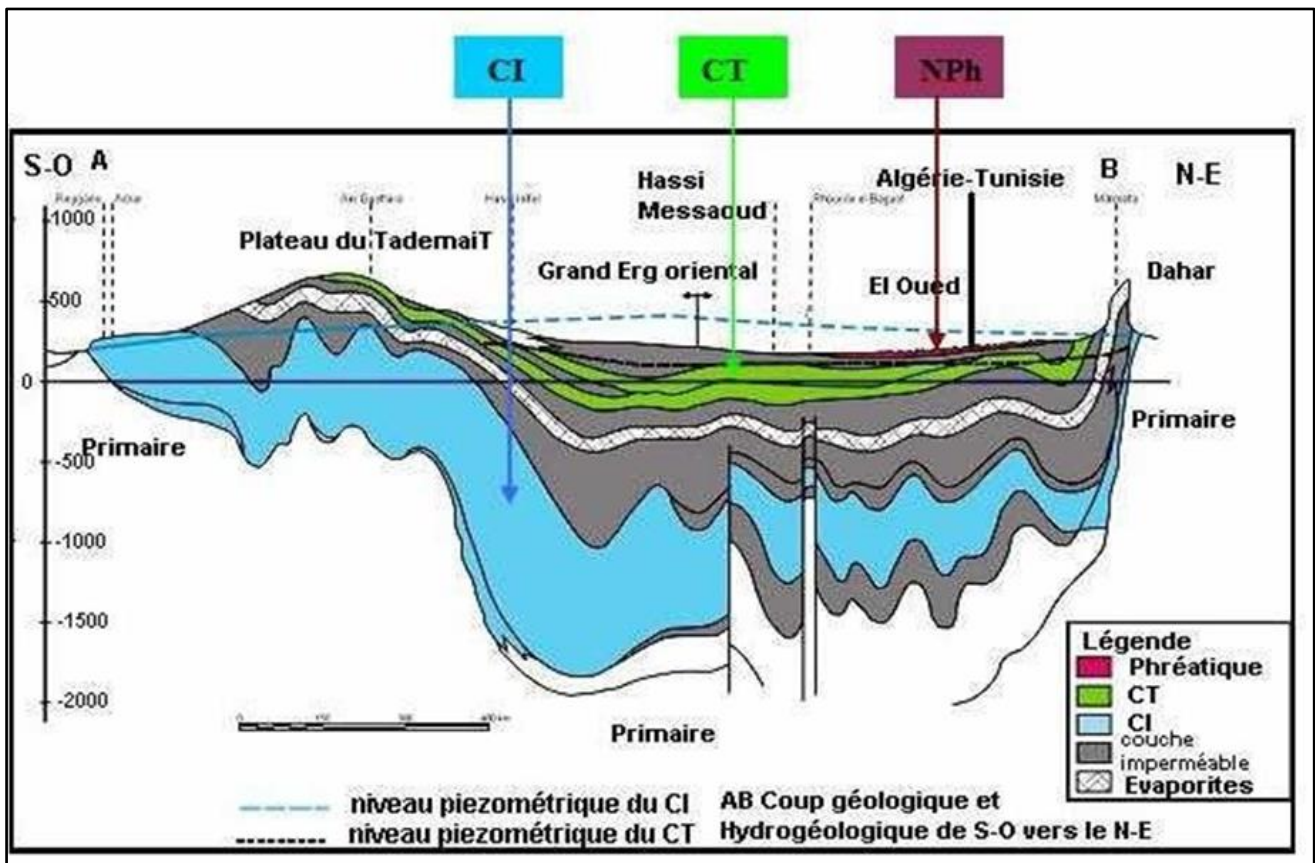


Figure 8 : Coupe hydrogéologique de la région d'El Oued (d'après UNESCO, 1972).

D'après les études hydrogéologiques effectuées par l'équipe de l'UNESCO dans le cadre de l'étude des aquifères du Sahara septentrional, et la coupe schématique présentée dans la figure 8 établie à partir des coupes de sondages, on a observé

L'existence des nappes suivantes :

### 2-1-Nappe phréatique

La nappe phréatique s'étend sur l'ensemble de la région d' El-Oued, elle correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales mises en place à la fin du Quaternaire. Elle se situe à des profondeurs variant généralement de 0 à 60 mètres. En raison de son importance, cette nappe constitue la principale ressource en eau pour l'irrigation des palmeraies, elle est exploitée notamment par un réseau de puits traditionnels dont le nombre est estimé à environ 31 000 puits autorisés (Remini, 2010).

La circulation de l'eau dans cette nappe demeure relativement rapide à l'échelle de la région, en particulier dans les zones où la présence de lentilles argileuses. À l'exception des secteurs des

chotts, la nappe libre est présente sur l'ensemble de la région d'El-Oued. Selon Marc Cote (1998), cette nappe phréatique est principalement alimentée par les eaux utilisées par la population, et la source absolue de cette dernière est les nappes profondes du Complexe Terminale (CT) et Continentale Intercalaire (CI) présentées dans la Figure 9.

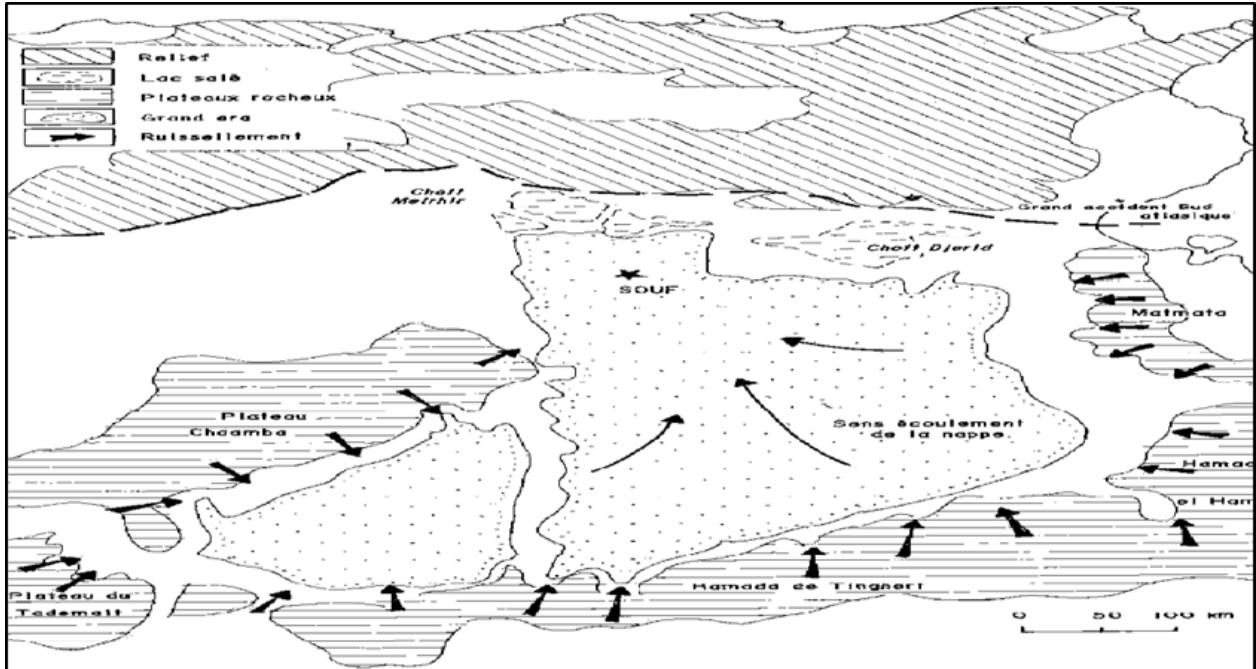


Figure 9 : Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement De la nappe (Cote Marc, 2006).

## 2-2-Nappe du Complexe Terminal (CT)

D'après Boualem B. et Belksier M. (2018), l'aquifère du Complexe Terminal englobe les assises perméables du Sénonien carbonaté et du Mio-Pliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois nappes séparées localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois aquifères sont représentés par les sables du Mio-Pliocène (la première nappe de sables CT1), par les sables, grès et graviers du Pontien (la deuxième nappe de sables CT2), et par le calcaire fissuré et la dolo (Tableau 2), à une profondeur d'environ 250 m et s'étendue jusqu'au 700 m. La carte piézométrique de complexe terminal montre que la partie haute de la nappe se trouve au sud de Oglia avec une côte de 60 m alors que la partie basse se trouve au nord de Hassi Khelifa avec une côte de 11 m. Le sens d'écoulement des eaux est orienté de sud vers le nord de la région d'El-Oued (Figure 10).

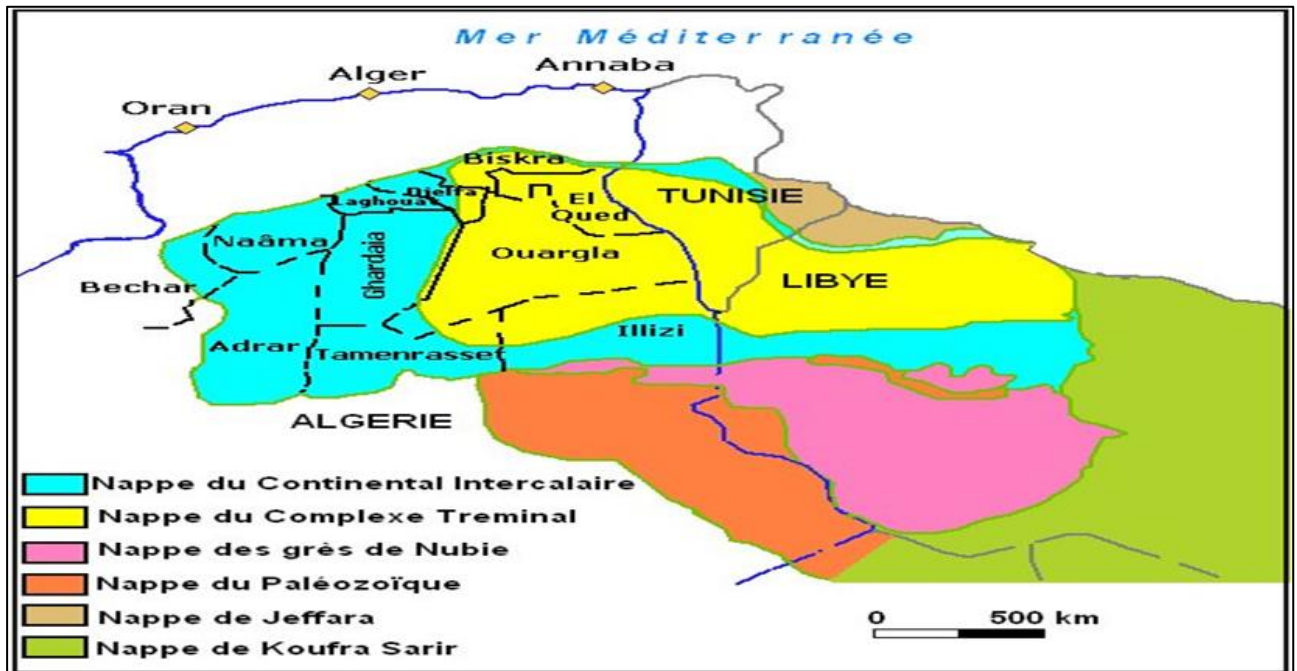


Figure 10 : Nappes aquifères dans la région d'El-Oued, carte modifiée d'après la carte de l'ANRH (Ouali, S. 2015).

