الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جـامعـة ـسكيكدة-
UNIVERSITE DE SKIKDA



Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement hydro Agricole

Intitulé :

Evaluation des eaux du massif dunaire de Bouteldja Wilaya El-Tarf.

Présenté par :

- LEKHLIFI Imene
- SILINI Rayene

Membre de Jury:

Présidente	**Mme Nakib L**	**MAA**	**Université 20 Août 1955 Skikda**
Examinatrice	**Mme BECHIRI.L**	**MCA**	**Université 20 Août 1955 Skikda**
Encadrante	**Mme BOULAROUK. W**	**MAA**	**Université 20 Août 1955 Skikda**

Année universitaire 2025-2026

Résumé

Cette étude porte sur les eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja, situé dans la wilaya d'El Tarf au Nord-Est de l'Algérie. Elle a pour objectif de caractériser les conditions hydrogéologiques, géologiques, climatiques et hydrochimiques de la région, ainsi que d'évaluer la qualité des eaux souterraines et leur aptitude à différents usages. L'analyse climatique, basée sur les données de la station des Salines durant la période 2001-2025, met en évidence un climat méditerranéen caractérisé par une saison humide d'octobre à avril et une saison sèche de mai à septembre. Les analyses physico-chimiques montrent que les eaux des puits P2 et P3 présentent une bonne qualité et respectent les normes algériennes ainsi que les recommandations de l'OMS. En revanche, le puits P1 présente une forte minéralisation liée principalement à l'intrusion marine. L'étude des faciès chimiques a révélé la prédominance des faciès chlorurés sodiques et potassiques ainsi que des faciès chlorurés sulfatés calciques et magnésiens. Les eaux des puits P2 et P3 sont favorables à la consommation et à l'irrigation, tandis que celles du puits P1 nécessitent un traitement et une surveillance avant toute utilisation.

Mots clés : Eaux souterraines ; massif dunaire de Bouteldja ; hydrochimie ; qualité des eaux ; intrusion marine ; faciès chimiques ; eaux d'irrigation.

Abstract

This study focuses on the groundwater of the Bouteldja dune massif located in El Tarf Province, northeastern Algeria. The main objective was to characterize the hydrogeological, geological, climatic and hydrochemical conditions of the region and to assess groundwater quality and its suitability for different uses. Climatic analysis based on data from the Salines station over the period 2001-2025 revealed a Mediterranean climate characterized by a wet season extending from October to April and a dry season from May to September. Physico-chemical analyses showed that groundwater from wells P2 and P3 is of good quality and complies with Algerian standards and World Health Organization recommendations. In contrast, well P1 exhibits high mineralization mainly caused by seawater intrusion. Chemical facies analysis revealed the predominance of sodium-potassium chloride facies and calcium-magnesium sulfate-chloride facies. The results indicate that water from wells P2 and P3 is suitable for drinking and irrigation purposes, whereas water from well P1 requires treatment and continuous monitoring before use.

Keywords: Groundwater; Bouteldja dune massif; hydrochemistry; water quality; seawater intrusion; chemical facies; irrigation water.

الملخص

تناولت هذه الدراسة المياه الجوفية للكتلة الرملية ببوتلجة الواقعة بولاية الطارف في أقصى شمال شرق الجزائر، وهدفت إلى تحديد الخصائص الهيدروجيولوجية والجيولوجية والمناخية والهيدروكيميائية للمنطقة، بالإضافة إلى تقييم جودة المياه الجوفية ومدى صلاحيتها لمختلف الاستعمالات. وقد بينت الدراسة المناخية المعتمدة على بيانات محطة السالين للفترة الممتدة من 2001 إلى 2025 أن المنطقة تتميز بمناخ متوسطي يتسم بفصل رطب يمتد من أكتوبر إلى أفريل وفصل جاف من ماي إلى سبتمبر. وأظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية أن م مياه البئرين P2 و P3تتمتع بنوعية جيدة وتستجيب للمعايير الجزائرية وتوصيات منظمة الصحة العالمية، في حين سجل البئر P1 ارتفاعًا في الملوحة والمعادن الذائبة نتيجة تأثير التداخل البحري. كما أبرزت الدراسة سيادة الوجوه الكيميائية الكلورية الصودية والبوتاسية والكلورية الكبريتاتية الكلسية والمغنيسيومية. وتبين أن مياه البئرين P2 و P3صالحة للشرب والري، بينما تتطلب مياه البئر P1 المعالجة والمتابعة المستمرة قبل استعمالها.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية؛ الكتلة الرملية لبوتلجة؛ الهيدروكيمياء؛ جودة المياه؛ التداخل البحري؛ الوجوه الكيميائية؛ مياه الري.

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Allah, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans Son aide, ce travail n'aurait pas pu être accompli.

Nous adressons également nos sincères remerciements à notre encadrante, Madame BOULAROUK W., pour ses précieux conseils, ses orientations judicieuses et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous exprimons aussi notre profonde gratitude aux membres du jury, notamment à Madame NAKIB L. pour avoir accepté de présider notre jury de soutenance, ainsi qu'à Madame BACHIRI L. pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de l'enrichir par ses remarques et critiques constructives.

Enfin, nous remercions chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail.





Dédicace

Par Imane Lekhlifi

Avant tout, je remercie Dieu le Tout-Puissant de m’avoir donné la force, la patience et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce mémoire à mes très chers parents,

Ma mère, Bouamama Zina, et mon père, Said Lekhlifi,

Pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien permanent tout au long de mon parcours.

À mes chers frères et sœurs :

Ayoub, Mohamed, Rahma et Fatima Zahra,

Pour leur affection, leur soutien et leurs encouragements.

À ma famille ainsi qu’à tous ceux qui m’ont encouragé et soutenu de près ou de loin.

À mes enseignants et à toutes les personnes qui ont contribué à ma formation et à la réalisation de ce travail.

Avec toute ma gratitude et mon respect.









Dédicace

Par Rayene Silini

Avant tout, je remercie Dieu le Tout-Puissant de m'avoir accordé la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce mémoire à mes très chers parents,

Ma mère, Dalila Silini, et mon père, Ahcene Silini,

Pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur soutien constant tout au long de mon parcours.

À mon cher fiancé, Redjem Mehdi,

Pour son amour, sa compréhension, son soutien précieux et ses encouragements permanents.

À mes chers frères et sœurs : Fares, Houssem, Maissa, Mohamed et Abd El Djalil,

Pour leur affection, leur présence et leur soutien.

À toute ma famille,

En témoignage de mon profond amour, de ma gratitude et de mon profond respect.

Que Dieu les protège tous et leur accorde santé, bonheur et réussite.

Rayene Silini





LISTE DES ABRÉVIATIONS

AEP : Alimentation en Eau Potable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CE : Conductivité Électrique

TDS : Total Dissolved Solids

pH : Potentiel Hydrogène

CP : Coefficient Pluviométrique

SAR : Sodium Adsorption Ratio

Na^+ : Sodium

K^+ : Potassium

Ca^{2+} : Calcium

Mg^{2+} : Magnésium

Cl^- : Chlorure

SO_4^{2-} : Sulfate

HCO_3^- : Bicarbonate

P1 : Point de prélèvement 1

P2 : Point de prélèvement 2

P3 : Point de prélèvement 3

m : Mètre

km^2 : Kilomètre carré

ha : Hectare

mm : Millimètre

mg/L : Milligramme par litre

µS/cm : Micro Siemens par centimètre

°C : Degré Celsius

Sommaire

Résumé

Abstract

الملخص

Remerciements

Dédicace

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Contexte général..... 4

1.Situation géographique..... 4

2. Hydrogéologie de la zone 5

2.1. Les ressources en eau superficielles 5

2.1.1.Les barrages ..... …..5

2.1.2. Les oueds 5

2.1.3. Les marécages et lacs 7

2.2. Les ressources en eaux souterraines 7

2.2.1.Aquifère superficiel 7

2.2.2. Aquifère profond 9

2.3.Géométrie et structure de l'aquifère côtier de Bouteldja 10

2.3.1.Interprétation des coupes hydrogéologiques 10

3. Aperçu général de la géologie 12

3.1. Secondaire 13

3.2. Tertiaire 13

3.2.1. Eocène inférieur 13

3.2.2. Eocène supérieur 13

3.2.3. L'oligocène 13

3.2.4. Le Moi-pliocène 13

3.3. Quaternaire 13

3.3.1. Quaternaire ancien 14

3.3.2. Quaternaire moyen 14

3.3.3. Quaternaire récent 14

3.3.4. Quaternaire actuel 14

4. Tectonique et évolution paléogéographique 14
5. Eude de climat 15
5.1.Les facteurs climatiques 15
5.1.1. Les précipitations 15
5.1.2. Les températures 19
5.2.Diagramme ombrthermique 20
Chapitre II : Matériel et Méthodes…… 23
1. Échantillonnage 23
2. Matériel utilisé 24
3. Méthodes d'analyse 24
4. Logiciels utilisés 24
4.1Microsoft Excel 24
4.2 Logiciel Diagrammes 25
3.1. Les diagrammes 25
A. Diagramme de Piper 26
B. Diagramme de Richards (Riverside) 26
C. Diagramme de Wilcox 26
3.2. Traitement des données 27
Chapitre III : Résultats et Discutions 29
1.Vérification de la fiabilité des données 29
1.1. Balance ionique 29
2. Interprétation des résultats 30
2.1. Paramètres physiques 31
2.1.2.Température 32
2.1.3.Conductivité électrique 33
2.1.4. TDS (Total Dissolve Solides) 33
2.2. Paramètres chimiques 34
2.2.1. Les cations 34
2.2.2. Les anions 36
3. Classification des eaux 38
3.1. Classification des eaux selon le diagramme de PIPER 38
3.2. Étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation 40
3.2.1. Classification selon le diagramme de Riverside 40
3.2.2. Classification selon le diagramme de Wilcox (1948) 41
4. Évaluation de la qualité des eaux : 43
5.Conclusion 43

Conclusion générale 45
Liste des références 47

Table des figures

Figure01: : Situation géographique du massif dunaire de Bouteldja**……...**04

Figure 02 : Carte des caractéristiques hydrographiques bassin versant de Mafragh..... 06

Figure03 : Extension des différents aquifères dans les plaines de Annaba-Bouteldja 08

Figure 04 : Coupe Hydrogéologique (A) l'aquifère côtier de Bouteldja**.** 11

Figure 05 : Coupe Hydrogéologique (C) dans la nappe côtière de Bouteldja. 11

Figure 06 : Carte géologique représentant la wilaya d'El Tarf et le sous bassin Versant de Mafragh digitalisée à partir de la carte 1/500 000 de la carte géologique de l'Algérie **(BOUKERB.S 2021)**..... ……12

Figure 07 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la stations des Salines (2001 - 2025). 16

Figure 08 : Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la stations des Salines (2001 - 2025). 19

Figure 09 : Histogramme des températures moyennes mensuelles de la stations des Salines (2001 - 2025). 20

Figure 10 : Diagramme ombrothermique des stations des Salines (2001 - 2025) 21

Figure 11 : Carte de situation des points de prélèvement Google Earth. 23

Figure 12 : Interface du logiciel Microsoft Excel. 24

Figure 13 : Interface du logiciel Diagrammes. 25

Figure 14 : Histogramme de la variation du pH. 32

Figure 15 : Histogramme de la variation de la température. 32

Figure 16 : Histogramme de la variation de la conductivité électrique. 33

Figure 17 : Histogramme de la variation des solides dissous totaux (TDS). 34

Figure 18 : Histogramme de la variation du potassium (K^+). 35

Figure19 : Histogramme de la variation du Sodium (Na+) 35

Figure 20 : Histogramme de la variation du calcium (Ca^{2+}). 36

Figure 21 : Histogramme de la variation du magnésium (Mg^{2+}). 36

Figure 22 : Histogramme de la variation des chlorures (Cl^-). 37

Figure 23 : Histogramme de la variation des sulfates (SO_4^{2-}). 38

Figure 24 : Variation des Bicarbonate (HCO_3^-) 38

Figure 25: Faciès chimique des eaux souterraines selon le diagramme de Piper. 40

Figure 26 : Classification des eaux souterraines selon le diagramme de Riverside. 40

Figure 27 : Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox (1948). 42

Liste des tableaux

Tableau 01: Caractéristiques des stations de mesure 15

Tableau 02:précipitations moyennes mensuelles des stations des Salines (2001 - 2025).16

Tableau 03: précipitations moyennes annuelles des stations des Salines (2001 - 2025) 18

Tableau 04 : Les températures moyennes mensuelles de la stations des Salines (2001 - 2025).... 19

Tableau 05: Norme de potabilité des eaux destinées à l'AEP (OMS et Algérien) 31

Introduction générale

Introduction générale :

Les ressources en eau constituent l'une des richesses naturelles les plus importantes sur lesquelles reposent les différentes formes de la vie ainsi que le développement économique et social. L'eau représente en effet un élément essentiel à la continuité des activités humaines, agricoles et industrielles, en plus de son rôle fondamental dans le maintien de l'équilibre écologique. Face à la croissance démographique, à l'extension urbaine, à l'augmentation de la demande en eau ainsi qu'aux effets des changements climatiques devenus un défi mondial, l'importance des eaux souterraines s'est accrue en tant que ressource stratégique permettant de satisfaire les besoins croissants en eau, notamment dans les régions disposant de ressources superficielles limitées.

L'Algérie, de par sa position géographique, son climat méditerranéen et semi-aride, se caractérise par une forte inégalité dans la répartition des ressources en eau, ce qui rend les eaux souterraines indispensables pour assurer le développement durable. Parmi ces ressources, les aquifères côtiers revêtent une importance économique et sociale majeure, mais ils restent exposés à plusieurs facteurs naturels et anthropiques susceptibles d'affecter leur quantité et leur qualité, notamment l'intrusion marine, la surexploitation ainsi que la pollution liée aux activités agricoles, industrielles et urbaines.

Le cordon dunaire de Bouteldja, situé dans la wilaya d'El Tarf à l'extrême nord-est de l'Algérie, constitue l'un des principaux aquifères côtiers de la région. Il représente une ressource hydrique essentielle exploitée pour l'alimentation en eau potable et pour diverses activités agricoles. Cependant, sa situation côtière, combinée aux influences naturelles et à l'intensification des activités humaines, peut entraîner des modifications des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines, ce qui impacte leur qualité et leur aptitude aux différents usages.

Dans ce contexte, l'étude hydrogéologique et hydro chimique des eaux souterraines revêt une grande importance, car elle permet de comprendre les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de l'aquifère, d'identifier les facteurs contrôlant l'évolution de la qualité des eaux, ainsi que de déterminer les processus géochimiques responsables de leur minéralisation. Elle permet également d'évaluer l'impact des facteurs naturels et des activités humaines sur ces ressources en eau.

Dans cette optique, ce travail vise à étudier les caractéristiques naturelles, climatiques et hydrogéologiques de la zone du cordon dunaire de Bouteldja, à analyser les propriétés physico-

chimiques des eaux souterraines, à déterminer les faciès chimiques dominants et à évaluer la qualité de l'eau ainsi que son adéquation aux différents usages, notamment la consommation humaine et l'irrigation, tout en mettant en évidence les principaux facteurs influençant l'évolution de cette qualité.

Ce mémoire est structuré en deux parties complémentaires : une partie théorique et une partie pratique. La partie théorique porte sur l'étude du cadre naturel de la zone d'étude, incluant les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et climatiques, afin de mettre en évidence les facteurs naturels contrôlant les ressources en eau de la région. La partie pratique consiste en une étude hydro chimique des eaux souterraines, basée sur l'analyse des données physico-chimiques afin d'évaluer leur qualité, de déterminer les faciès chimiques dominants et d'étudier leur aptitude aux différents usages, en particulier l'eau potable et l'irrigation.

Cette étude s'inscrit dans le cadre des efforts visant à améliorer les connaissances sur les ressources en eaux souterraines de la région de Bouteldja, et à contribuer à leur gestion rationnelle et à leur préservation, afin d'assurer leur durabilité et de répondre aux besoins croissants des générations présentes et futures.

Chapitre I : Contexte général

Chapitre I : Contexte général

1.Situation géographique :

La zone d'étude, représentée par le massif dunaire de Bouteldja, est située dans la wilaya de El Tarf, à l'extrême Nord-Est de l'Algérie. Elle fait partie du système aquifère Annaba–Bouteldja , couvre une superficie d'environ 183 km², inclus dans le bassin versant de l'oued Mafragh qui s'étend sur près de 2660 km².

Le massif dunaire de Bouteldja est limité :

- Au Nord, par la mer Méditerranée
- Au Sud, par la plaine Alluviale de Bouteldja et Oued El Kebir-Est
- A l'Est, par le massif montagneux du Numidien (Les montagnes Coursi, Bourdim et Cap Rosa)
- A l'Ouest, par l'Oued Mafragh et le marais de M'khada.

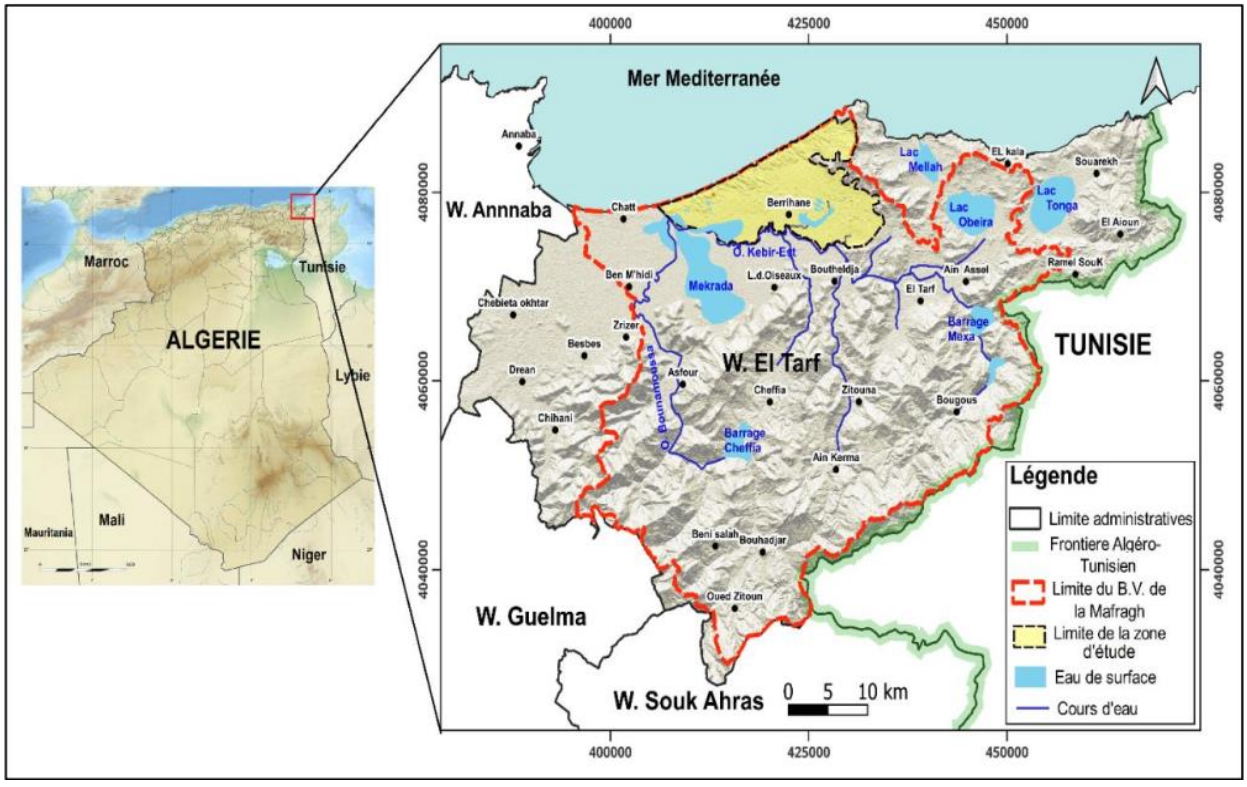


Figure 1: : Situation géographique du massif dunaire de Bouteldja**.(Harizi.kh 2024)**

2. Hydrogéologie de la zone :

Le massif dunaire de Bouteldja fait partie du bassin versant de la Mafragh (associé avec la plaine des graviers de Bouteldja) et qui se subdivise en sous bassins versants" bassin de Bourdim, de Bou Glès et oued El B'haim.

Le bassin versant de la Maffragh représente un réservoir naturel remarquable d'eaux superficielles par son apport moyen annuel important et ce malgré la variabilité pluviométrique d'une année à une autre.

Nous décrivons ci-dessous les ressources en eau superficielles et souterraine :

2.1. Les ressources en eau superficielles :

2.1.1.Les barrages :

- **Le barrage de Cheffia**, situé à environ 50 km au sud-est de la ville d'Annaba, dans le nord-est de l'Algérie, assure le contrôle d'un bassin versant d'une superficie de 575 km², représentant près de 57,7 % de la superficie totale du bassin de l'oued Bounamoussa (Affoun Ikhlef et al., 2018).
- **Le barrage de Bougous**, implanté dans la même région, se trouve à proximité de la frontière algéro-tunisienne, à environ 100 km d'Annaba et 20 km d'El Tarf, et il est accessible par la route nationale reliant Annaba à El Kala. Enfin, le barrage de Mexa est localisé dans la vallée de l'oued El-Kebir-Est, au nord-est de la wilaya d'El Tarf. Il est alimenté par trois principaux affluents, à savoir l'oued El-Kébir, l'oued Bougous et l'ouedBallouta.(DJEDDI2021)

2.1.2. Les oueds :

La jonction des deux Oueds forme l'Oued Mafragh et lui donne la caractéristique d'exutoire du bassin de la Mafragh vers la mer (Labar, 2003).

Oued El Kebir-Est :

L'Oued El Kebir-Est représenté le cours d'eau principal dans le bassin de la Mafragh. Il est formé par la jonction de deux principaux affluents, L'Oued Ballouta et L'Oued Bougous. Ces deux affluents drainent le versant Algérien à partir des sommets qui constituent la frontière Algéro-Tunisienne. La jonction forme l'Oued El Kebir -Est dans la zone de Mexa. le Kebir-Est prend son parcours parallèlement à la côte, traverse la plaine d'El Tarf et reçoit à gauche l'Oued Guergour, puis dans la plaine de Bouteldja, il reçoit sur sa même rive gauche

l'Oued Boukhroufa ensuite l'Oued Boulathane, alors que sur sa rive droite, il collecte les eaux de ruissellement des Oueds Bourdim et Bouglez et Oued B'haim qui sont les exutoires de la zone dunaire de Bouteldja Dans sa partie avale, l'Oued EL Kebir-Est se répand dans le vaste marais d'El M'khada (Labar, 2003).

2.1.2.2.Oued Bounamoussa :

L'Oued Bounamoussa prend sa naissance au Djebel M'Sid à la hauteur de la ville de Bouhadjar, il est formé par la confluence d'Oued El Kebir et Oued Bouhadjar et draine la partie Ouest du bassin de la Mafragh. Les écoulements de cet Oued sont captés par un barrage construit au niveau de la commune de Cheffia (Labar, 2003).

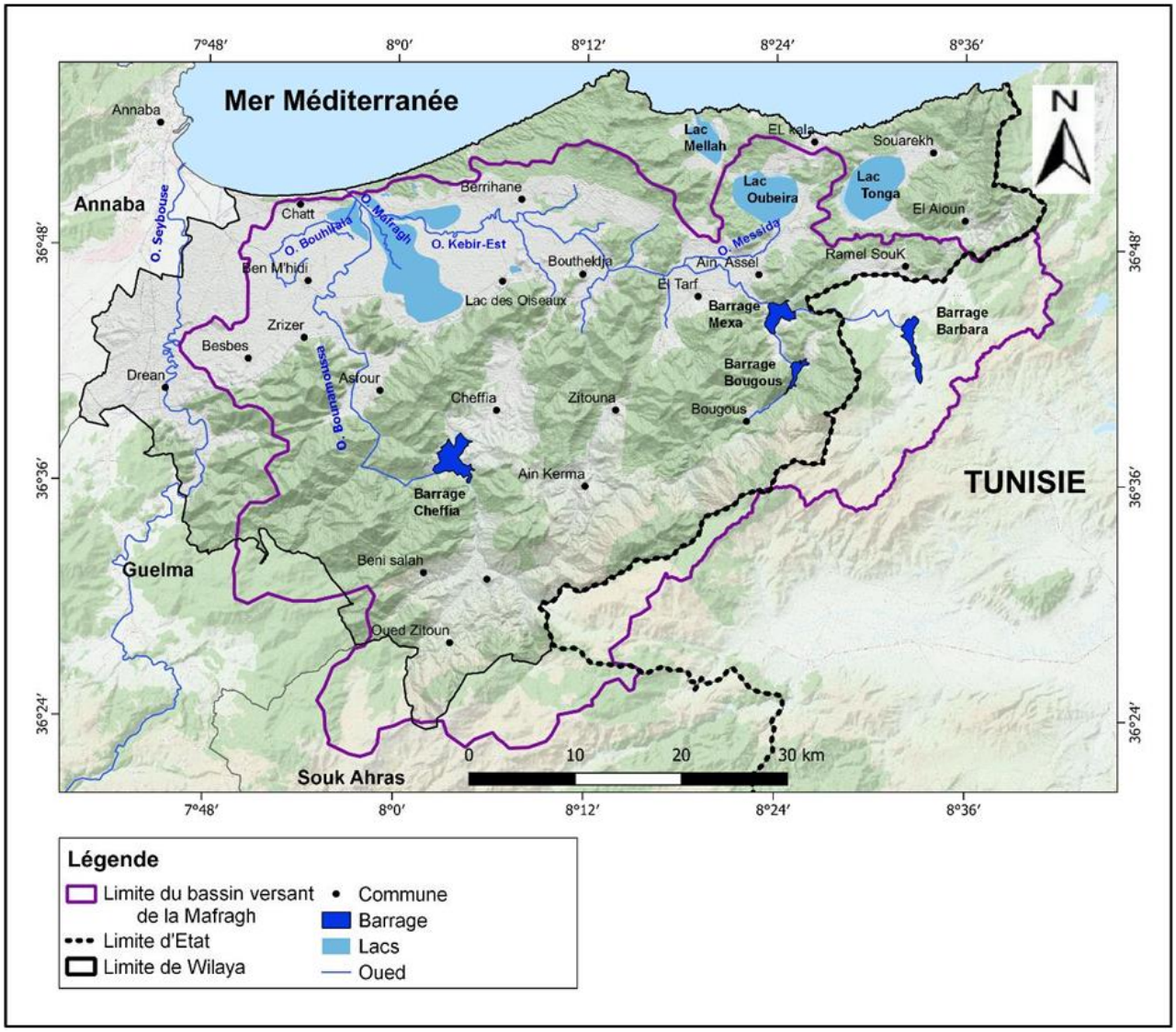


Figure 02 : Carte des caractéristiques hydrographiques bassin versant de Mafragh (**Affoun, S. 2022).**

2.1.3. Les marécages et lacs :

La présence de ces formations est liée aux différentes phases d'assèchement des bassins lacustres de l'Algérie orientale durant le Quaternaire . Ce phénomène s'explique par la réduction progressive des surfaces lacustres, accompagnée d'une importante sédimentation alluviale dans les zones avales, entraînant le comblement de nombreux oueds tributaires du bassin, notamment au niveau des dépressions internes, sous l'effet du transport solide assuré par les différents cours d'eau (Haied, 2008).

Lac Oubéira :

Le lac Oubéira se localise au Sud-Est de la zone dunaire de Bouteldja, en contrebas du Mont Coursi. Avec une superficie de 2200 ha et une profondeur de 2.5 m, le lac représente un important réservoir naturel d'eau douce qui est caractérisé par une faible salinité. (Labar, 2003).