### 2-3-Nappe du continental intercalaire (CI)

L'aquifère du Continental intercalaire comprend des dépôts continentaux qui sont déposés principalement au période d'ère Crétacé inférieur (Tableau 2), déposés entre deux grands cycles sédimentaires marins : une régression au Crétacé inférieur et une transgression au Crétacé supérieur. Cet aquifère s'étend stratigraphiquement de la base du Trias au sommet de l'étage géographique l'Albien, avec parfois une extension jusqu'au Santonien supérieur (Sahri, 2022).

Comme présenté dans la Figure 10, le CI est compté parmi les plus grands aquifères fossiles du monde, avec une superficie de plus de 600 000 km<sup>2</sup> et une épaisseur locale de plus de 1 000 m, (Sahri, 2022 ; Djehiche *et al.*, 2017). (Tableau 2).

L'aquifère CI ou albien est très volumineux, son eau coule à même le sol dans la partie sud à Tinhert et Tadmait et plonge à plus de 1000 m de profondeur dans l'erg oriental : Oued Righ et Oued Souf. L'eau du CI dont la température à la sortie des forages artésiens avoisine les 60 °C est impropre à l'irrigation directe (Mihoub *et al.*, 2016) .

Cet aquifère multicouche, fermé en surface par des couvertures d'argile et d'anhydrite, fonctionne actuellement sous une recharge résiduelle par les eaux météoriques du l'ère géologique Quaternaire, estimée à environ 2,5 milliards m<sup>3</sup>/an, et reste en équilibre grâce à une lente recharge latérale provenant des piémonts environnants (Benammar *et al.*, 2015).

Par ailleurs, les principales zones de recharge se situent au piémont sud de l'Atlas saharien, dans la région nord-ouest, à Tinrhert au sud, à Dahar à l'est, ainsi qu'à Jebel Nafusa et Jebel Hassawna, où l'aquifère du CI reçoit également des apports d'aquifères cambro-ordoviciens (Benammar *et al.*, 2015 ; Sahri, 2022).

On suspecte également des transferts verticaux du CI vers le Complexe Terminal localement dans des zones présentant des fractures comme Amguid-El Biod, tandis qu'ailleurs, le plafond argilo-anhydritique assure une étanchéité quasi parfaite entre les deux aquifères (Djehiche *et al.*, 2017).

Cet aquifère est exploité depuis au moins le 10ème siècle grâce à la construction de foggaras sur les bords du Tademaït (UNESCO, 1972 ; Benammar *et al.*, 2015). L'aquifère est actuellement exploité à dans la région d'El Oued, où trois puits artésiens sont utilisés, dont deux servent à l'approvisionnement en eau avec un débit combiné d'environ 340 L/s (Sahri, 2022).

**Tableau 2** : Formations hydrogéologiques de la région d'El-Oued (A.N.R.H., 1993).

Ère géologique	Étage géologique	Nature hydrogéologique
L'ère du Quaternaire	—	Nappe superficielle (nappe phréatique)
		Substratum (imperméable)
L'ère Tertiaire	Mio-pliocène	1ère nappe des sables (Continental Terminal)
		(Semi perméable)
	Pontien	2ème nappe des sables (Continental Terminal)
	Eocène Moyen	Substratum
	Eocène Inférieur	Nappe des calcaires (Continental Terminal)
L'ère Secondaire	Sénonien carbonaté	—
	Sénonien lagunaire	Substratum
	Cénomanién	Substratum
	Albien	Nappe Albienne (Continental Intercalaire)

### **Conclusion partielle**

Dans ce chapitre, nous avons présenté et analysé de manière détaillée le contexte géologique et hydrogéologique de la région d'El Oued, en mettant particulièrement l'accent sur les caractéristiques et l'extension de l'aquifère continental intercalaire (CI). Cette analyse a permis de mieux comprendre la structure stratigraphique, la nature lithologique des formations, ainsi que les conditions hydrodynamiques influençant la circulation et le stockage des eaux souterraines dans la région.

Le chapitre suivant sera consacré à la partie expérimentale de notre étude. Il abordera, d'une part, la description du matériel et de la méthodologie adoptés pour l'échantillonnage et l'analyse des données, et, d'autre part, la présentation et l'interprétation des résultats issus des investigations sur terrain.

# **Chapitre 03 : Partie pratique**

## **Matériels et Méthodes**

Dans ce chapitre, et dans le but de mener une étude visant à une gestion raisonnable et durable d'une des ressources en eau de la région d'El-Oued, face aux défis climatiques actuels et aux problèmes liés à l'exploitation des eaux de la nappe profonde du Continental Intercalaire (CI) dans cette wilaya, nous avons présenté la partie « Matériel et Méthodes », décrivant la région d'étude ainsi que les méthodes d'analyse des caractéristiques physico-chimiques de l'eau du Continental Intercalaire. Nous avons ensuite évalué la fiabilité de ces caractéristiques afin de déterminer si elles permettent de répondre aux besoins hydriques de la wilaya, notamment dans les secteurs de la consommation municipale et de l'agriculture. Enfin, nous avons présenté les résultats obtenus ainsi que leur discussion.

### **1-Localisation et caractéristiques de la région d'étude**

La wilaya d'El Oued se trouve au Sud-est de l'Algérie. Elle devint une commune depuis 1957, une wilaya depuis janvier 1984, ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle et de limiter les difficultés dues à l'isolement (Abidi et Touati, 2018). Actuellement, elle se repose sur une superficie égale à 44587 km<sup>2</sup> divisé en 30 communes (décret exécutif, 2021) avec une population de 900000 habitants et une densité de 20,19 hab/km<sup>2</sup> selon le recensement de l'ONS en 2019 (MICT, 2022).

Les limites de la Wilaya sont :

- Au nord, les wilayas de Tebessa, Khenchela et Biskra,
- A l'ouest les wilayas d'El M'Ghair et de Touggourt,
- Au sud la wilaya de Ouargla
- À l'est la Tunisie.

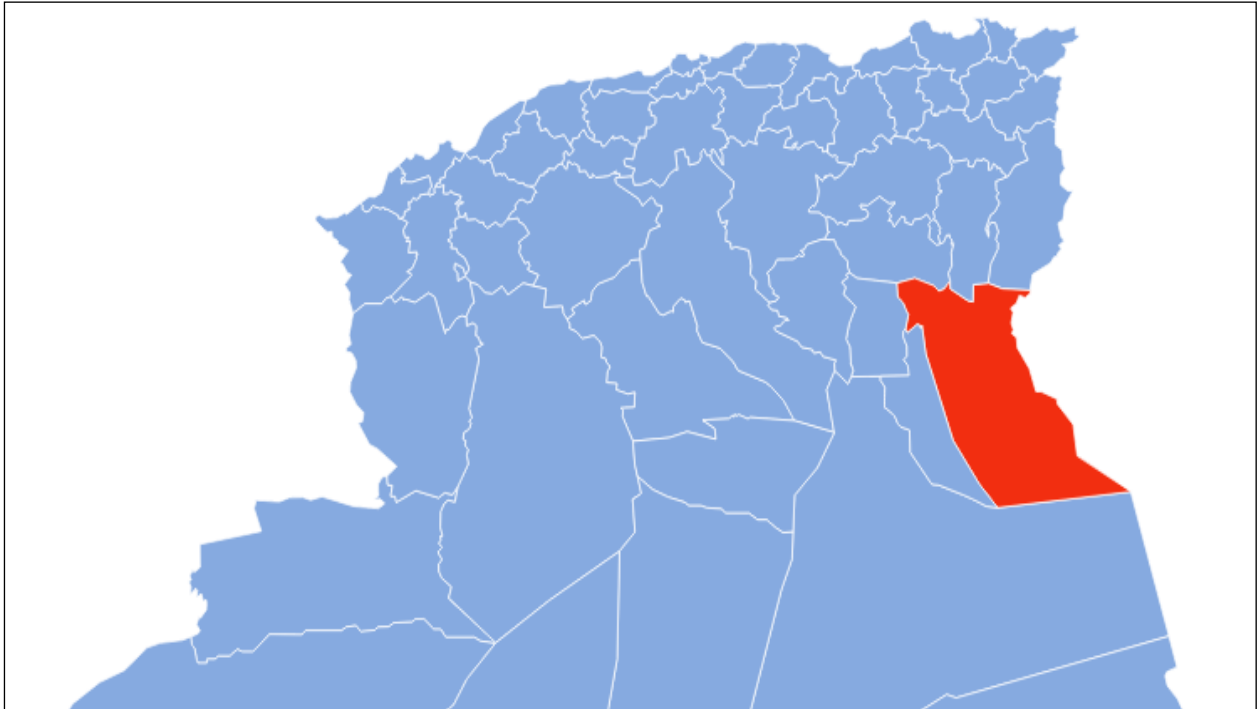


Figure 11 : Localisation de la Wilaya d'El Oued (Wikipedia, 2019)

### 1-1-Climat

Le climat d'El-Oued est caractérisé par une aridité extrême. L'hyper aridité et la chaleur sont ses caractères essentiels de la wilaya (Khaled B , 2012).