Lac Mellah :

Le lac Mellah se situe au Nord du lac Oubéira et à l'Est de la zone dunaire de Bouteldja et couvre une surface de 900 ha (fig.01). Il représente une ancienne vallée fluviale qui s'est transformée en lagune après avoir été envahie par l'eau de mer. C'est la seule lagune qui existe en Algérie (Labar, 2003).

Lac des oiseaux :

Il se situe au Sud de la plaine alluviale de Bouteldja, le lac des oiseaux couvre une superficie d'environ 60 hectares. Il est alimenté par les eaux de ruissellement et par les eaux souterraines de la plaine alluviale. Lors de la période des crues, les eaux d'Oued El Kebir-Est alimentent le lac (Labar, 2003).

Le marécage de Mekrada :

Le marais de Mekrada nommé aussi M'khada est situé dans la partie Nord-Ouest du bassin versant de la Mafragh **(**Labar, 2003**).**

2.2. Les ressources en eaux souterraines :

2.2.1.Aquifère superficiel : d'après (N.Khérici.1993)

Selon la variation horizontale des faciès lithologiques, l'aquifère superficiel englobe 5 nappes : la nappe des gneiss altérés, la nappe du massif dunaire ,la nappe du cordon dunaire, la nappe des calloutis de terrasse et la nappe des alluvions récentes et actuelles.

a)La nappe des gneiss altérés :

Alimentée par les eaux de pluie, elle se localise dans la région Nord-Ouest, sur le flanc Est du massif métamorphique de Bouhamra et de Belleilita, où son épaisseur moyenne, le débit moyen des captages et la perméabilité des roches sont respectivement de l'ordre de 15m, de2l/s et de 10-6à 10-5 m/s .(**Khérici,1993**). elle est captée par des puits et des forages et utilisée pour divers usages (industrie, élevage,alimentation humaine).

b)La nappe du cordon dunaire :

C'est une nappe limitée sur une bande littorale de 0.5 à2 km de largeur, contenue dans des sables dunaires éoliens, ces sables proviennent de la destruction progressive des grés du numidien, à l'état pur le sable siliceux renferme 80 à 90% de silice, il est blanc ou jaune claire, fin, meuble et omogène (80% des grains ont un diamètre de 0.3 à 0.5mm). Souvent accompagné de différents minéraux (CaO , MgO, Al2O3). Cette nappe est alimentée directement par les eaux de pluie, vu la bonne porosité efficace des sables de l'ordre de 10%. (**B.Gand 1976**).

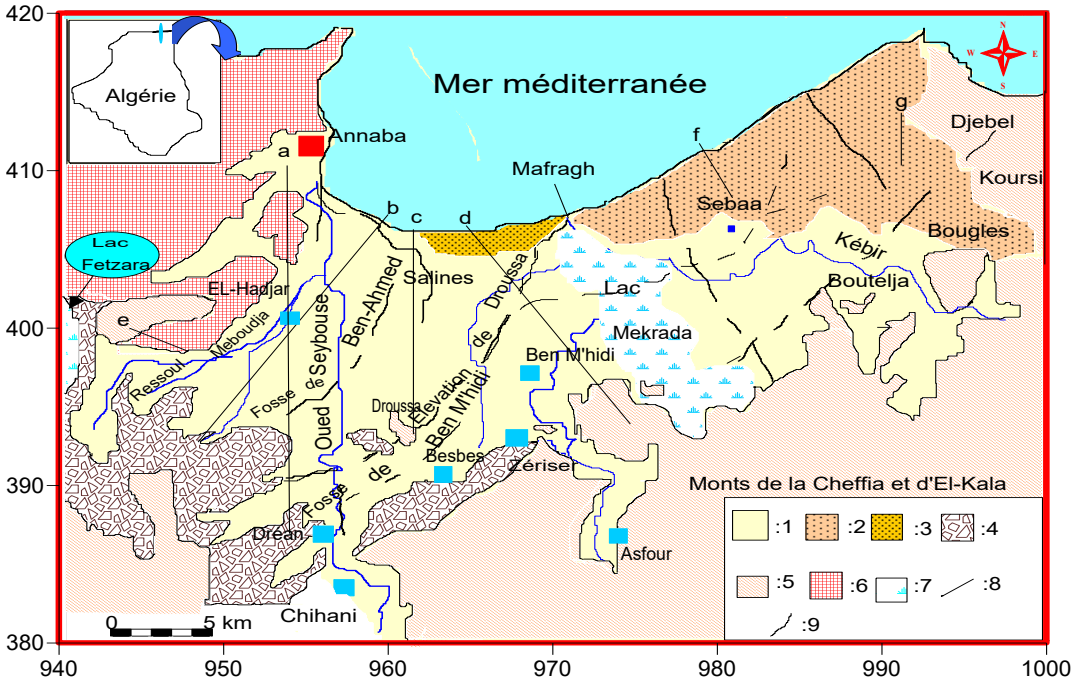


Figure 03 : Extension des différents aquifères dans les plaines de Annaba-Bouteldja (d'après Gaud, 1976, modifiée par Attoui.B.2014)

1:Nappe des formations superficielles ; 2 : Nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja ; 3 : Nappe des sables du cordon dunaire ; 4 : Nappe des alluvions de haut niveau ; 5 : Grès et argiles du Numidien ; 6 : Formations métamorphiques (nappe des cipolins) ; 7 :Marrécages ; 8 : Failles ; 9 : Fosses.

c)L'aquifère des sables dunaires (aquifère côtier de Bouteldja) :

L'aquifère des sables dunaires, objet principal de cette étude, s'étend depuis Ain Khiar au Sud-Est jusqu'à la mer Méditerranée au Nord, et des monts de Coursi à l'Est jusqu'à l'Oued Mafragh à l'Ouest. Cet aquifère présente un milieu relativement homogène, constitué essentiellement de sables fins intercalés par des lentilles argileuses. Il est délimité naturellement par la mer Méditerranée au Nord. les flyschs numidiens à l'Est, l'Oued Kebir Est au Sud et à l'Ouest, ainsi que par son prolongement représenté par l'Oued Mafragh, qui constitue la limite occidentale extrême.

d)La nappe des terrasses :

Localisée au sud de la région, dans des cailloutis et galets. D'après B.Gaud (**1976**) la transmissivité de cette nappe est faible variant de 10-5 à10-4 m2/s. Etant donnée ses faibles potentialités hydrauliques, cette nappe n'est exploitée que par des puits destinés à l'agriculture et à l'alimentation de petites localités (**Attoui.B.2014**).

e) La nappe des alluvions récentes et actuelles :

Cette nappe couvre la majorité de la plaine d'Annaba et la plaine d'El-Tarf , elle est contenue par des alluvions récentes et actuelles à texture argilo-sableuse, argilo-limoneuse ou sablo-argileuse avec quelques lentilles de sables.

2.2.2. Aquifère profond :

Globalement on note deux nappes d'importance très inégale : nappe des cipolins et nappe des graviers.

a) nappe des cipolins :

Elle est contenue dans des cipolins fissurés localisée au Nord-ouest dans les massifs de Bouhamra. Et du Belleilita profonde.de 12 à 80 m, les débits d'exploitation des forages sont de l'ordre de15l/s.

b) La nappe profonde des graviers

Elle se situe au-dessous de l'aquifère superficiel s'étendant sur toute la superficie de la plaine. Elle est contenue dans des graviers sable et galets plio-quaternaires et encaissée dans le bassin d'effondrement, son toit est perméable, semi perméable à imperméable formé de sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles.

A travers ce toit intervient localement le phénomène de drainance. Dans la zone centrale l'épaisseur de l'horizon aquifère est variable selon les zones. Elle varie de 2 à 70m d'Ouest en Est et du Sud vers le Nord.

d)La nappe captive d'El-Tarf :

Étendue d'Est à l'Ouest en direction de l'écoulement des eaux d'oued Kébir Est, avec un substratum marneux, et un toit argileux d'épaisseur importante de 15 à 20 m en moyenne, cette nappe s'incline progressivement vers l'Est avec une pente qui devient plus accentuée vers la nappe dunaire de Bouteldja vers le Nord-est (**Attoui.B.2014**).

2.3.Géométrie et structure de l'aquifère côtier de Bouteldja :

2.3.1.Interprétation des coupes hydrogéologiques :

La définition de la géométrie de l'aquifère et sa lithologie est une étape nécessaire pour l'étude hydrogéologique.

L'analyse des cartes géologiques de la région d'étude, des colonnes stratigraphiques (Gaud, 1976) et des profils géo-électriques, permettent de définir la structure et la géométrie de l'aquifère côtier de Bouteldja.
Pour mettre en évidence la nature libre de l'aquifère et la morphologie de son substratum,deux coupes hydrogéologiques ont été établies à partir des fiches techniques des forages et de la géophysique.

Cette **Coupe A** présente une coupe hydrogéologique qui couvre la limite Sud-Est de la zone de Bouglez, jusqu'à la limite Nord-Ouest de la zone du Mafragh. On note que l'épaisseur de l'aquifère croît de 100 mètres à l'Est jusqu'à plus de 200 mètres à l'Ouest. Le passage latéral des lentilles argilo-sableuses est très remarquable au niveau des forages B13, B05, B18 et B15 à différentes profondeurs.(Harizi.2024).

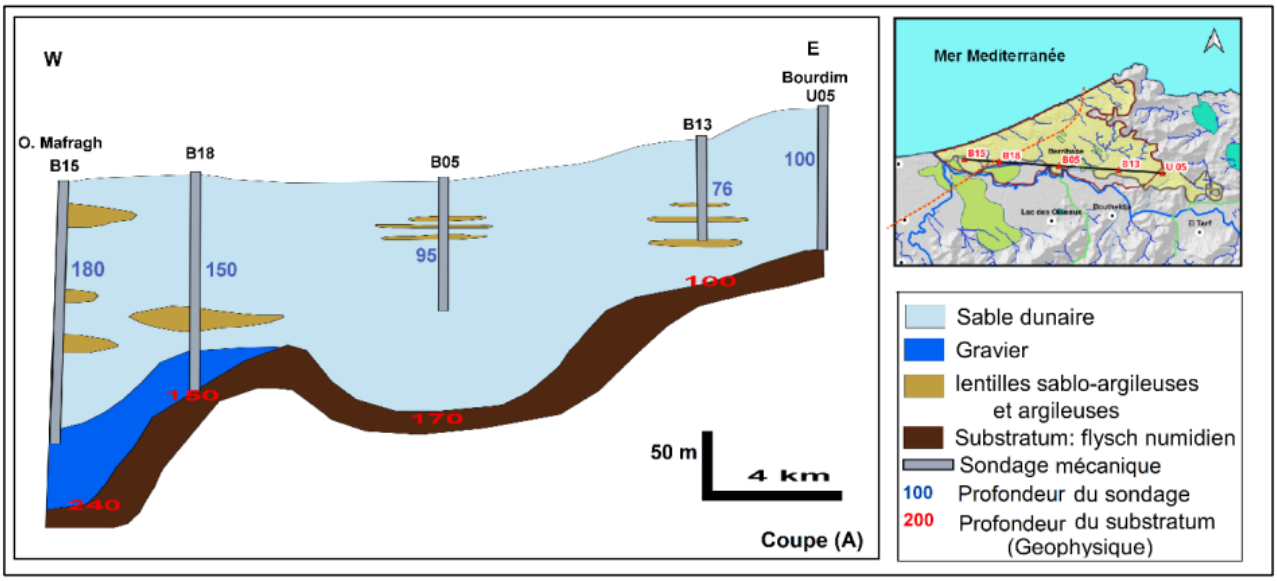


Figure 04 : Coupe Hydrogéologique (A) l'aquifère côtier de Bouteldja. (Harizi.2024).

Coupe C : Concernant la partie Nord de l'aquifère, la figure 38 présente une coupe d'orientation NE-SW qui montre une épaisseur importante des sables dunaires près de la zone côtière ; l'épaisseur dépasse 150 m avec une prédominance de sable avec la présence d'intercalations de lentilles argilo-sableuses. Dans la partie Nord-Est, la position du forage P19 semble coïncider avec le tracé du fossé de Ben M'hidi, d'où l'approfondissement du substratum argileux. Par ailleurs, en profondeur, nous retrouvons des graviers couverts par une couche argileuse imperméable sur laquelle repose la formation sableuse.

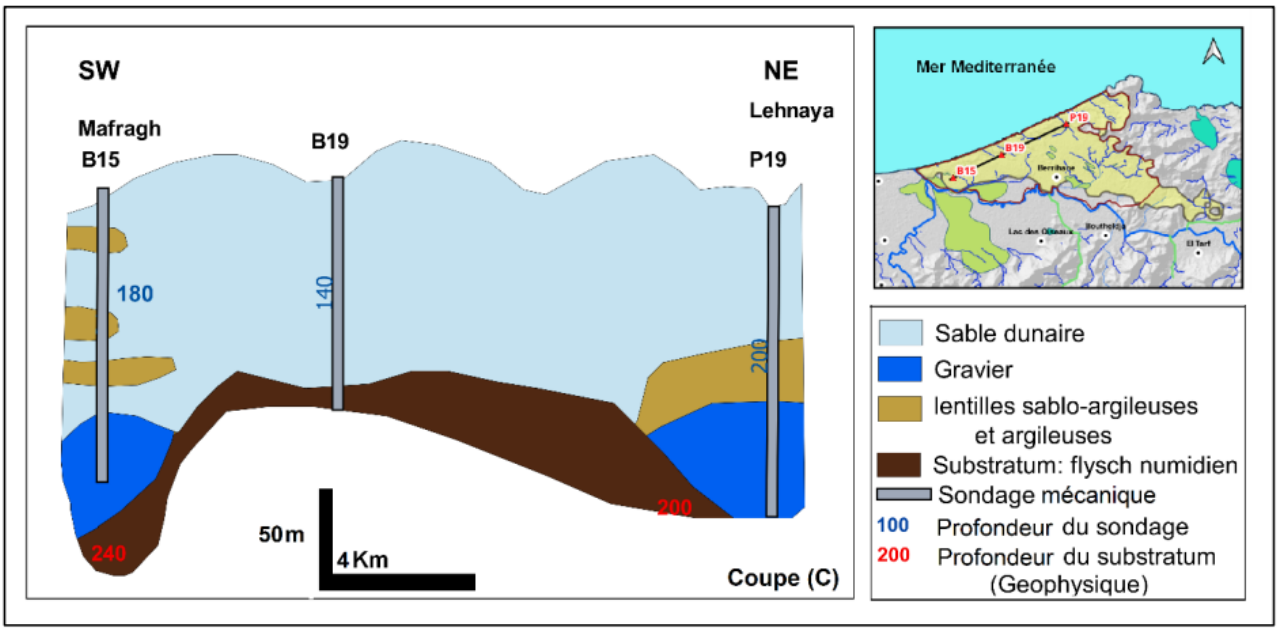


Figure 05 : Coupe Hydrogéologique (C) dans la nappe côtière de Bouteldja.

3. Aperçu général de la géologie :

La région d'étude, située dans l'extrême Nord-Est Algérien (Annaba-El Tarf), a été décrite à travers plusieurs travaux de référence notamment ceux de Joleaud (1936), Vila (1980) et Marre (1980). Elle est caractérisée par une structure géologique complexe dominée par les formations numidiennes, qui constituent l'essentiel des reliefs montagneux. À l'inverse, les zones de dépression sont occupées par des formations plus tendres et récentes. (Labar, 2003).

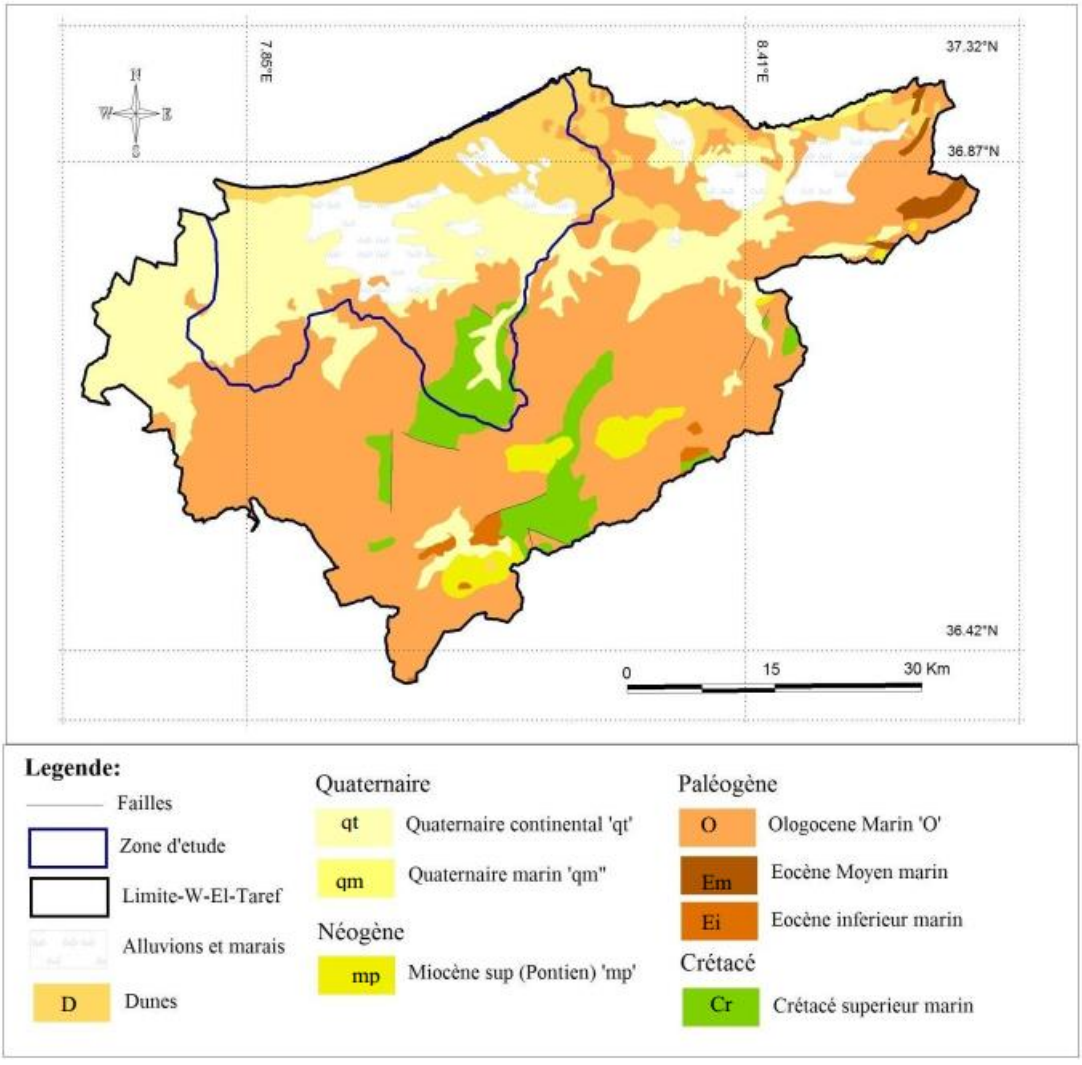


Figure 06 : Carte géologique représentant la wilaya d'El Tarf et le sous bassin Versant de Mafragh digitalisée à partir de la carte 1/500 000 de la carte géologique de l'Algérie **(BOUKERB.S 2021)**

L'extrême Nord-est présente une stratigraphie qui dévoile des formations géologiques allant du secondaire au quaternaire récent. (Mezbour, 2018).

3.1. Secondaire :

Cet étage se distingue par des formations marneuses, marno-calcaires et des schistes légèrement argileux, avec des intercalations de calcaire. Le secondaire est ainsi visible à l'est du bassin versant de la Mafragh, au niveau des monts Bousouaqui (Tunisie), Cheffia et finalement Cap Rosa durant le Crétacé supérieur. (Derradji, 2018).

3.2. Tertiaire :

Il est caractérisé par des formations gréso-argileuses numidiennes qui s'étendent d'ouest en est, notamment dans tous les segments montagneux jusqu'à El Kala, où l'on distingue :

3.2.1. Eocène inférieur :

Il se manifeste à travers une série de calcaire marneux, riche en silex ou en bitume, dans un contexte de transgression. (Derradji, 2018).

3.2.2. Eocène supérieur :

Il se distingue par des formations argileuses du numidien de teinte rouge ou grise. Parfois, sur la base de la couleur verte à brunâtre qui donne son nom aux flyschs de type numidien, on observe des alluvions des oueds avec des intercalations de bancs de grès. (Derradji, 2018).

3.2.3. L'oligocène :

Il est caractérisé par des argiles surmontées de grès numidiens, entrecoupés de petits bancs de grès quartzeux qui se manifestent sur tous les reliefs des collines du versant sud de la plaine d'El Tarf et délimitent les alluvions des oueds. (Derradji, 2018).

3.2.4. Le Moi-pliocène :

Dépôts liés au remplissage des bassins d'effondrement, constitués de sables, conglomérats et argiles rouges et grises. Ces formations jouent un rôle important dans la structuration des reliefs et la délimitation des zones de circulation des eaux souterraines. (Labar, 2003).

3.3. Quaternaire :

Le quaternaire représente la couverture superficielle de la région et constitue l'élément principal du système aquifère. Il est composé de dépôts alluviaux, colluviaux et dunaires issus de l'érosion et du transport des matériaux anciens. (Labar, 2003).

3.3.1. Quaternaire ancien :

Il correspond aux terrasses alluviales élevées formées de sables et de cailloux, témoignant d'anciens niveaux d'écoulement des oueds. (Labar, 2003).

3.3.2. Quaternaire moyen :

Il regroupe les terrasses intermédiaires constituées de galets, sables et limons, répartis le long des vallées principales. (Labar, 2003).

3.3.3. Quaternaire récent :

Il correspond aux dépôts de basses terrasses et des fonds d'oueds, caractérisés par une alternance de galets, graviers, sables et limons, avec une organisation granulométrique progressive. (Labar, 2003).

3.3.4. Quaternaire actuel :

Il regroupe les dépôts récents des lits d'oueds, des zones humides, des marécages et des plages littorales. Ces formations sont très perméables et constituent les principaux réservoirs de la nappe alluviale. (Labar, 2003).

4. Tectonique et évolution paléogéographique :

La région est marquée par une forte activité tectonique liée aux mouvements alpins ayant entraîné la formation de nappes et de structures de charriage. Les phases de transgression et de régression marines du miocène ont contrôlé la sédimentation et la mise en place des formations continentales et marines. L'évolution tectonique a conduit à la formation de bassins d'effondrement comblés par des dépôts détritiques récents, ainsi qu'à la compartimentation de la région en structures structurales séparées par des failles de directions variées. Ces processus ont fortement influencé la morphologie actuelle et la dynamique des eaux souterraines. (Labar, 2003).

5. Eude de climat :

Le climat constitue un facteur essentiel dans l'étude des ressources en eau, car il influence directement les précipitations, les températures et l'alimentation des nappes souterraines. L'analyse climatique de la région d'étude permet de mieux comprendre les conditions naturelles qui contrôlent la recharge et la qualité des eaux souterraines. Cette étude repose sur l'exploitation des données pluviométriques et thermiques enregistrées à la station des Salines durant la période 2001-2025.

Tableau 01: Caractéristiques des stations de mesure Google Earth .

Station	**Salines**
Latitude:	**36,83**
Longitude:	**7,82**

5.1.Les facteurs climatiques :

5.1.1. Les précipitations :

Les précipitations désignent l'ensemble des apports d'eau provenant de l'atmosphère et atteignant le sol sous forme liquide ou solide, notamment la pluie, la neige et la grêle. Elles représentent un élément climatique majeur en raison de leur rôle dans l'alimentation des cours d'eau, la recharge des nappes souterraines et le maintien des ressources en eau. La région étudiée se distingue par une pluviométrie relativement élevée comparativement à plusieurs régions du pays. Afin de caractériser le régime des précipitations, nous avons exploité les données pluviométriques enregistrées durant la période s'étendant de 2001 à 2025, soit 25 années d'observations, permettant ainsi d'apprécier la variabilité temporelle des précipitations dans la zone d'étude.

5.1.1.1. Précipitations moyennes mensuelles :

L'étude des moyennes mensuelles des précipitations permet de mettre en évidence l'évolution de la pluviométrie au cours de l'année ainsi que les variations observées d'une année à l'autre. Ces moyennes sont obtenues à partir du calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs de pluie enregistrées pour chaque mois sur l'ensemble de la période d'observation. Le tableau 4 présente les valeurs moyennes mensuelles des précipitations enregistrées à la station des Salines.

Tableau 02 :précipitations moyennes mensuelles des stations des Salines (2001 - 2025).

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Jul	Aout
Les salines	44,36	54,92	98,04	100,32	97,36	70,88	69,80	49,00	38,56	11,12	2,48	10,88

Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à la station des Salines présentent une répartition irrégulière au cours de l'année. Les hauteurs de pluie les plus importantes sont observées durant la saison hivernale, où elles atteignent leur maximum au mois de décembre avec 100,32 mm.

En revanche, les valeurs les plus faibles sont relevées pendant la période estivale, notamment au mois de juillet avec seulement 2,48 mm. Cette distribution met en évidence l'influence du climat méditerranéen dans la région d'étude, marqué par des précipitations abondantes durant les saisons automnale et hivernale et par une sécheresse estivale prononcée.

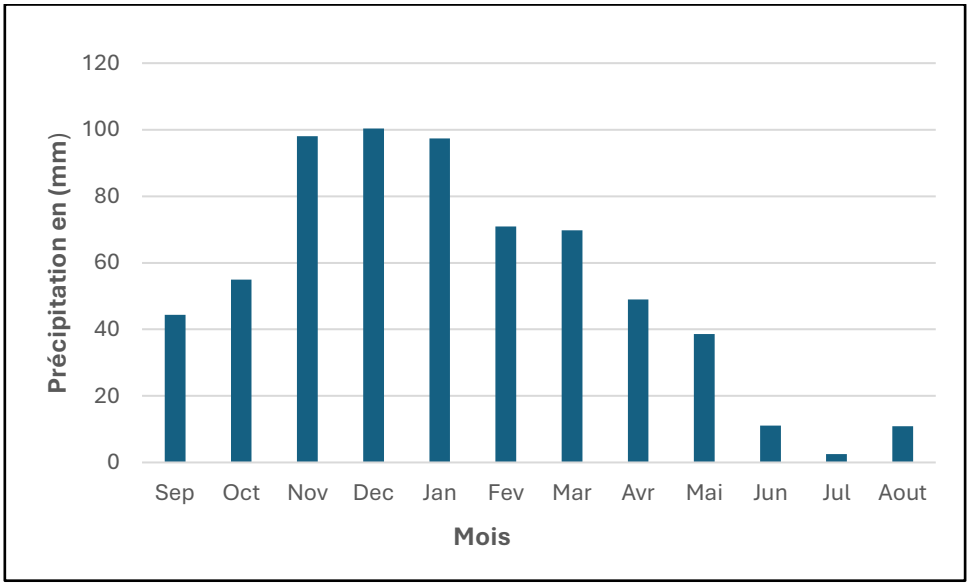


Figure07 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la stations des Salines (2001 - 2025).

5.1.1.2.Les précipitations moyennes annuelles :

La pluviométrie annuelle moyenne enregistrée à la station des Salines durant la période 2001–2025 est de 647,72 mm. Les variations interannuelles des précipitations sont présentées dans le tableau suivant.