Dans cette région saharienne, les précipitations sont très faibles en raison du caractère aride qui domine l'ensemble du Sahara algérien. Les précipitations sont très rares totalisent environ 85 millimètres par an (Djellouli-Tabet, 2010).

### 1-2-Topographique

L'altitude moyenne de la zone est estimée à 46 mètres, avec une nette diminution du sud vers le nord. Dans la partie septentrionale du bassin (vallée de l'Oued Righ et chotts septentrionaux), le niveau descend jusqu'à -20 m sous le niveau de la mer, notamment dans la zone du chott Mérouane (Belkacem *et al*, 2014).

Le relief d'El-Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- Une région sableuse ayant un double aspect ; l'Erg et le Sahara à l'Ouest ;
- Une forme de plateau rocheux qui se prolonge vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses ;

- Une zone de dépression caractérisée par la présence d'une multitude de Chotts qui se prolongent vers l'Est.

Le relief de la région est fortement accidenté, dominé par des chaînes de dunes particulièrement concentrées dans la partie sud-ouest, où elles peuvent atteindre jusqu'à 100 mètres de hauteur. Ces dunes reposent sur une formation quaternaire constituée de plusieurs dizaines de mètres de sable fin d'origine éolienne, compact, homogène et uniforme. On y observe également un grand nombre de dépressions artificielles creusées par l'homme, appelées ghouts, ainsi que des espaces vides entre les dunes connus sous le nom de hounds (Boudjemaa, 2011).

### **1-3-Pédologie**

Le sol d'El-Oued prend deux aspects dont le plus dominant est l'ensemble dunaire qui est constitué par de grandes accumulations sableuses, tandis que l'autre partie est caractérisée par une superficie caillouteuse avec des croutes gypseuses entourées par de hautes dunes (Ghroud), qui leur donnent aussi une forme de cratère, alors qu'à l'Ouest, on trouve la Tefza constituée essentiellement par du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). En outre selon Voisin (2004), le sable de la région est constitué essentiellement de silice (40 à 60%), de gypse (10 à 40%), de calcaire (2 à 20 %) et d'une très faible proportion d'argile (0 à 5%) (Ben doyem, 2015).

### **1-4- Industrie**

Malgré un paysage principalement saharien et agricole pendant longtemps, la région d'El-Oued a connu une lente augmentation de l'activité industrielle au cours des dernières décennies, aidée par des initiatives gouvernementales visant à diversifier l'économie locale et à encourager l'investissement dans les zones arides.

La ville d'El-Oued et les municipalités du nord comme Guemar et Reguiba sont les principaux centres d'activité industrielle. Là, un nombre croissant de petites et moyennes entreprises travaillent dans des industries de transformation agroalimentaire étroitement liées à la production agricole régionale, telles que la préparation et mise en conserve des dattes (Deglet Nour, Ghars, Mech Degla), la fabrication de produits à base de pommes de terre comme l'amidon et les chips, le traitement des arachides cultivées et la transformation traditionnelle du tabac, qui prospère dans le climat de la région (Abdelkader S, 2023).

De plus, El-Oued a vu la croissance des industries plastiques associées à l'emballage agricole (sacs, caisses et conteneurs) et des industries de matériaux de construction qui produisent des

carreaux de céramique, du gypse et des briques d'argile en utilisant des ressources localement accessibles comme le gypse, l'argile et le sable (Ben Dahman Y,2022).

Pour soutenir les initiatives industrielles, plusieurs parcs d'affaires et zones industrielles ont été créés, y compris à l'est de la ville où se trouve la zone industrielle d'El Oued ( Alioui N,2021).

Malgré ces avancées, le secteur industriel d'El-Oued reste de petite envergure et fait face à plusieurs obstacles structurels, notamment les expertises techniques insuffisante, l'incorporation inadéquate dans les chaînes d'approvisionnement nationales, des dépenses élevées pour le transport, Manque d'une infrastructure logistique solide pour faciliter le marketing interrégional (Mansouri L ,2020).

### **1-5- Agriculture**

Dans la région de l'El-Oued, l'agriculture est l'épine dorsale de la vie économique. En raison de l'aridité extrême de la région et les précipitations annuelles très faibles, l'agriculture s'est historiquement adaptée grâce à des techniques créatives des fellahs locaux pour irriguer les cultures.

Précédemment, Le "système Ghout," été une méthode basée sur les oasis dans laquelle les agriculteurs creusent des bassins dans les dunes de sable pour planter des palmiers dattiers directement dans des couches de sol qui retiennent l'humidité. L'irrigation naturelle à partir de nappes phréatiques peu profondes est rendue possible par ce système, qui réduit également l'évapotranspiration. La culture intercalaire d'herbes aromatiques, de légumineuses et de légumes a été aussi exercée (Daich,Setal,2025).

En raison de l'accroissement des activités agricoles dans les dernières années, l'accès aux puits profonds et les subventions agricoles ont alimenté une tendance récente vers une agriculture intensive basée sur les eaux souterraines. De nos jours, les légumes de serre, les vastes plantations de palmiers dattiers et des cultures comme les pommes de terre, les arachides et les céréales prédominent. Dans certains endroits, les niveaux des aquifères ont baissé de plus de 30 mètres entre 2016 et 2021 en raison de ce changement, ce qui a entraîné une extraction excessive d'eaux souterraines (Mokhnane T *et al*, 2023).

### **1-6- Tourisme**

L'architecture traditionnelle de la région est un atout majeur. El Oued connue sous le nom de "Ville aux Mille Coupoles" en raison de l'utilisation extensive de toits en forme de dômes faits d'argile et de troncs de palmiers dans le passé. En plus d'être visuellement frappantes, ces structures sont respectueuses de l'environnement, régulant la chaleur dans ce climat rigoureux (UNESCO, 2012).

Les merveilles naturelles telles que les lacs salés, les paysages de dunes, les roches roses fossilisées et les rencontres avec des animaux du désert comme les renards fennecs offrent des opportunités d'écotourisme encore largement inexploitées. Particulièrement pendant les festivals saisonniers et les marchés traditionnels, l'environnement désertique autour de la région offre des conditions parfaites pour des excursions guidées dans le sable, le tourisme photographique et l'immersion culturelle (Benkahla N, 2021).

En plus des petits hôtels et des maisons d'hôtes, un certain nombre d'établissements hôteliers ont été construits, tels que le populaire La Gazelle d'Or, situé à l'extérieur d'El Oued. Malgré ces initiatives, le tourisme dans la région d'El-Oued continue de faire face à des obstacles tels que les plans médiocres de marketing, la pénurie de personnel formé à la gestion du tourisme durable et des infrastructures inadéquates. Néanmoins, les initiatives actuelles des Organisation Non Gouvernementale et des agences gouvernementales locales visent à développer des circuits touristiques pour soutenir les marchés artisanaux et à encourager le tourisme communautaire (Messaoudi L, 2020).

## **2-Méthode d'échantillonnage**

Comme présenté par la figure 12, deux types d'eau de la nappe Continental intercalaire (CI) ont été prélevés : eaux de forage albien de 19 mars, et eaux de forage albien mix situé au station de dessalement de l'eau d'EL-Oued (figure 13 et 14 ). Les échantillons d'eau ont été prélevés au hasard.

La répétition de prélèvement d'échantillonnage été 03 fois chaque semaine de mois Mars jusqu'au mois de Mai de l'année 2025 selon la possibilité de réalisation d'échantillonnage et capacité d'analyses dans les laboratoires. Donc nous avons  $n=24$  pour chaque type d'eau. Ces échantillons ont ensuite été transportés aux deux différents laboratoires étatiques de l'Algérienne des Eaux de la wilaya d'El-Oued pour les analyses requises.

Le transport et la conservation d'échantillons ont été effectués de telle sorte que la composition de l'eau ne soit pas modifiée à son arrivée aux laboratoires. Il est important que l'eau ne subisse pas de variation de température susceptible de modifier le résultat d'analyse.



Figure 12 : deux types d'eaux de forage analysées, a :eau de forage 19 mars, b : eau

Le choix des points d'échantillonnage été en fonction de la source des prélèvements des eaux de forages pour les analysées au laboratoire. la figure 12 présente la zone d'étude.

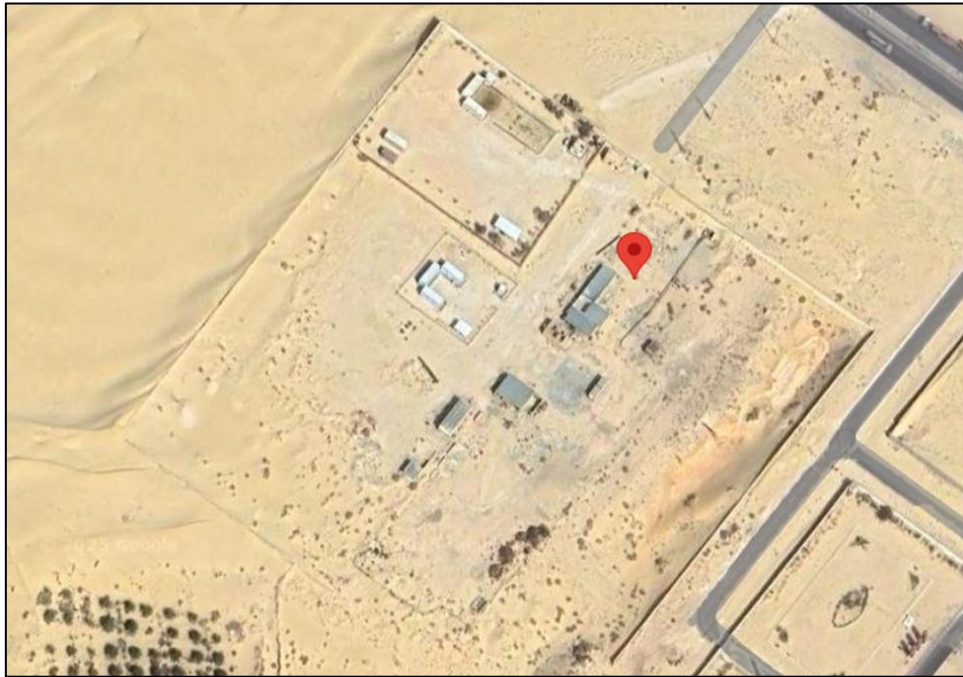


Figure 13 : point d'échantillonnage des eaux de forage 19 Mars dans la zone d'étude (Google earth, 2025).