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP). Ce paramètre est très important pour la détermination des années excédentaires et déficitaires. Il est obtenu par le rapport entre la pluviométrie annuelle observée (P) et la pluviométrie moyenne de la série étudiée (P_0).

$$CP = \frac{P}{P0}$$

Le coefficient pluviométrique est proportionnel à la pluviométrie annuelle :

- CP > 1 : année excédentaire ;

- CP < 1 : année déficitaire.

Pour la station des Salines, la pluviométrie annuelle moyenne est de 647,72 mm. Les valeurs du coefficient pluviométrique montrent une forte variabilité interannuelle des précipitations. Le maximum a été enregistré en 2019 avec un CP de 1,39, correspondant à une année excédentaire, tandis que le minimum a été observé en 2022 avec un CP de 0,54, indiquant une année déficitaire (Haied 2015)

Tableau03 : précipitations moyennes annuelles des stations des Salines (2001 - 2025)

	Hauteur annuelle des précipitations P (mm)	**Coefficient Pluviométrique les salines**
Année	**Les salines**	
2001	594	0,92
2002	692	1,07
2003	741	1,14
2004	864	1,33
2005	804	1,24
2006	586	0,90
2007	736	1,14
2008	443	0,68
2009	892	1,38
2010	574	0,89
2011	671	1,04
2012	586	0,90
2013	691	1,07
2014	653	1,01
2015	699	1,08
2016	456	0,70
2017	662	1,02
2018	632	0,98
2019	900	1,39
2020	652	1,01
2021	509	0,79
2022	348	0,54
2023	748	1,15
2024	461	0,71
2025	599	0,92

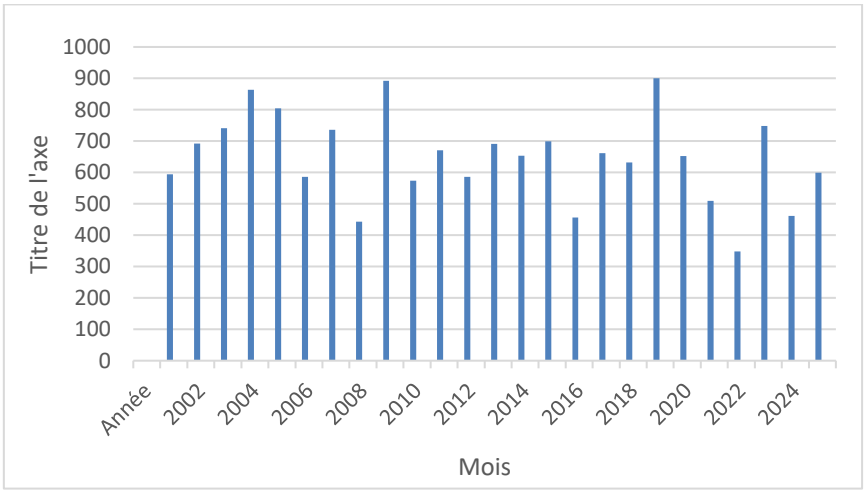


Figure 08 : Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la stations des Salines (2001 - 2025).

5.1.2. Les températures :

La température de l'air est un élément climatique important dans l'étude du milieu naturel. Son analyse a été réalisée à partir des données de la station des Salines. Elle repose sur le calcul des températures moyennes et sur l'utilisation de graphiques permettant de mettre en évidence leur évolution au cours de l'année.

5.1.2.1 . Les températures moyennes mensuelles :

La moyenne mensuelle de la température relevée dans la station des salines pour la période 2001-2025 est illustrée dans le tableau suivant :

Tableau 04 : Les températures moyennes mensuelles de la stations des Salines (2001 - 2025)

Mois / Station	Sep	Oct	Nov	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Jul	Aout
Les salines	23,60	20,48	15,76	12,42	11,25	11,30	13,29	15,49	18,61	22,74	25,79	26,04

Les températures moyennes mensuelles enregistrées à la station des Salines montrent une évolution régulière au cours de l'année. Les valeurs les plus faibles sont observées durant la saison hivernale, Avec un minimum de 11,25 °C au mois de janvier, tandis que les températures les plus élevées sont enregistrées en été, atteignant 26,04 °C en août. Cette progression thermique, suivie d'une diminution à partir de l'automne, met en évidence l'influence du climat méditerranéen qui se caractérise par des étés relativement chauds et des hivers modérés.

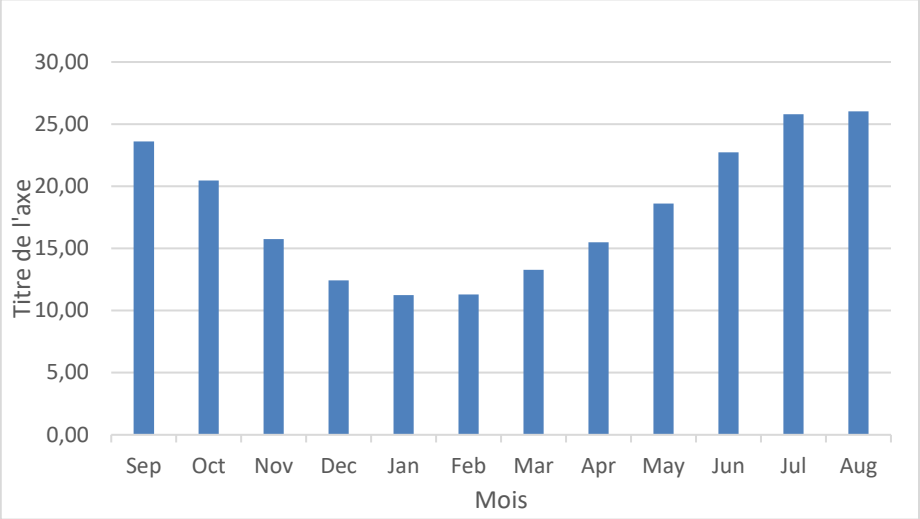


Figure 09 : Histogramme des températures moyennes mensuelles de la stations des Salines (2001 - 2025).

5.2.Diagramme ombrthermique :

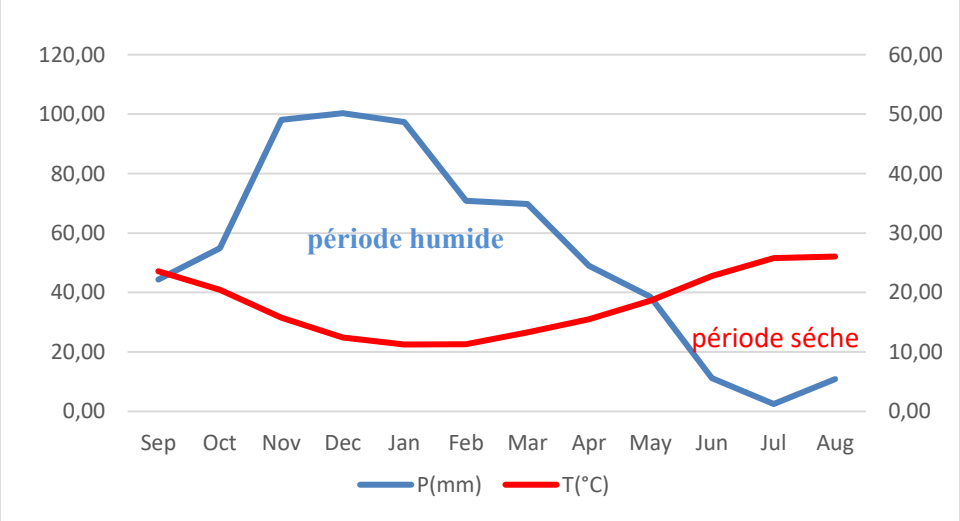


Figure10: Diagramme ombrothermique des stations des Salines (2001 - 2025)

L'analyse du diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953, 1957), réalisé à partir des moyennes mensuelles des précipitations et des températures, permet de distinguer les différentes périodes climatiques qui caractérisent la région d'étude. L'interprétation de ce diagramme met en évidence l'existence de deux périodes principales : une période chaude et sèche et une période fraîche et humide.

● Période chaude et sèche :

Cette période s'étend de mai à septembre et se caractérise par une faible pluviométrie associée à une augmentation progressive des températures. Les valeurs thermiques atteignent leur maximum au mois d'août avec 26,04 °C, tandis que les précipitations deviennent très faibles durant la saison estivale. Cette période traduit la forte influence de la sécheresse estivale, caractéristique du climat méditerranéen.

● Période fraîche et humide :

Cette période s'étend d'octobre à avril et est marquée par une augmentation importante des précipitations accompagnée d'une diminution des températures. Les pluies sont plus abondantes Durant cette saison, assurant l'essentiel de l'alimentation en eau de la région. Les températures atteignent leur minimum au mois de janvier avec 11,25 °C. Cette période correspond à la saison humide typique du climat méditerranéen dominant dans la région.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Dans ce chapitre, sont présentés le matériel utilisé ainsi que les méthodes adoptées pour la réalisation des analyses physico-chimiques des eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja. Il décrit les conditions d'échantillonnage, les équipements de laboratoire utilisés, les paramètres analysés, les logiciels employés pour le traitement des données ainsi que les méthodes d'interprétation des résultats. L'ensemble de ces étapes a permis d'assurer la fiabilité des analyses et d'évaluer la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation et à l'irrigation.

1. Échantillonnage :

Les données exploitées dans cette étude proviennent d'une campagne de prélèvement réalisée au mois de septembre 2017 au niveau de trois points d'eau souterraine (P1, P2 et P3) situés dans le massif dunaire de Bouteldja. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées en septembre 2017 dans un laboratoire privé. Les échantillons ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène propres, puis transportés vers le laboratoire pour les analyses physico-chimiques.



Figure 11 : Carte de situation des points de prélèvement Google Earth.

2. Matériel utilisé :

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées dans un laboratoire privé à l'aide des équipements suivants :

- Multiparamètre : utilisé pour la mesure des principaux paramètres physico-chimiques de l'eau, notamment le pH, la température, la conductivité électrique (CE) et les solides dissous totaux (TDS).
- Conductimètre : utilisé pour la vérification et la mesure précise de la conductivité électrique des échantillons.
- Spectrophotomètre : utilisé pour le dosage des sulfates (SO_4^{2-}) et d'autres paramètres chimiques selon les méthodes analytiques en vigueur.
- Photomètre à flamme : utilisé pour la détermination des concentrations en sodium (Na^+) et en potassium (K^+).
- Matériel de titrage (burettes, pipettes, fioles jaugées, béchers et solutions étalons) : utilisé pour le dosage des chlorures (Cl^-), des bicarbonates (HCO_3^-), du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+}).

3. Méthodes d'analyse :

Les paramètres physiques analysés sont le pH, la température, la conductivité électrique et les solides dissous totaux (TDS). Les paramètres chimiques comprennent les principaux cations (Na^+, K^+, Ca^{2+} et Mg^{2+}) ainsi que les principaux anions (Cl^-, SO_4^{2-} et HCO_3^-). Les analyses ont été réalisées selon les méthodes analytiques couramment utilisées pour le contrôle de la qualité des eaux.

4. Logiciels utilisés :

Le traitement et l'interprétation des résultats ont été réalisés à l'aide de plusieurs logiciels spécialisés.

4.1Microsoft Excel :

Le logiciel Microsoft Excel a été utilisé pour l'organisation de la base de données, les calculs hydrochimiques, la vérification de la balance ionique ainsi que la réalisation des tableaux et des graphiques.

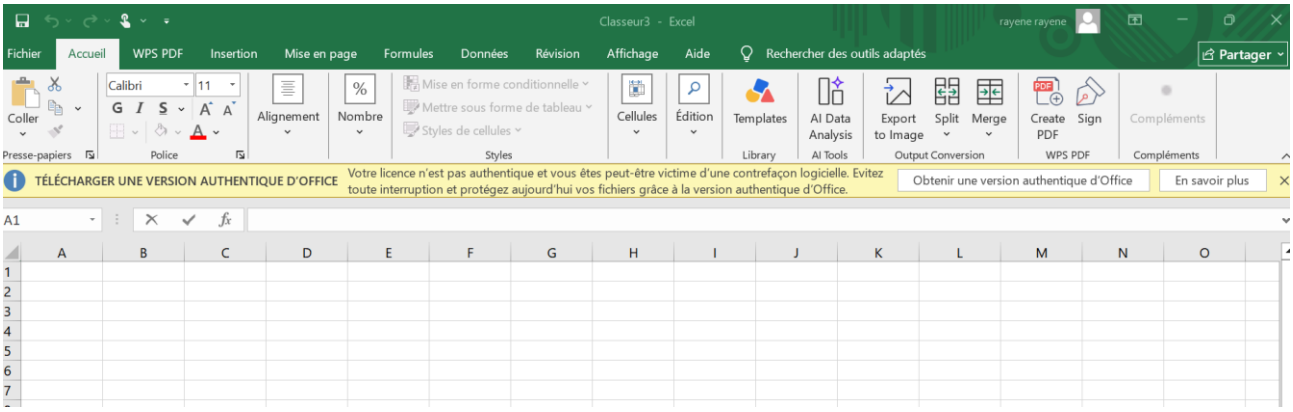


Figure 12 : Interface du logiciel Microsoft Excel.

4.2 Logiciel Diagrammes :

Le logiciel DIAGRAMMES est un logiciel multilingue d'hydrochimie, disponible en libre distribution, développé par Roland Simler au Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (LHA). Il est utilisé pour le traitement et l'analyse des données hydrochimiques. Il permet de calculer plusieurs paramètres, tels que les solides dissous totaux (TDS), la balance ionique, la dureté, le pH et la conductivité électrique, à partir des données physico-chimiques, notamment les principaux ions (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-), ainsi que la température et le pH. Le logiciel permet également de réaliser des analyses statistiques, telles que les fréquences et la matrice de corrélation, et de représenter les résultats sous différents diagrammes hydrochimiques, notamment Piper, Stiff, Schoeller-Berkalov, Korjinski, Riverside et Wilcox, Stabler et les diagrammes ternaires.