Figure 14 : point d'échantillonnage des eaux de forage MIX dans la zone d'étude (Google earth, 2025).

### 3-Matériel Utilisé

On a utilisé différents appareils et instruments pour notre analyse de recherche, les figure 15 jusqu'au 18 présentent quelques appareils et outils analytiques exploités. Le tableau suivant (Tableau 3) montre les paramètres, les appareils, et les méthodes d'analyses qu'on a suivi pour l'analyse de l'eau expérimentale.



Maioua, F. (2025)

Figure 18 : Conductimètre, thermomètre et pH-mètre.



Maioua, F. (2025)

Figure 17 : Spectrophotomètre UV-VIS.



Maioua, F. (2025)

Figure 16: Étuve de laboratoire Binder.



Maioua, F. (2025)

Figure 15 : Étuve de laboratoire (Binder).

**Tableau 3:** Méthodes physico-chimiques d'analyse des échantillons d'eau

Paramètre	Appareil	Méthode de travail
Température	Thermomètre à sonde	-
pH	pH-meter	NF T90-008
Conductivité électrique	Conductimètre	NF T90-031
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Spectrophotometer UV-Visible	Méthode Allemande
TH	Titration avec solution EDTA	Titration par chélation

### 3-1-Détermination de température

La température de l'eau joue également un rôle essentiel dans le contrôle de la composition chimique de l'eau souterraine (Boudoukha et Athamena, 2012).

La température est reconnue que les variations des températures de l'air s'estompent au-delà de 3 m de profondeur et que la température des eaux souterraines est invariable au cours de l'année (Petit et Erpicum, 1987). La solubilité des minéraux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol (Debieche, 2002). La valeur de température des eaux analysées est lue directement sur l'écran du Thermomètre-mètre.

### 3-2-Détermination de potentiel hydrogène (pH)

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène [H<sup>+</sup>] présents dans l'eau. Ce paramètre est un indicateur important de la qualité de l'eau et permet de s'assurer qu'elle est conforme aux normes de l'utilisation humaine. La valeur du pH est lue directement sur l'écran de l'appareil de pH mètre pH 510 Tetracon® après l'immersion d'une électrode spécifique de pH dans l'échantillon.

### 3-3-Détermination de Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau augmente avec la teneur en sels électrolytables dissous, la valeur de la CE est lue directement sur l'écran du conductimètre Terminal 740. On analyse la conductivité électrique (CE) des eaux de forage albien pour estimer la salinité et la présence de minéraux et la qualité générale de l'eau de cette nappe. Les figures 18 et 19 montrent le travail pratique dans le laboratoire d'analyse d'eau.



Figure 19 : Préparation des échantillons d'eaux dans le laboratoire.

### 3-4-Détermination des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Nous avons déterminé la concentration des ions sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dans l'eau par spectrophotométrie (Figure 20) après précipitation sous forme de  $\text{BaSO}_4$ . Par les réactifs suivants :

- Solution mère de sulfates (1 g/l) : 1,479 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  / 1000 ml  $\text{H}_2\text{O}$
- Solution stabilisante : 60 ml HCl, 200 ml éthanol, 150 g NaCl, 100 ml glycérol, Q.S.P. 1000 ml
- Solution de chlorure de baryum : 150 g  $\text{BaCl}_2$ , 5 ml HCl, Q.S.P. 1000 ml eau

**Le mode d'action était comme suit :**

Pour déterminer la teneur en ions sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nous avons dilué 20 mL de l'échantillon à 100 mL avec de l'eau distillée, puis nous avons ajouté 5 mL de solution stabilisante. Ensuite, nous avons incorporé 2 mL de chlorure de baryum ( $\text{BaCl}_2$ ) et agité énergiquement pendant une minute afin de favoriser la formation du précipité. Nous avons mesuré l'absorbance de la solution obtenue à une longueur d'onde de 420 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.



Figure 20 : Analyse des sulfates dans les échantillons d'eaux dans le laboratoire.

**3-5-Détermination du Titre Hydrotimétrique (TH)**

La mesure de Titre Hydrotimétrique (TH) c'est pour connaître la dureté de l'eau (Figure 21), c'est-à-dire sa concentration en sels minéraux, principalement les sels de calcium et de magnésium. La détermination de TH permet aussi de contrôler l'entartrage des appareils et des canalisations d'eau. Nous avons analysé la dureté totale de l'eau en °f par le titrage avec l'EDTA (Figure 21). Nous avons utilisé les réactifs suivants :

- EDTA 0,01 mol/L
- Tampon pH 10
- Indicateur noir d'ériochrome (NET)

- Échantillon d'eau
- H<sub>2</sub>O distillée

Pour cette analyse, nous avons suivi le mode opératoire suivant :

Nous avons prélevé 10 mL d'eau dans un erlenmeyer et propre ajouté 40 mL d'eau distillée afin de le diluer, puis nous avons ajouté 4 mL de solution tampon à pH 10 afin de stabiliser le milieu. Ensuite nous avons incorporé quelques gouttes d'indicateur (NET), ce qui a donné à la solution une couleur rouge vin. Le titrage a été effectué à l'aide d'une solution d'EDTA jusqu'au virage net de la couleur vers le bleu, marquant le point final de la réaction.



Figure 21 : Étalonnage de la détection du TH (titre hydrotimétrique) au laboratoire.



Figure 22 : Utilisation d'une solution d'acide éthylène-diaminetétra-acétique (EDTA) pour l'analyse de TH.

#### 4-Analyses statistiques

Le logiciel Microsoft Excel a été utilisé pour organiser, traiter et visualiser les données brutes recueillies lors des deux forages (eaux de forage mix et eaux de forage 19 mars). Les paramètres physico-chimiques mesurés (température, pH, conductivité électrique, Sulfates, Dureté) ont été consignés dans des tableaux structurés, puis traités pour obtenir des moyennes, des minimums, des maximums des données, et de représentations graphiques linéaires. Donc, le logiciel Excel a permis de comparer visuellement les deux types d'échantillons étudiés, observer les tendances générales, et juger de la dispersion au cours du temps.

## Résultats et discussion

Dans cette partie on traite nos résultats de recherches après le prélèvement et les analyses des échantillons d'eaux au laboratoire. À partir de notre étude, nous sommes parvenus aux résultats suivants :

### 1-Température

Les températures mesurées dans les deux eaux de forages et présentées dans la figure 23 varient considérablement en fonction du moment où les échantillons ont été prélevés. Les températures dans le forage albien MIX varient de 15.1°C 57.7°C avec une moyenne de 49.24. Dans le forage du 19 mars, elles varient entre 50.2 °C et 58.1 °C avec une moyenne de 55.26 La moyenne de température des eaux de forage MIX sont inférieures à la température moyenne de forage 19 Mars. Nous pouvons dire que ces températures dépendent de la profondeur des forages, le type de sol qu'ils ont traversé, ainsi que le moment ou les conditions de l'échantillonnage sont prélevés. Autant de facteurs qui pourraient expliquer ces différences. La température de l'eau est très importante car elle affecte la solubilité des sels minéraux, la conductivité électrique et la stabilité chimique globale. D'après nos résultats, nous avons constaté que les eaux analysées des deux forages ne respectent pas les normes algériennes (Décret exécutif, 2014) relatives à la température des eaux potables. Donc nous pouvons aussi confirmer les recherches de, Chaib.W(2016) dans le même contexte d'étude. Une température élevée aide généralement les sels à se dissoudre, ce qui rend la formation de minéraux plus probable. D'autre part, une basse température ralentit généralement l'activité ionique.

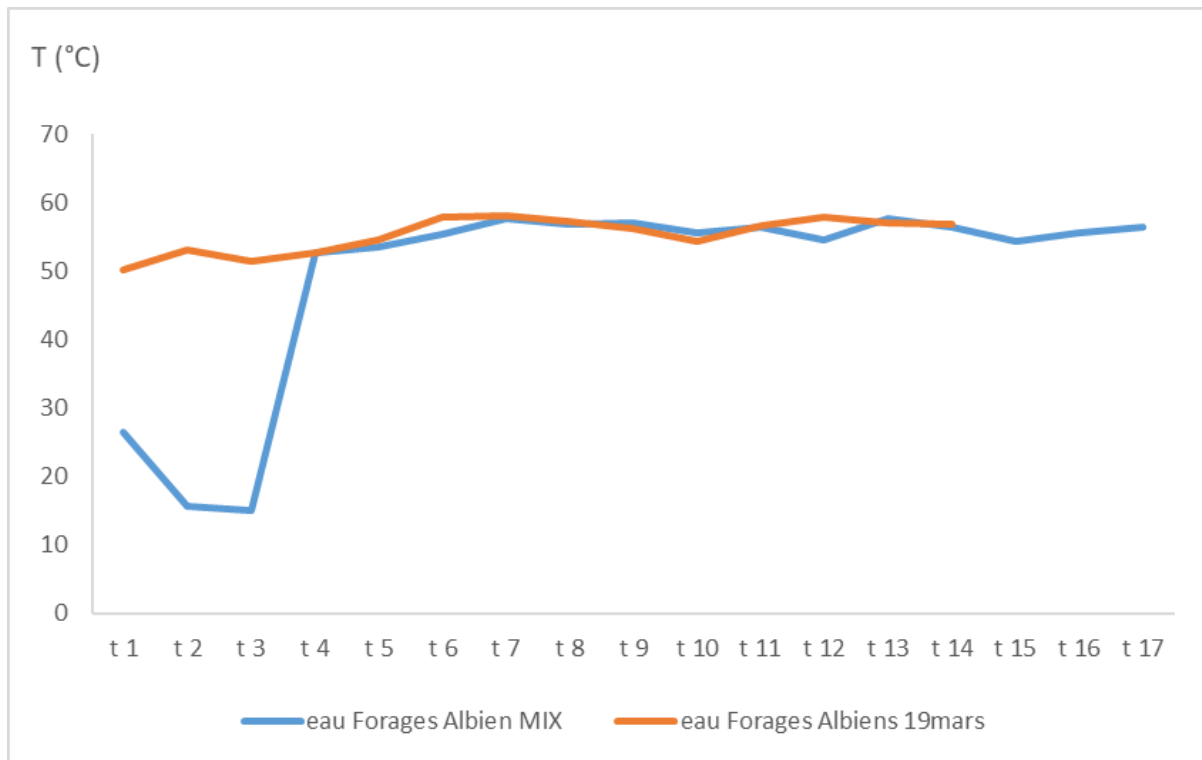


Figure 23 : Évolution temporelle des températures des deux types d'eaux analysées. t présente les dates de prélèvements.