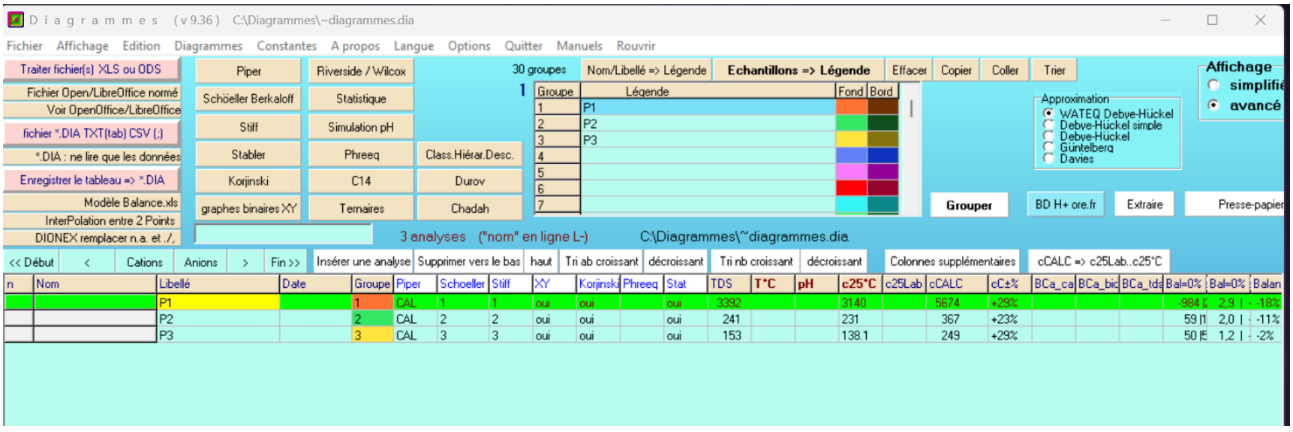


Figure 13 : Interface du logiciel Diagrammes.

3.1. Les diagrammes :

Les diagrammes constituent un outil essentiel pour l'interprétation des caractéristiques hydrochimiques des eaux d'irrigation. Ils permettent de représenter les différents paramètres et

indices physico-chimiques afin de faciliter l'analyse des résultats et la détermination du type d'eau. Dans cette étude, le logiciel DIAGRAMMES a été utilisé pour réaliser ces diagrammes et interpréter les caractéristiques hydrochimiques des eaux selon les critères reconnus.

A. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper constitue un outil de référence en hydrochimie pour la classification et l'interprétation des eaux selon leur composition ionique. Il se compose de deux triangles, l'un représentant les principaux cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} + K^{+}) et l'autre les principaux anions (Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}), reliés à un losange central. Les concentrations relatives des ions majeurs sont d'abord reportées dans les deux triangles, puis projetées dans le losange, ce qui permet de déterminer les faciès hydrochimiques et de comparer les caractéristiques des eaux analysées (Piper, 1944).

B. Diagramme de Richards (Riverside) :

Le diagramme de Richards (Riverside) est utilisé pour évaluer l'aptitude des eaux à l'irrigation en se basant sur deux paramètres principaux : la conductivité électrique (CE), qui traduit le risque de salinité, et le Sodium Adsorption Ratio (SAR), qui exprime le risque d'alcalinisation des sols. La combinaison de ces deux paramètres permet de classer les eaux en différentes catégories de qualité destinées à l'irrigation (Richards, 1954).

Le Sodium :

Adsorption Ratio (SAR) est calculé selon la relation suivante, et les résultats obtenus sont ensuite représentés sur le diagramme de Richards afin d'évaluer le risque lié à la sodicité des eaux.

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Ca^{++}, Mg^{++} et Na^{+} sont exprimés en meq/l.

C. Diagramme de Wilcox :

Le diagramme de Wilcox est largement utilisé pour évaluer la qualité des eaux destinées à l'irrigation. Il repose sur la relation entre le pourcentage de sodium (Na%) et la conductivité électrique (CE), permettant ainsi d'apprécier les risques liés à la salinité et à la sodicité des eaux. Le pourcentage de sodium (Na%) est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Na\% = (Na^{+} + K^{+}) \times 100 / (Na^{+} + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+})$$

où les concentrations ioniques sont exprimées en milliéquivalents par litre (méq/L). Les valeurs obtenues sont ensuite reportées sur le diagramme de Wilcox afin de déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation. Une teneur élevée en sodium peut affecter les propriétés physiques du sol et nuire au développement des cultures (Wilcox, 1955).

3.2. Traitement des données :

Les résultats analytiques ont été comparés aux normes algériennes de potabilité ainsi qu'aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). La fiabilité des analyses a été vérifiée par le calcul de la balance ionique. L'interprétation hydrochimique des eaux a été réalisée à l'aide des diagrammes de Piper, Schoeller-Berkaloff, Riverside et Wilcox afin de caractériser les eaux souterraines et d'évaluer leur qualité pour la consommation humaine et l'irrigation.

Chapitre III: Résultats et Discutions

Chapitre III : Résultats et Discutions

L'hydrochimie joue un rôle essentiel dans l'étude des eaux souterraines en permettant de déterminer leur composition chimique, leur origine et les processus géochimiques influençant leur qualité. Dans le massif dunaire de Bouteldja (wilaya d'El Tarf), les eaux souterraines constituent une ressource importante pour l'alimentation en eau potable, l'agriculture et les activités socio-économiques. Leur qualité est toutefois conditionnée par divers facteurs naturels et anthropiques, notamment la lithologie, les interactions eau-roche, l'infiltration des eaux de pluie et les activités humaines. Ce chapitre vise à caractériser les propriétés physico-chimiques des eaux souterraines à travers l'analyse des principaux paramètres hydro chimiques et à identifier les faciès chimiques dominants ainsi que les mécanismes responsables de leur minéralisation, afin d'évaluer leur qualité et leur aptitude aux différents usages.

1.Vérification de la fiabilité des données :

1.1. Balance ionique :

L'équilibre ionique est un outil fondamental en hydrochimie pour évaluer la fiabilité des données d'analyse chimique des eaux. L'erreur de balance ionique (E) est calculée selon la formule :

$$E = \left| (\sum \text{cations} - \sum \text{anions} / \sum \text{cations} + \sum \text{anions}) \times 100 \right|$$

Où les cations et les anions sont exprimés en milliéquivalents par litre (meq/L).

Une erreur de balance ionique faible indique que la somme des charges des cations est presque égale à la somme des charges des anions, ce qui est attendu selon le principe de neutralité électrique de l'eau. Les lignes directrices communément acceptées pour l'erreur de balance ionique sont comme suit :

- Une erreur inférieure à 5% est considérée comme excellente, indiquant des résultats analytiques très précis.
- Une erreur entre 5% et 10% est généralement acceptable pour la plupart des études hydrogéologiques.

- Une erreur supérieure à 10% suggère que les données peuvent être imprécises ou qu'il existe des erreurs dans les analyses ou dans le calcul des concentrations ioniques.

Ces seuils sont mentionnés dans diverses publications de référence (Rodier & al 2009). Il est important de souligner que les erreurs de balance ionique supérieures à la limite acceptable peuvent résulter non seulement d'erreurs analytiques mais aussi de la présence de constituants non mesurés dans l'eau, tels que les matières organiques dissoutes, qui peuvent contribuer à la charge anionique totale.

Bien que les points P1 et P2 présentent une erreur de balance ionique supérieure à 10% (17,91% et 11,01% respectivement), ces analyses ont été retenues dans notre étude. Cet écart s'explique par la forte minéralisation de ces eaux induite par leur proximité immédiate de la mer et l'influence marine (intrusion saline), ce qui rend les dosages chimiques plus complexe.

2. Interprétation des résultats :

Afin de faciliter l'organisation et l'analyse des données, les résultats obtenus ont été regroupés sous forme de tableaux élaborés à l'aide du logiciel Microsoft Excel.

Ces tableaux intègrent également les valeurs de référence établies par les normes algériennes ainsi que celles recommandées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Tableau 05 : Norme de potabilité des eaux destinées à l'AEP **(OMS et Algérien)**

Paramètre	Valeur limite de l'OMS (2017)	Valeur limite en Algérie (année 2014)	Unité
pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	-
Conductivité électrique	2800	2800	µS/cm
Solides dissous totaux (TDS)	1000	2000	mg/L
Turbidité	5	5	NTU
Température	25	25	°C
Dureté totale (CaCO3)	100 - 500	250 - 100	mg/L
Calcium (Ca^{2+})	75 - 200	150 - 100	mg/L
Magnésium (Mg^{2+})	150	150	mg/L
Sodium (Na^{+})	200	200	mg/L
Potassium (K^{+})	12	20	mg/L
Chlorures (Cl^{-})	200 - 400	500 - 200	mg/L
Sulfates (SO_4^{2-})	200 - 400	250 - 200	mg/L
Nitrates (NO_3^{-})	46	50	mg/L
Nitrites (NO_2^{-})	0.2	0.5	mg/L
Ammonium (NH_4^{+})	0.5	0.5	mg/L

2.1. Paramètres physiques :

2.1.1. Le pH :

Les valeurs du pH varient entre 6,64 et 7,87. Le puits P1 présente la valeur la plus élevée (7,87), suivi du puits P2 (7,58) puis du puits P3 (6,64).

L'ensemble des valeurs enregistrées se situe dans les limites admissibles fixées par les normes algériennes et les directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

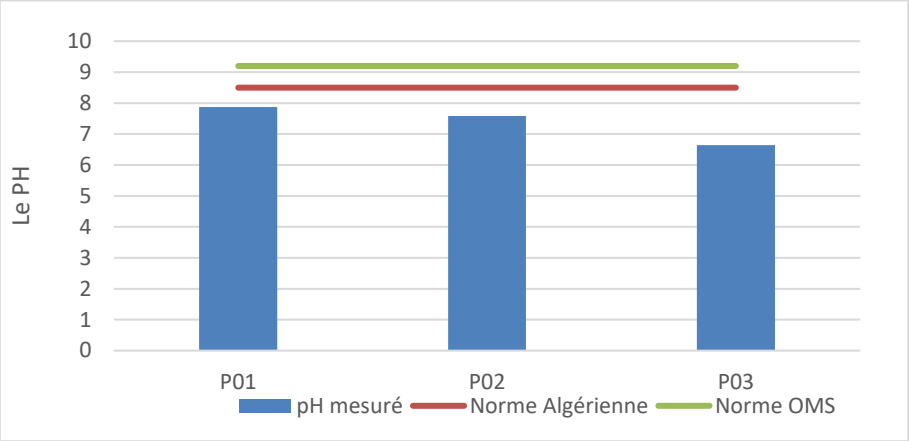


Figure 14 : Histogramme de la variation du pH.

2.1.2.Température :

Les températures varie entre 15 et 18,5 °C. Le puits P02 enregistre la valeur la plus élevée (18,5 °C), tandis que les puits P01 et P03 présentent chacun une valeur de 15 °C. mais l'ensemble reste inférieur aux normes algériennes et cel de l'OMS.

Cette faible variation traduit la stabilité thermique caractéristique des eaux souterraines.

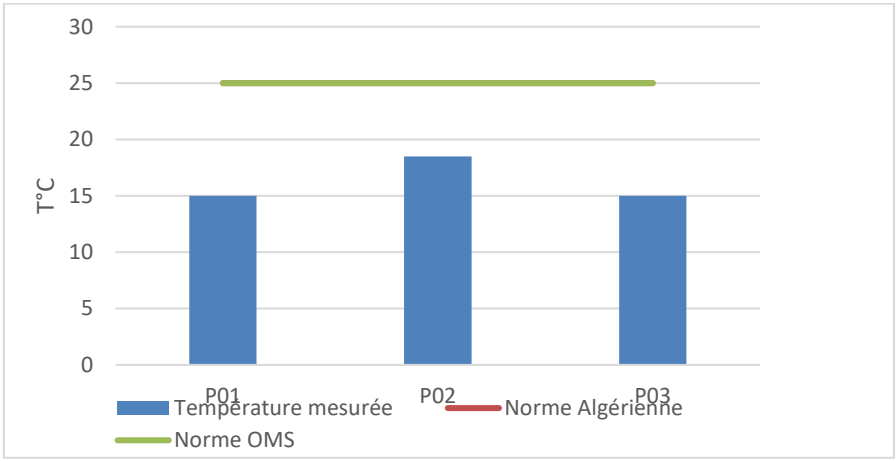


Figure 15 : Histogramme de la variation de la température.

2.1.3.Conductivité électrique :

Le P2 et P3 présentes des valeurs inferieurs aux norme algérienne et cel de l'OMS tendisque la valeur enregistrée dans le puits P1(3140 µS/cm) est trop élevée et dépasse les normes.

Cette situation traduit une forte minéralisation des eaux liée à la proximité du puits P01 avec la mer et à une éventuelle intrusion marine.

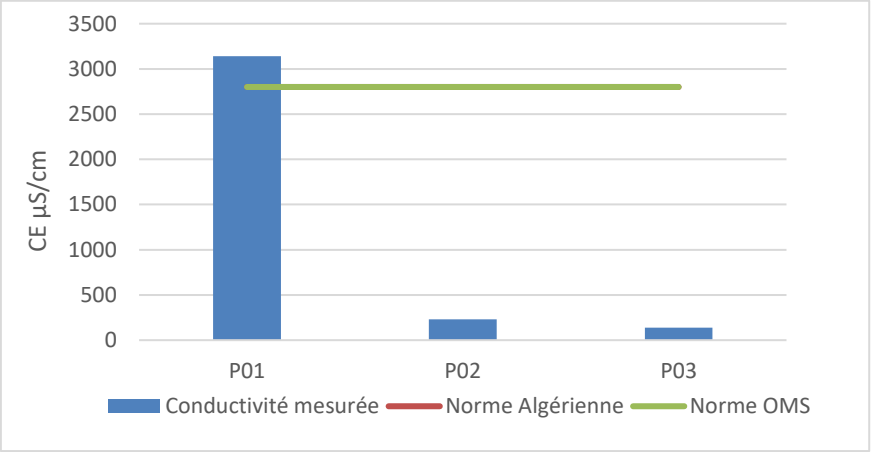


Figure 16 : Histogramme de la variation de la conductivité électrique.