## 2-Potentiel Hydrogène (pH)

La figure 24 expose le pH examiné dans les deux eaux des forages, il est légèrement alcalin. Le pH des eaux de forage MIX varie entre 7.05 à et 7.48 avec une moyenne de 7.21. Concernant les eaux du 19 mars, le pH est oscillé entre 7.38 et 7.95 avec une moyenne de 7.66. D'après nos résultats, ce paramètre qui est encore dans la plage de sécurité pour l'eau potable dépend complètement de la loi algérienne (6,5 à 8,5 9). De plus, nos résultats confirment les résultats de Bouselsal, B., & Saibi, H. (2022) qui ont aussi trouvé que ce paramètre est conforme aux normes algériennes.

Cette alcalinité d'eau est probablement dû à la formation naturelle de minéraux dans le sol, ce qui est courant dans les zones riches en calcaire.

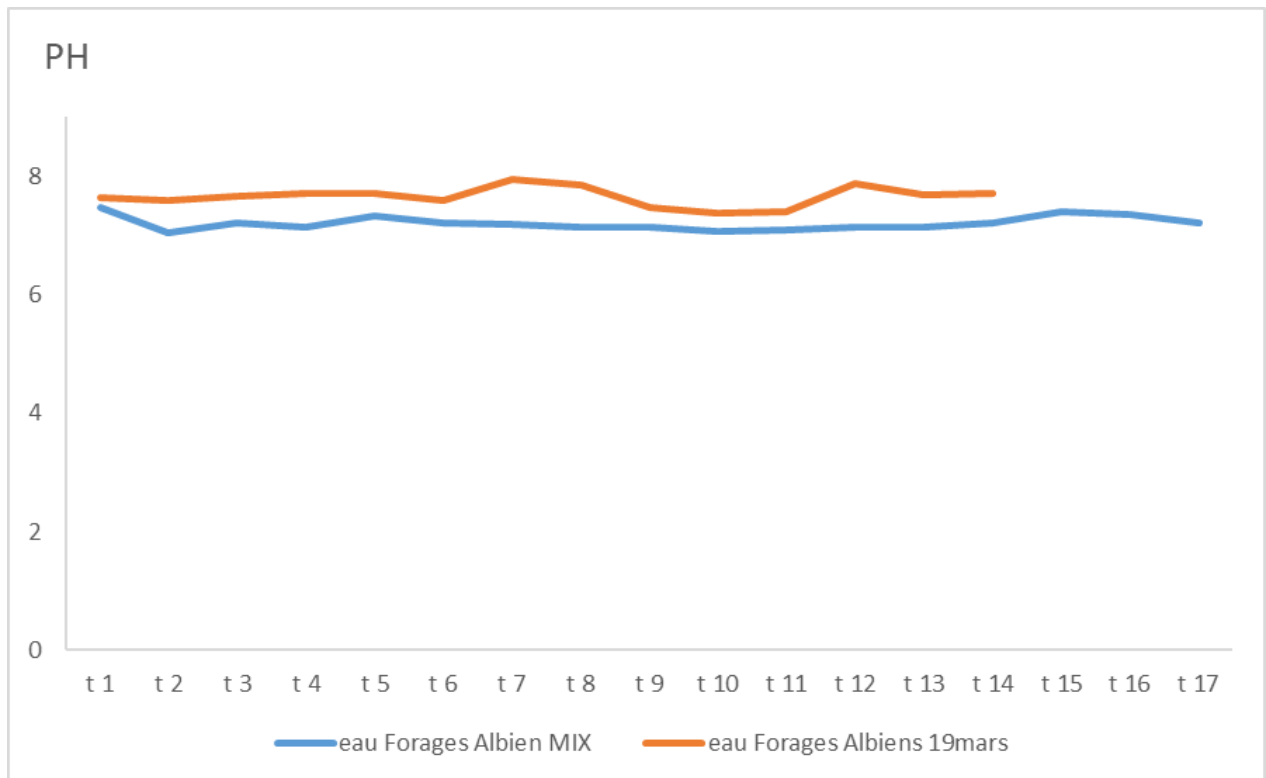


Figure 24 : Évolution temporelle de potentiel Hydrogène des deux types d'eaux analysées. t présente les dates de prélèvements.

### 3-Conductivité électrique (CE)

Nos résultats ont montré que la conductivité électrique de l'eau de forage 19 mars variait de 2.78 à 2.85 mS/cm avec une moyenne de 2.82. Pour les eaux des eaux de forage Mix, la CE variait de 2.72 à 2.86 mS/cm avec une moyenne de 2.81 (Figure 25). Cela signifie que les eaux souterraines des deux forages étudiés (forage MIX et forage 19 mars) contenaient une grande quantité de minéraux. Nous avons remarqué que les CE des eaux de sont presque similaires.

aux eaux de forage MIX. Ces résultats sont conformes au seuil de 2,8 mS/cm pour l'eau potable dans les normes nationales algériennes (Décret exécutif, 2014). Ces résultats montrent qu'il y a beaucoup de sels dissous dans l'eau. Selon Meybeck (1986), les fluctuations globales de la minéralisation de l'eau peuvent être traduites par la détermination de la conductivité électrique de l'eau qui est une fonction linéaire des ions dissous.

Nos résultats peuvent être due aux formations géologiques riches en roches évaporitiques ou carbonatées et à la dissolution des évaporites qui constituent l'aquifère de Continentale Intercalaire.

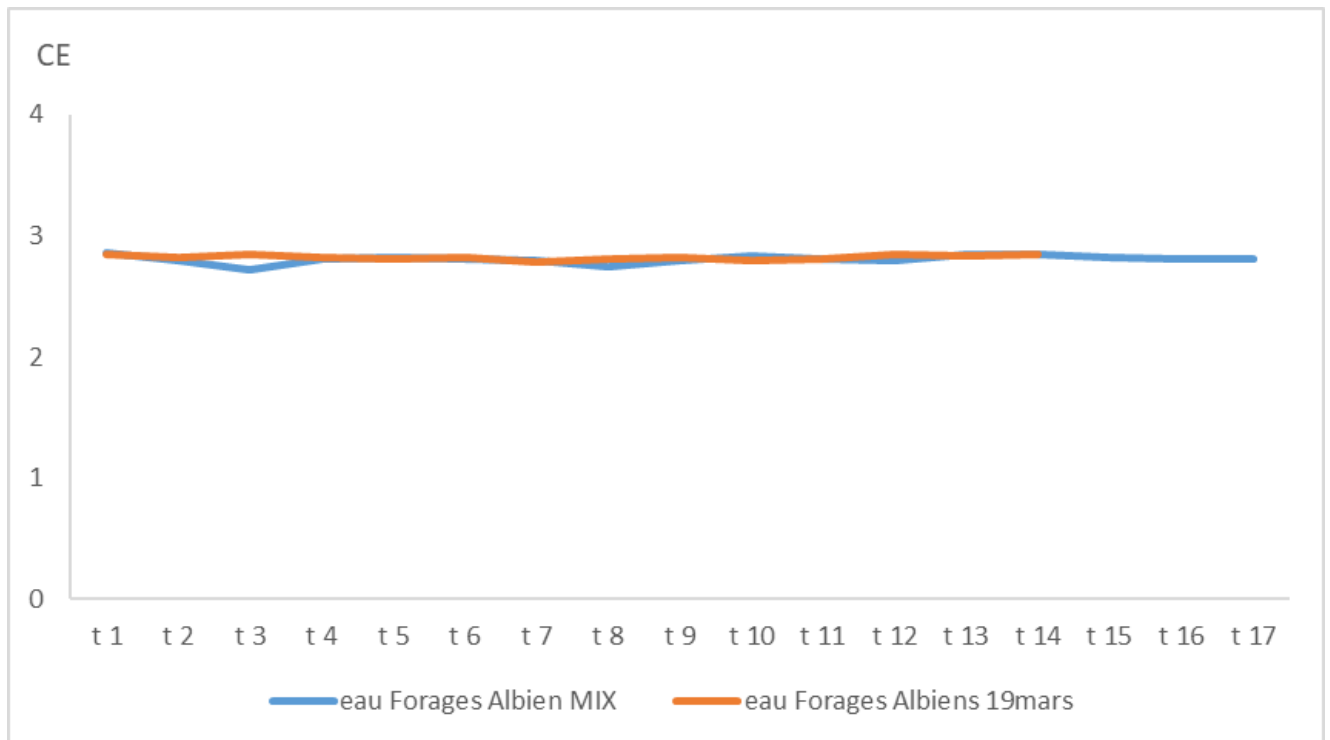


Figure 25 : Évolution temporelle de conductivité électrique des deux types d'eaux analysées.  
t présente les dates de prélèvements.

#### 4-Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Nos résultats pour les eaux de forage de 19 mars ont montré que la concentration en  $\text{SO}_4^{2-}$  varie entre un minimum de 613mg/l et un maximum de 650 mg/l avec une moyenne de 630.57. En outre, les résultats de cet élément dans les eaux de forage Mix étaient entre un minimum de 603 mg/l et un maximum de 650 mg/l avec une moyenne de 626.47 (Figure 26). Nous avons remarqué, que presque similaires. Nous avons confirmé que nos résultats sont supérieurs à la limite recommandée (250 400 mg/l) pour l'eau potable selon les normes nationales algériennes (Décret exécutif, 2014). La dissolution des minéraux comme le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) présente dans les formations géologiques dans l'aquifère étudié peut être à l'origine de cette surcharge en élément de sulfates. De plus, une telle concentration montre un niveau élevé de minéralisation, ce qui est courant dans les aquifères des zones arides comme la région d'El-Oued. Des recherches ont dit que les niveaux élevés de sulfates peuvent donner à l'eau un goût amer et provoquer des effets laxatifs chez les personnes qui n'y sont pas habituées.