2.1.4.TDS (Total Dissolve Solides) :

La valeur observée dans P1 dépasse les normes, contrairement aux valeurs de P02 et P03 qui reste inferieur normes algériennes et cel de la recommandation de l'OMS. Cette augmentation est liée à la forte teneur en sels dissous dans les eaux du puits P01.

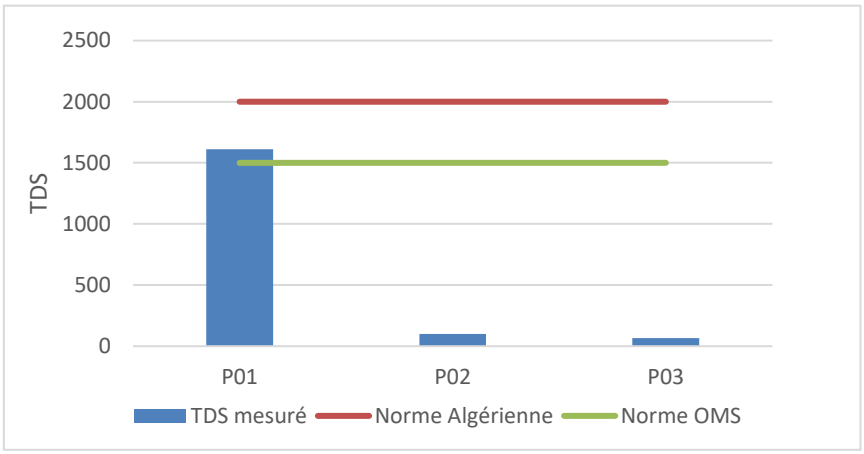


Figure 17 : Histogramme de la variation des solides dissous totaux (TDS).

2.2.Paramètres chimiques :

2.2.1. Les cations :

2.2.1.1. Le Sodium, Potassium (Na+, K+) :

Les valeurs trop élevées et dépassent les normes détectées dans P1qui se trouve au voisinage de la zone côtière (soit pour le Sodium ou le Potassium) soulignent l'impact de l'intrusion saline en particulier pendant les hautes eaux où l'interaction entre l'eau douce et l'eau de mer est accentuée, ce qui peut naturellement augmenter les concentrations de calcium dans ces régions. Cette dynamique est exacerbée par les activités humaines telles que les rejets domestiques.

Les chiffres marqués dans les points P2 et P3 restent conformes aux normes algériennes en vigueur ainsi qu'aux recommandations de l'OMS.

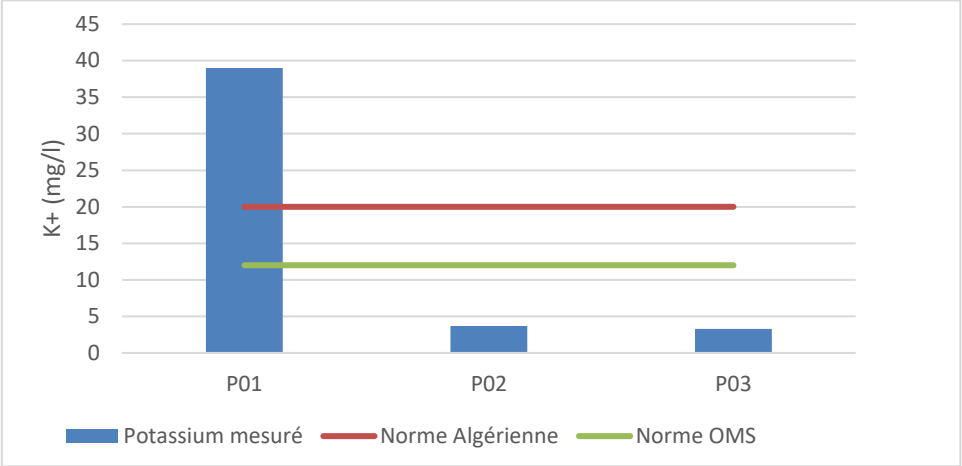


Figure 18 : Histogramme de la variation du potassium (K^+).

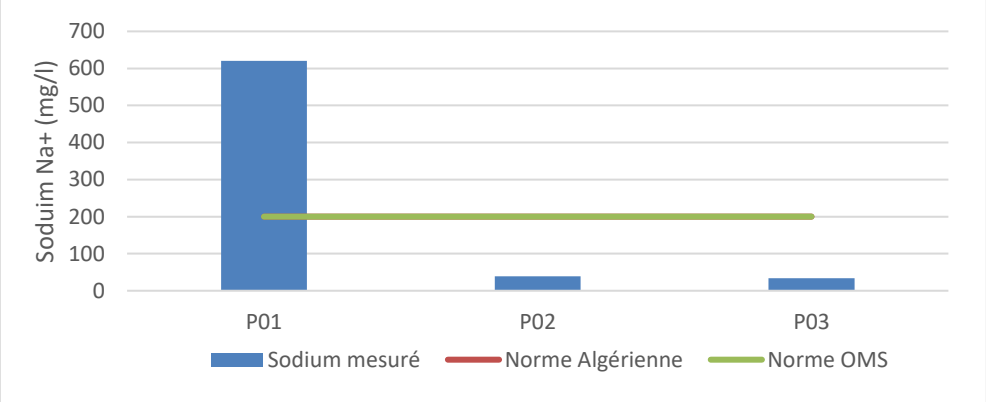


Figure 19 : Histogramme de la variation du Sodium (Na+)

2.2.1.2. Calcium (Ca^{2+}) :

En général, les concentrations inférieures à 100 mg/l dans les sables dunaires (P2 et P3) sont indicatives de processus de dissolution naturelle modérée des minéraux calciques présents dans le substrat, tels que le gypse et les carbonates. Cela suggère que l'eau souterraine dans ces zones est moins affectée par les intrusions salines ou par la pollution anthropique.la valeur trop élevées détectées dans le forage P1 soulignent l'impact de l'intrusion saline, en particulier pendant les hautes eaux où l'interaction entre l'eau douce et l'eau de mer est accentuée, ce qui peut naturellement augmenter les concentrations de calcium dans ces régions.

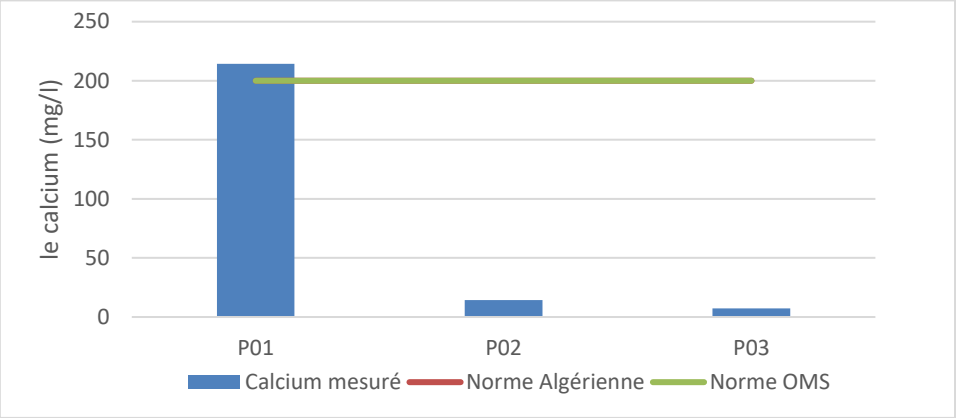


Figure 20 : Histogramme de la variation du calcium (Ca^{2+}).

2.2.1.3. Magnésium (Mg^{2+}) :

Les valeurs en générale ne dépassent pas les normes soit algérienne ou cel de l'OMS. Mais Les concentrations plus élevées a P1 près de la zone côtière suggèrent une influence marine, où les eaux chargées en ions, y compris le magnésium, peuvent s'infiltrer dans la nappe, augmentant ainsi sa concentration en magnésium .

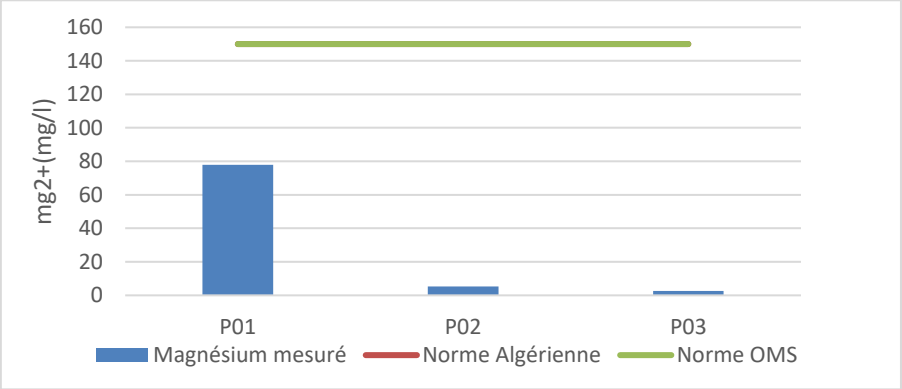


Figure 21 : Histogramme de la variation du magnésium (Mg^{2+}).

2.2.2. Les anions :

2.2.2.1.Chlorures (Cl^-) :

L'origine des chlorures est principalement liée à la dissolution des formations salines et à l'effet

de la salinité marine. Ils proviennent également de la pollution anthropique et de l'évaporation intense qui provoque une augmentation des concentrations en ions Cl- qui se produit dans les

zones
où le niveau statique est proche de la surface du sol.

Les valeurs très élevées ont été enregistrées dans P1 à cause de l'influence marine (2059 mg/l), le reste des forage P2 et P3 on marqué par des concentration de chlorure acceptable (<100 mg/l).

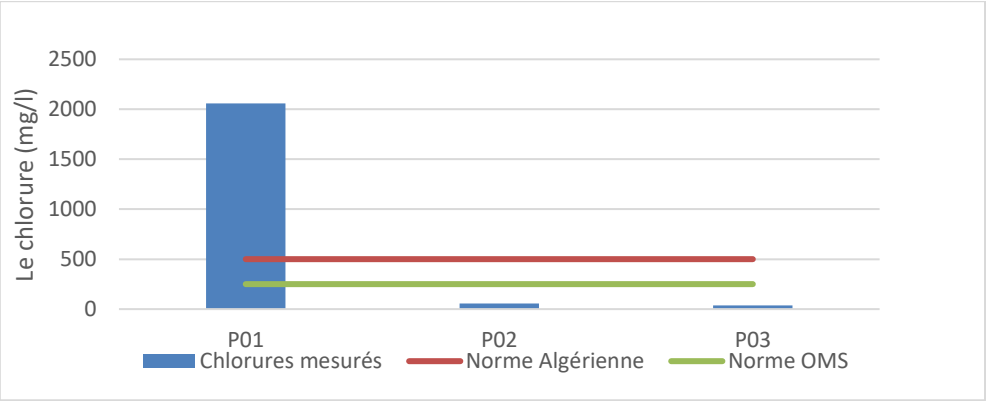


Figure 22 : Histogramme de la variation des chlorures (Cl^-).

2.2.2.2 Sulfates (SO_4^{2-}) :

Les concentrations du sulfate mesurées au niveau de la zone d'étude varient de 15à 150 mg/l.Mais les valeurs enregistrées se situe dans les limites admissibles des normes algériennes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). les échantillons ayant une concentration élevée (plus de 60 mg/l) semblent plutôt en relation avec une pollution des eaux liée à l'activité humaine.

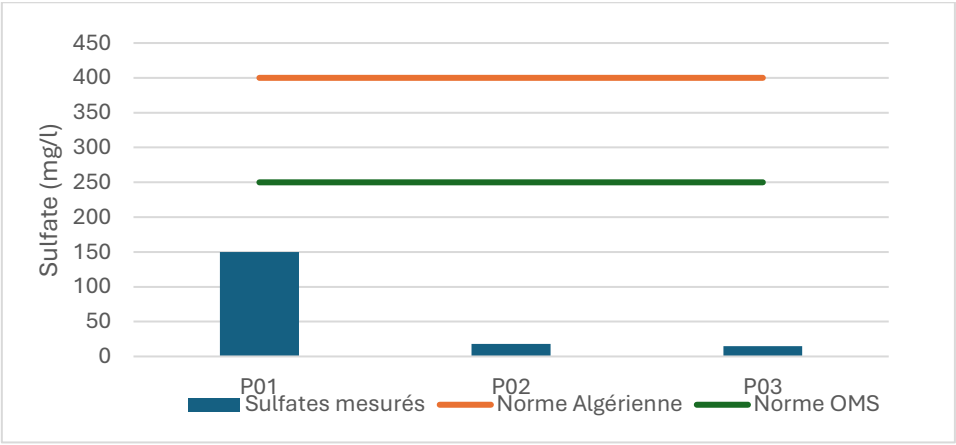


Figure 23 : Histogramme de la variation des sulfates (SO_4^{2-}).

2.2.2.3. Bicarbonate (HCO_3^-) :

Les valeurs des bicarbonates devient plus important on dirigent du sud vers le nord ou atteint nue valeur maximale au P1 avec 231,8 mg/l. les concentrations élevées en bicarbonates (HCO_3^-) dans les eaux souterraines des massifs dunaires proviennent généralement de la dissolution des formations carbonatées (calcaire) par des eaux chargées en dioxyde de carbone. Dans les zones côtières ou agricoles, ces taux peuvent aussi s'accroître lors des périodes de hautes eaux et s'accentuer sous l'effet de l'évaporation ou de l'activité humaine.