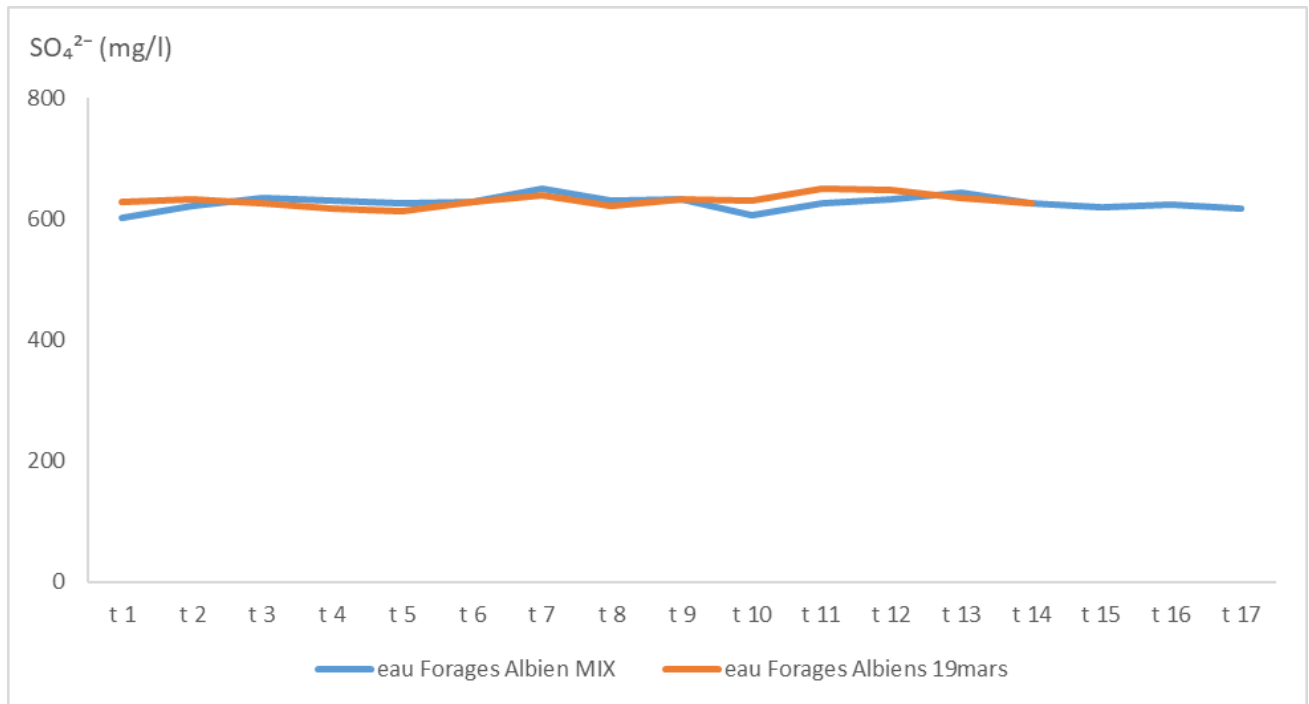


Figure 26 : Évolution temporelle de sulfates des deux types d'eaux analysées. t présente les dates de prélèvements.

### 5-Titre hydrotimétrique (TH)

Nos résultats dans la figure 27 pour les eaux de forage de 19 mars ont exhibé que la concentration en  $\text{SO}_4^{2-}$  varie entre un minimum de 760 mg/l et un maximum de 900 mg/l avec une moyenne de 819.29. En outre, les résultats de cet élément dans les eaux de forage Mix étaient entre un minimum de 720 mg/l et un maximum de 1100 mg/l avec une moyenne de 849.41 mg/l.

Les TH des eaux de forage Mix sont supérieurs par rapport au forage de 19 mars.

Nos résultats signifient que l'eau est très dure selon la classification hydrotimétrique suivante :

- TH < 10°f : eau très peu dure
- 10 < TH < 20 °f : eau peu dure
- 20 < TH < 30 °f : eau dure
- TH > 30 °f : eau très dure.

La dureté élevée de ces deux types d'eaux est principalement due à la forte concentration d'ions de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) qui sont présents en grande quantité. Ce niveau de dureté est courant dans les aquifères qui ont été en contact avec des formations carbonatées pendant une longue période. Bien que la dureté ne constitue pas une menace directe pour la santé humaine, elle a des effets techniques indésirables, tels que l'entartrage des installations, la réduction de l'efficacité des détergents et des coûts plus élevés pour le traitement de l'eau à domicile ou dans l'industrie. Ces chiffres dévoilent que les eaux souterraines de la région étudiée sont très minéralisées.

Nous avons noté que les résultats de notre analyse de TH dépassent fortement les normes algériennes de l'eau potable pour les deux forages, ce paramètre ne doit pas dépasser 500 °F.

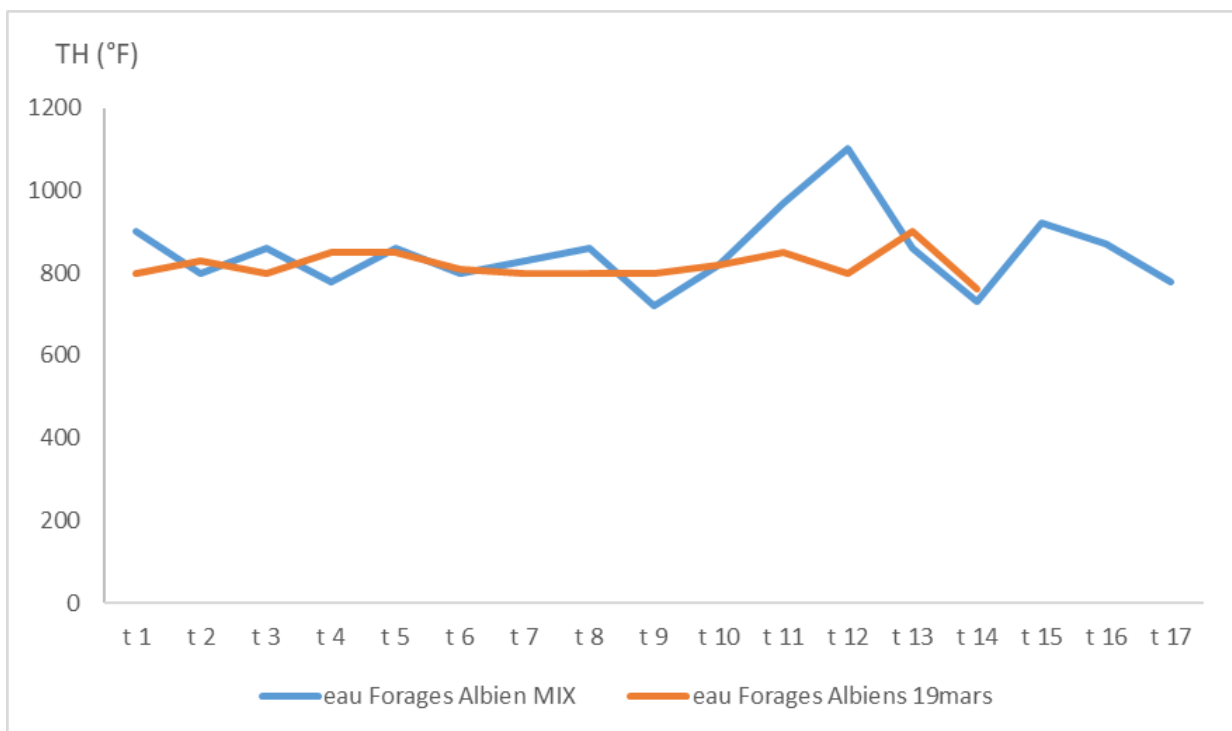


Figure 27 : Évolution temporelle de titre hydrotimétrique des deux types d'eaux analysées.

t présente les dates de prélèvements.

# Conclusion Générale

## **Conclusion Générale**

Ce travail de recherche nous a permis d'effectuer une analyse approfondie pour répondre à notre problématique pour les eaux de la nappe la plus profonde « CI ». Nous avons focalisé sur le cas critique de la région d'El-Oued en Algérie.

Les eaux de la nappe de continentale intercalaire de la région d'El-Oued ont révélé une minéralisation très élevée, avec des teneurs en sulfates d'une moyenne de 629,7 mg/l. Ce paramètre dépasse largement les normes algériennes des eaux potables pour les eaux de forage 19 Mars. Donc on a un risque de l'encroûtement et de corrosion des systèmes d'irrigation.

Nous avons aussi constaté que les températures de cette nappe albienne sont très élevées. Cette dernière peut accentuer les processus de dissolution et de minéralisation, rendant leur utilisation directe impossible sans un traitement préalable approprié. Cette température trop élevée peut aussi causer une dilatation et détérioration des installations comme les pompes et les membranes. Les températures d'eau acceptable pour l'utilisation sont 25 °C selon les normes algériennes.

Le Titre Hydrotimétrique de la nappe de continentale intercalaire dans la région d'El-Oued est élevé. Cet indicateur de la dureté de l'eau qui exprime la concentration en ions calcium et magnésium peut favoriser l'entartrage, ce qui, dans certains cas, peut indirectement affecter les installations. De plus l'eau dure peut causer du tartre.

En outre, nos résultats ont prouvé que le potentiel hydrogène dans cette nappe est dans les normes algérienne des eaux potables avec une moyenne de 7,27 pour les eaux de forage 19 Mars. Pour le forage MIX cette valeur a une moyenne de 7,27. Nous avons confirmé que le pH de la nappe de continentale intercalaire dans la région d'El-Oued est légèrement alcaline mais très proche de la neutralité, indiquant un bon équilibre chimique naturel.

En addition, la conductivité électrique de l'eau de la nappe de continentale intercalaire dans la région d'El-Oued a une valeur moyenne presque acceptable ; elle est élevée mais elle ne dépasse pas les normes limites algériennes des eaux potables. Cette valeur indique une eau avec une concentration de sels supérieure, ce qui peut signifier qu'elle est chargée en minéraux.

Face à l'accélération des changements climatiques, nos conclusions mettent en lumière l'impérative nécessité d'une transition urgente vers une gestion intégrée, durable et résiliente de

l'eau de cette nappe albiennne, où cette dernière est considérée comme un élément central de l'écosystème saharien dans la région d'El-Oued. Pour répondre aux défis identifiés dans notre étude, nous recommandons les actions suivantes, structurées en axes prioritaires :

- Pour l'irrigation des plantes, il faut refroidir ces eaux pour qu'elles soient utilisables et pour éviter le danger de brûlure des plantes et la mort des micro-organismes utiles du sol.
- Mélanger graduellement avec une autre source d'eau plus froide pour abaisser la avant irrigation,
- Protéger les infrastructures et les opérateurs par une méthode d'isolement des conduites et utiliser tuyauterie et vannes résistantes à la chaleur dans le but de prévenir brûlures lors des manipulations,
- Réduction des ions de sulfates par des traitements économiques et efficaces.

# **Référence bibliographique**

## Références Bibliographiques

1. Abdelazim M. Negm, 2012. Water Resources in Algeria - Part II: Water Quality, Treatment, Protection and Development. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-57887-9
2. Abdelkader, S. (2023). Industries transformatrices dans les régions sahariennes : L'histoire d'Oued Souf. *Journal du Développement Durable*, 15, 55–70.
3. Abidi, H., & Touati, S. (2018). Application du SIG pour déterminer la qualité physico-chimique des eaux des forages destinées à l'AEP dans la région du Souf [Rapport universitaire]. Université Hamma Lakhdar El-Oued.
4. Algérie Presse Service. (2022, date). Ressources en eau: taux de remplissage des barrages à 37,9%.
5. Anctil, F. (2012). Seasonal hydrologic forecasting in a changing climate using Bayesian neural networks. *Hydrology and Earth System Sciences*, \*16\*, 2007–2021.
6. ANRH. (1993). Diverses synthèses et inventaires hydrogéologiques et lithostratigraphiques [Archives internes]. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Algérie.
7. Aroua, N. (sans date). Les ressources en eau dans le schéma national d'aménagement du territoire en Algérie. Entre nécessités économiques et exigences écologiques.
8. ASCD. (2004). Les glaciers.
9. Baba Sy, M. (2005). Étude géostructurale du bassin d'El Oued (Grand Erg Oriental) [Thèse de doctorat, Université de Ouargla].
10. Bensaad, A. (2016). La gouvernance de l'eau en Algérie : entre centralisation et participation. *Insaniyat*, \*72\*.
11. Bensaadallah, M. (2020). Caractérisation des précipitations en Algérie : variabilité et extrêmes. *Revue Climat et Environnement Maghrébins*, \*4\*(1), 22-35.

12. Bazzini, M. (2016). Réforme des institutions de gestion de l'eau en Algérie : bilan et perspectives. *Revue Algérienne des Sciences Juridiques et Politiques*, \*54\*(3), 421-439.
13. Bel, F., & Demargne, F. (1966). Étude géologique du Continental Terminal (Rapport technique No. 24 planches). Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).
14. Belkacem, S., Benaabidate, L., & Hani, A. (2014). Vulnérabilité et risque de pollution de la nappe phréatique dans la région de Ouargla (Sud-Est algérien). *Revue des Sciences de l'Eau*, \*27\*(3), 243–256.
15. Benammar, A., Bacha, S., & Djabri, L. (2015). Contribution à l'étude hydrogéologique du Continental Intercalaire (CI) dans la région du Souf (Sud-Est algérien). *Larhyss Journal*, \*23\*, 7–21.
16. Ben Dahman, Y. (2022). Économie du gypse et des matériaux de construction dans le sud-est de l'Algérie. *Journal of Regional Economics*, \*9\*, 113–128.
17. Ben Doyem, S. (2015). Contribution à l'étude de l'hyperfluoruration des eaux souterraines de région d'EL –Oued (souf) et ses conséquences sur la santé humaine [Thèse de master, Université Echahid Hamma Lakhdar-El-Oued].
18. Benkahla, N. (2021). Opportunités pour l'écotourisme dans les zones désertiques d'Algérie : L'histoire d'El Oued. *Desert Studies Journal*, \*18\*(1), 92–108.
19. Benmouna, Z. (2024). Sécurité hydrique et justice environnementale dans les pays du Sud. *Éthique et Environnement*, \*21\*(1), 101-120.
20. Berdugo, M., et al. (2020). Global ecosystem thresholds driven by aridity. *Science*, \*367\*(6479), 787–790.
21. Bernacchi, C. J., Kimball, B. A., Quarles, D. R., Long, S. P., & Ort, D. R. (2007). Decreases in stomatal conductance of soybean under open-air elevation of [CO<sub>2</sub>] are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration. *Plant Physiology*, \*143\*, 134–144.

22. Best, J. (2018). Anthropogenic stresses on the world's big rivers. *Nature Geoscience*, \*12\*(1), 7–21.
23. Bontoux, F. (1993). La pollution des eaux superficielles : vulnérabilité et traitements. *Revue Française d'Hydrologie*, \*24\*(3), 45-58.
24. Boudjema Agoudjil, et al. (2011). Numerical modelling of the effective thermal conductivity of heterogeneous materials. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, \*24\*(4), 537–560.
25. Boudjadja, A., & Pauc, M. M. H. (2003). Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Revue des Sciences de l'eau / Journal of Water Science*, \*16\*(3), 285–304.
26. Boudjouka, A., & Athamena, M. (2012). Caractérisation des eaux thermales de l'ensemble Sud Sétifien, Est Algérien. *Revue des sciences de l'eau*, \*25\*(2), 103-119.
27. Boualem, B., & Belksier, M. S. (2018). Caractérisation géochimique de l'aquifère de Complexe Terminal de El - Oued (SE Algérie). *Journal International des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement*, \*3\*, 74–80.
28. Bouketta, A. (2020). Les contraintes de la gestion de l'eau en Algérie : diagnostic et solutions. *Insaniyat*, \*87-88\*, 115-130.
29. Bouketta A, Belaib I (2020). Contribution à la prévision de la demande en eau en Algérie. Mémoire de Master, Centre Universitaire Abdel Hafid Boussouf – Mila.
30. Bouselsal, B. (2016). Hydrogéochimie et qualité des eaux de la nappe du Sénonien dans la région d'El Oued [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba].
31. Bouselsal, B., & Saibi, H. (2022). Evaluation of groundwater quality and hydrochemical characteristics in the shallow aquifer of El Oued region (Algerian Sahara). *Groundwater for Sustainable Development*, \*17\*, Article 100747.
32. Bouziani, M. (2006). Climat et ressources en eau en Algérie : impacts des sécheresses récentes. Éditions Dar El Gharb.

33. Bouziane, M. T., & Kharoubi, R. (2022). Le cycle hydrologique : fondamentaux et applications en zones arides. Mémoires du Service Géologique National de l'Algérie, \*15\*, 77-89.
34. Bouchareb, N. (2024). Vers une gestion durable et intégrée des ressources en eau en Afrique du Nord. Revue Méditerranéenne de l'Environnement, \*10\*(1), 55-70.
35. Chaib, W. (2016). L'effet des eaux chaudes albiennes sur l'homme et l'environnement de la région d'Oued Righ, Sud-Est Algérien [Thèse de master, Université Kasdi Merbah Ouargla].
36. Côte, M. (1998). Des oasis malades de trop d'eau? Science et changements planétaires / Sécheresse, \*9\*(2), 123-130.
37. Côte, M. (2006). Si le Souf m'était conté, comment fait et se défait un paysage. Éditions Média-plus.
38. Daich, S., Saadi, M. Y., Santoro, A., Piras, F., & Boumaraf, B. (2025). Spatiotemporal analysis, monitoring, and future prediction of land use/land cover changes in Ghouts: a sustainable agricultural system in the El Oued Oases, Algeria. Environmental Monitoring and Assessment, \*197\*(9), 1-34. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-12345-1>
39. Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change, \*3\*, 171–177.
40. Debieche, T.-H. (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien [Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté].
41. Décret exécutif n° 14-125 du 29 Rabie Ethani 1435 correspondant au 29 février 2014 fixant les caractéristiques de qualité des eaux de consommation humaine. (2014, 2 mars). Journal Officiel de la République Algérienne, \*14\*.

42. Décret exécutif. (2021). La composition, la consistance et les limites territoriales des communes. Journal officiel de la république Algérienne, 26-28.
43. Djehiche, A., Boutaghane, H., & Djabri, L. (2017). Vulnérabilité à la pollution du système CI-CT du Sahara septentrional algérien. Journal of Water and Land Development, \*35\*, 57–64.
44. Djellouli-Tabet, Y. (2010). Common Scarcity, Diverse Responses in the Maghreb Region. In G. Schneier-Madanes & M.-F. Courel (Éds.), Water and Sustainability in Arid Regions (p. 71-84). Springer Science + Business Media. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2776-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2776-4_6)
45. Dong, Z., Li, J., & Zhang, L. (2020). Influence of desertification on groundwater resources in China. Water, \*12\*(5), 1286.
46. Dussart, B. (1992). Limnologie : l'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars.
47. Fabre, J. (1976). Introduction à la géologie du Sahara algérien. SNED.
48. Ferry, J. N. (2017). Sédimentologie et stratigraphie séquentielle de l'Albien du bassin saharien. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, \*28\*(1), 1-18.
49. Fouché, O. (2016). Hydrogéologie : science, techniques et gestion de l'eau souterraine. De Boeck Supérieur.
50. Foucault, A., & Raoult, J.-F. (2005). Dictionnaire de géologie. Dunod.
51. Frérot, A. (2011). Gestion de l'eau : vers de nouveaux modèles. Veolia Environnement.
52. George, G. (2004). Impact of drought on aquifer recharge in the Sahel. Hydrogeology Journal, \*12\*, 324–331.
53. Gonzalez, M. (2012). Processus d'infiltration et recharge des aquifères. Dans Hydrologie des Zones Arides (p. 101-120). Presses Universitaires de France.
54. Gaudiaut, T. (2024, janvier). Pénurie d'eau : 5 milliards de personnes concernées en 2050 ? Statista Daily Data.

55. Gray, S. B., et al. (2016). Intensifying drought eliminates the expected benefits of elevated carbon dioxide for soybean. *Nature Plants*, \*2\*, 16132.
56. Gréve, P., Wada, Y., & Hanasaki, N. (2018). Regional water scarcity under current and future climate. *Scientific Reports*, \*8\*, 1052.
57. Guirous, L. (2010). Les barrages : conception, maintenance et impacts environnementaux. Office des Publications Universitaires.
58. Heggy, E., Sharkawy, Z., & Abotalib, A. Z. (2021). Egypt's water budget deficit and suggested mitigation policies for the Grand Ethiopian Renaissance Dam filling scenarios. *Environmental Research Letters*, \*16\*(7), 074022.
59. Herrera, V., et al. (2017). Recent declines in nitrogen concentrations in European surface waters. *Global Biogeochemical Cycles*, \*31\*(12), 1703–1717.
60. Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, \*319\*(1-4), 83–95.
61. Itchir, F. (2015). Physique des nuages et mécanismes de précipitation [Notes de Cours]. École Nationale de la Météorologie, Alger.
62. Jaillet, S. (2018). Hydrogéologie : objets, méthodes, applications (5e éd.). Dunod.
63. Kadri, S. R., & Chaouche, S. (2018). La remontée des eaux dans la région du Souf : une menace sur un écosystème oasien. *Les Cahiers d'EMAM*, \*30\*.
64. Karpoff, M. (1952). Étude géologique du Sahara septentrional. Publications du Service Géologique de l'Algérie.
65. Kettab, A. (2001). Les ressources en eau en Algérie : Stratégies, enjeux et vision. *Desalination*, \*136\*(1-3), 25–33.
66. Kettab, A., Ratiba, M., & Naoual, B. (2008). De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, \*21\*(2), 251–266.
67. Khaled, B. (2012). Synthèse hydrogéologique sur la région d'El-Oued Sahara nord oriental – Est Algérien [Rapport interne].

68. Larkem, I., & Ouassif, H. (2023). Typologie des nappes aquifères et leurs modes d'exploitation. *Revue Internationale de Géologie et de Géographie*, \*7\*(2), 88-102.
69. Liu, J., et al. (2024). Global urban water scarcity and quality challenges in a changing climate. *Nature Sustainability*, \*7\*(1), 12–24.
70. MacDonald, G. M. (2020). *Water, Climate Change, and Sustainability*. Wiley-Blackwell.
71. Malek, K., Adam, J. C., Stöckle, C. O., & Peters, R. T. (2018). Climate change reduces water availability for agriculture by decreasing non-evaporative irrigation losses. *Journal of Hydrology*, \*561\*, 444–460.
72. Mansouri, L. (2020). Défis de développement des micro-industries à Oued Souf. *Journal de l'Économie et de l'Industrie*, \*6\*, 88–101.
73. Margat, J. (1991). Les eaux souterraines dans le bassin méditerranéen. *Sécheresse*, \*2\*(4), 201-208.
74. Margat, J., & Andréassian, V. (2007). *L'eau : les idées reçues*. Le Cavalier Bleu Éditions.
75. Messaoudi, L. (2020). Le sud de l'Algérie : Durabilité locale et tourisme communautaire. *African Journal of Ecological Economics*, \*7\*(2), 55–70.
76. Meybeck, M. (1986). Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. *Sciences Géologiques, Bulletin*, \*39\*(1), 3–77.
77. Mihoub, A., Helimi, S., Mokhtari, S., & Halitim, A. (2016). Evaluation de method for estimating water requirements of crops grown in saline environment (case of ... *Revue Agricole*, \*1\*, 189–197.
78. Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Stationarity Is Dead: Whither Water Management? *Science*, \*319\*(5863), 573–574.

79. Ministère de l'Intérieur et des Collectivités locales (MICT). (s.d.). Monographie de la Wilaya d'El Oued. <https://interieur.gov.dz/Monographie/index.php?wil=39>
80. Mokhnane, T., Adjlane, S., Khiari, R., Chaib, W., & Benmalek, A. (2023). The contribution of desert agriculture to sustainable agricultural development in the state of Oued Souf. *International Journal of Environmental Protection (IJEP)*, \*6\*(2), 261–282. <https://doi.org/10.54241/2065-006-002-01>
81. Moullade, M., et al. (1998). *The Lower Cretaceous of the Western Tethys*. Geological Society Special Publications, \*134\*.
82. Nguyen, V. T. (1993). *Forage et exploitation des eaux souterraines*. Presses de l'Université du Québec.
83. Nichane, M., & Khelil, M. A. (2015). Changements climatiques et ressources en eau en Algérie. *Algerian Journal of Arid Environment*, \*5\*(1), 56–62.
84. Ouamane, A. (2009). *Gestion intégrée des ressources en eau en Algérie : défis et perspectives [Communication orale]*. Colloque International sur l'Eau, Oum El Bouaghi.
85. Ouali, S. (2015). *Contribution à l'étude de quelques réservoirs géothermiques en Algérie [Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene]*.
86. Payen, G. (2011). *Eau : défis mondiaux, perspectives françaises*. Fondation pour l'innovation politique.
87. Petit, F., & Erpicum, M. (1987). *Mémento de l'hydrologue (3e éd.)*. Ministère de l'Équipement et des Transports, Belgique.
88. Remini, B. (2010). Les ressources en eau du Sahara septentrional : potentialités, contraintes et enjeux. *Revue des Sciences de l'Eau*, \*23\*(3), 241-254.
89. Remini, B., Leduc, C., & Hallouche, W. (2009). Évolution Des Grands Barrages En Régions Arides : Quelques Exemples Algériens. *Sécheresse*, \*20\*(1), 096–103.

90. République Algérienne Démocratique et Populaire. (2014). \*Décret exécutif n° 14-125 du 29 Rabie Ethani 1435 correspondant au 29 février 2014 fixant les caractéristiques de qualité des eaux de consommation humaine\*. Journal Officiel de la République Algérienne, N° 14.
91. Riego, P. (1989). Ingénierie des structures hydrauliques. Editorial Síntesis.
92. Rolland, G. (1890). Géologie du Sahara Algérien et aperçu géologique sur le Sahara de l'Océan Atlantique à la Mer Rouge: Chemin de fer transsaharien. Texte: Extraits des documents relatifs à la Mission de Laghouat-El Golèa-Ouargla-Biskra (Vol. 1). Imprimerie nationale.
93. Rouibah, M., & Belabbas, M. (2022). Défis de l'eau et irrigation en Algérie face aux changements climatiques. *Revue des Sciences de l'Eau*, \*35\*(2), 145-160.
94. Sahri, L. (2022). Hydrogéologie et caractérisation physico-chimique des eaux du Continental Intercalaire dans la zone de Tinrhert Est (Bassin d'Illizi) [Mémoire de doctorat, Université Mustapha Ben Boulaid - Batna 2].
95. Sari, D. (2014). L'eau dans l'histoire des sociétés maghrébines. Éditions Dalimen.
96. Singh, R., & Biswal, B. (2019). Assessing the impact of climate change on water resources. Dans *Hydrology in a Changing World* (p. 45-62). Springer.
97. Souak, F. Z. (2008). La problématique de l'eau en Algérie : entre rareté et gestion. Éditions CRASC.
98. Tetbirt, Z. (2017). Méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en région méditerranéenne [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou].
99. Touati, K. (2010). Évaluation de la performance des barrages en Algérie : cas de l'Est du pays [Mémoire de Magister, Université de Constantine].
100. Touitou, M., & Al-Amin, A. Q. (2018). Climate change and water resources in Algeria. *Economic and Environmental Studies*, \*18\*(1), 411-429.
101. Tricart, J. (1976). Géomorphologie et aménagement des bassins versants. SEDES.

102. Tristan, P. (2024). Atlas mondial de l'eau. Autrement.
103. Tzanakakis, V. A., et al. (2020). Water and wastewater infrastructure management in shifting climates. Dans *Water, Energy and Food Nexus in the Context of Strategies for Climate Change Mitigation* (p. 123-145). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30431-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30431-5_7)
104. UNESCO. (1972). Carte hydrogéologique de l'Afrique du Nord. Échelle 1:5,000,000. Paris.
105. UNESCO. (2012). Le système agricole de l'oasis de Ghout d'Oued Souf est sur la liste indicative. Rapport du Centre du patrimoine mondial.
106. Veldkamp, T. I. E., et al. (2017). Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. *Nature Communications*, \*8\*, 15697.
107. Vernadsky, V. I. (2019). *La Géochimie*. Éditions La Découverte. (Ouvrage original publié en 1924)
108. Wada, Y., et al. (2013). Multimodel projections and uncertainties of irrigation water demand under climate change. *Geophysical Research Letters*, \*40\*(17), 4626–4632.
109. Zidane, M. L., & Soufi, M. (2018). Étude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de Complexe Terminal (CT) de El-Oued (SE Algérie) [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah-Ouargla].

# Liste des annexes

Tableau 4 : normes nationales algériennes (Décret exécutif, 2014).

Paramètre	Symbole	Unité	Valeur indicative
Température	T	°C	25 (max)
Potentiel hydrogène	pH	Unité pH	6.5 – 9
Conductivité électrique (20°C)	CE	mS/cm	≤ 2.8
Sulfates	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	400
Titre Hydrotimétrique	TH	°F	500 mg/L CaCO <sub>3</sub>

Tableau 5 : des coordonnées GPS des points d'échantillonnage / forages.

Forage	Latitude (N)	Longitude (E)	Profondeur Z (m)
Forage 19 Mars	33° 20' 12" N	6° 51' 19" E	96,8
Forage MIX	33° 20' 06" N	6° 51' 20" E	97,0

Tableau 6 : des données climatiques de la région d'El-Oued (pluviométrie, températures moyennes, etc.).

Le mois de juillet présente la température moyenne la plus élevée, avec un maximum enregistré de 33.3 °C. Janvier est le mois le plus froid, avec des températures moyennes de 9.9 °C.

Paramètres	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Température moyenne (°C)	9.9	11.8	16.4	21	25.7	30.2	33.3	32.7	28.6	23.1	15.5	10.8
Température minimale (°C)	4.9	6.2	10	14.2	18.6	22.7	25.8	25.6	22.4	17.3	10.4	6.2
Température maximale (°C)	15.5	17.6	22.6	27.4	32.2	36.9	40.1	39.1	34.5	28.8	21	16.1
Précipitations / Pluie (mm)	13	4	8	8	3	1	0	1	6	5	8	8
Humidité (%)	61%	47%	39%	32%	28%	25%	23%	26%	36%	43%	53%	63%
Jours pluvieux (d)	2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
Heures d'ensoleillement moyennes (heures)	8.8	9.6	10.5	11.5	12.4	12.9	12.7	12	11.1	10.1	9.2	8.6

Data: 1991 – 2021 Température minimale °C, Température maximale °C, Précipitations / Pluie mm, Humidité, Jours pluvieux.

Data: 2019 Heures d'ensoleillement moyennes.