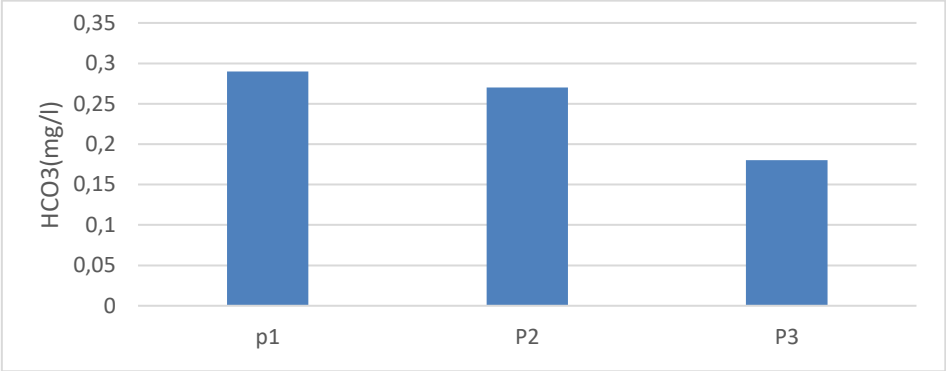


Figure 24 : Variation des Bicarbonate (HCO_3^-)

3. Classification des eaux :

3.1. Classification des eaux selon le diagramme de PIPER

Afin de déterminer les faciès chimiques et d'évaluer les caractéristiques qualitatives des eaux souterraines, les résultats des analyses chimiques, exprimés sous forme ionique, sont représentés à l'aide d'un diagrammes. Ces représentations graphiques permettent de comparer les différentes eaux entre elles et de les regrouper selon leurs familles chimiques. Parmi les diagrammes les plus couramment utilisés:

• Le diagramme en losange ou diagramme de Piper ;

• Le diagramme semi-logarithmique de Schoëller-Berkaloff

À partir du diagramme de Piper présenté par la figure X, on observe une différenciation des faciès chimiques des eaux étudiées. L'échantillon P1 se caractérise par une dominance des cations calciques et magnésiens (Ca^{2+} + Mg^{2+}) associée à une prédominance des anions

chlorurés et sulfatés, définissant ainsi un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien. En revanche, les échantillons P2 et P3 présentent une dominance des cations sodiques et potassiques ($Na^+ + K^+$) ainsi que des anions chlorurés, ce qui les classe dans le faciès chloruré sodique et potassique. Cette répartition met en évidence l'existence de deux faciès chimiques distincts au sein des eaux analysées.

La détection d'un faciès chloruré sodique et potassique suggère une évapotranspiration élevée, particulièrement dans les zones centrales proches de la mer, ainsi qu'un possible impact des pratiques d'irrigation agricole, qui peuvent enrichir l'eau en ions Na+ et K+. Le faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien reflète l'influence géochimique des minéraux évaporitiques présents dans le substratum, ainsi que la possible contribution des eaux de mer dues à la proximité du littoral. L'activité agricole peut également contribuer à la présence de sulfates, notamment par le ruissellement des engrais.

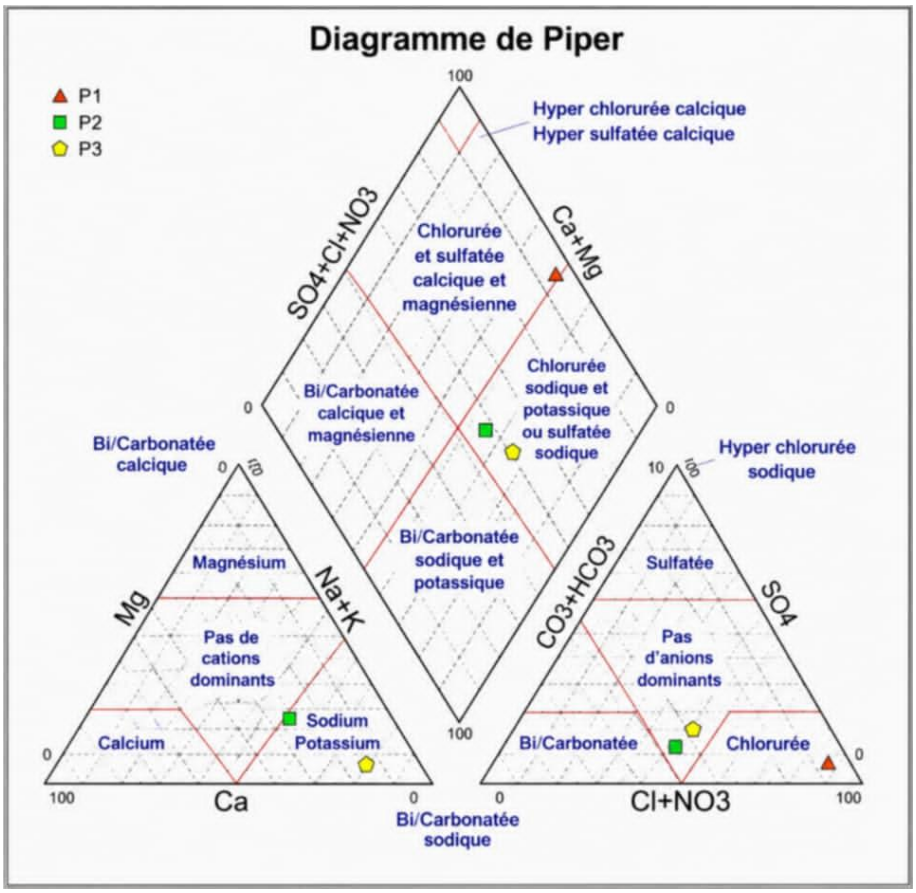


Figure 25: Faciès chimique des eaux souterraines selon le diagramme de Piper.

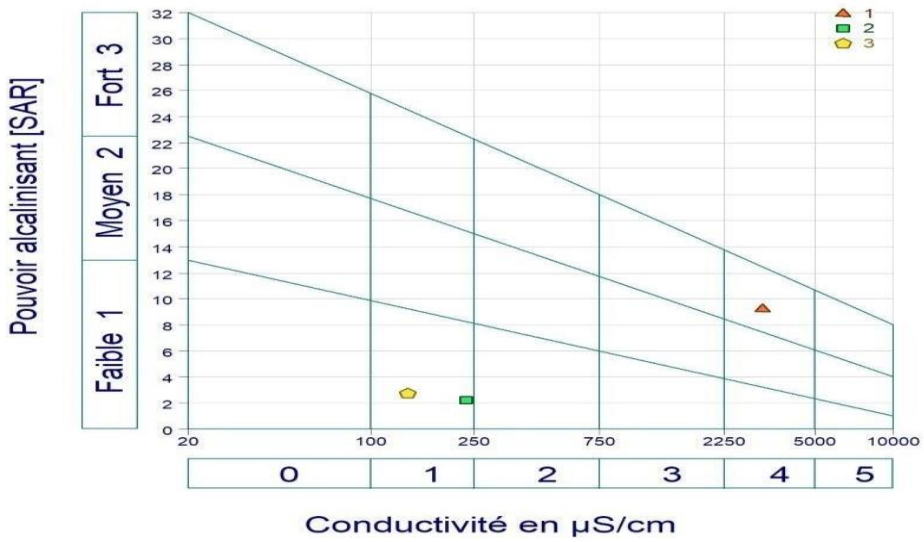


Figure 26 : Classification des eaux souterraines selon le diagramme de Riverside.

3.2. Étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation :

L'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation est indispensable pour évaluer leur influence sur les sols agricoles et le développement des cultures. Une eau de mauvaise qualité peut entraîner des problèmes de salinité ou de sodicité susceptibles d'affecter la productivité agricole. Afin d'apprécier la qualité des eaux de la zone d'étude pour un usage agricole, une classification a été réalisée à l'aide des diagrammes de Riverside et de Wilcox, basés respectivement sur la conductivité électrique, le rapport d'adsorption du sodium (SAR) et le pourcentage de sodium (Na%).

3.2.1. Classification selon le diagramme de Riverside :

Le diagramme de Riverside est un outil couramment utilisé pour apprécier la qualité des eaux destinées à l'irrigation. Il permet d'évaluer les risques liés à la salinité et à la présence excessive de sodium, deux facteurs pouvant influencer négativement la structure et la perméabilité des sols agricoles. Cette méthode de classification repose essentiellement sur la conductivité électrique de l'eau et sur le rapport d'adsorption du sodium (SAR), ce qui facilite la détermination de leur aptitude à un usage agricole.

3.2.2. Classification selon le diagramme de Wilcox (1948) :

La qualité de l'eau d'irrigation est considérée comme un facteur essentiel qui influence directement la croissance des plantes et leur productivité, car une forte teneur en sodium dans l'eau entraîne la dégradation des propriétés du sol et limite sa capacité à soutenir le développement végétal. Ainsi, la classification de Wilcox (1948) a été adoptée pour évaluer l'aptitude des eaux d'irrigation dans le domaine agricole. Elle repose sur deux principaux critères : la conductivité électrique, qui exprime le degré de salinité de l'eau, et le pourcentage de sodium dans l'eau, afin de déterminer le degré d'adéquation de ces eaux à l'usage agricole.

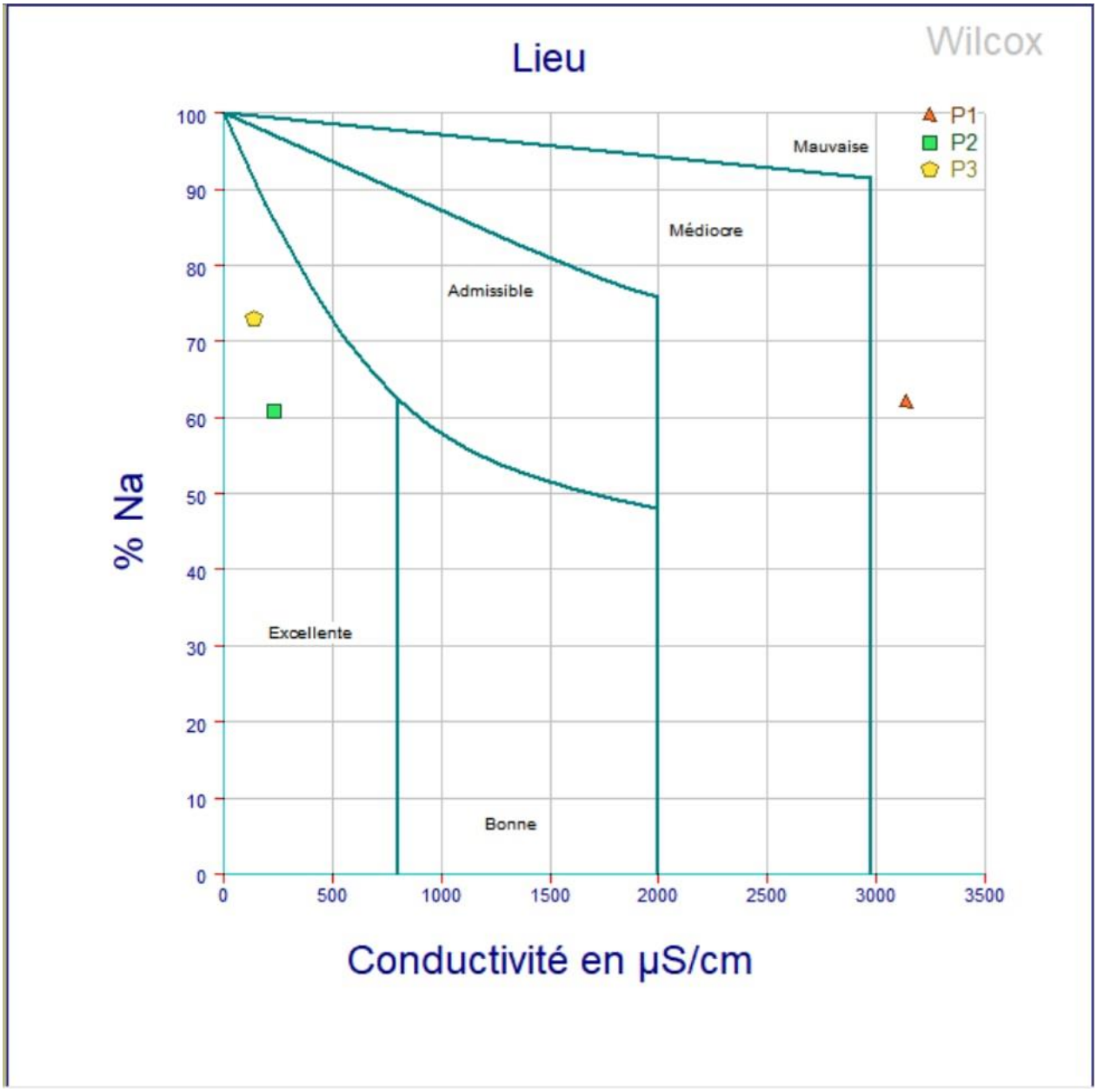


Figure 27 : Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox (1948).

Selon le diagramme de Wilcox, les échantillons P2 et P3 sont classés dans la catégorie « Excellente », indiquant une très bonne aptitude des eaux à l'irrigation. En revanche, l'échantillon P1 est situé dans la catégorie « Médiocre », en raison de sa forte salinité, ce qui peut limiter son utilisation pour l'irrigation. Ainsi, les eaux des puits P2 et P3 sont favorables à l'usage agricole, tandis que l'eau du puits P1 nécessite certaines précautions d'exploitation.

4. Évaluation de la qualité des eaux :

La comparaison des résultats analytiques aux normes algériennes et aux recommandations de l'OMS montre que les eaux des puits P2 et P3 présentent une bonne qualité physico-chimique et respectent la majorité des valeurs limites admissibles. Les paramètres mesurés demeurent globalement conformes, ce qui indique une eau adaptée à la consommation et aux différents usages. En revanche, le puits P1 présente plusieurs dépassements des normes, notamment pour la conductivité électrique, les TDS, le potassium, le calcium, le sodium et les chlorures. Cette dégradation de la qualité est liée à une forte minéralisation des eaux et à une probable influence marine. Ainsi, les eaux de P2 et P3 sont de bonne qualité, tandis que celles de P1 nécessitent un traitement ou une surveillance avant toute utilisation destinée à la consommation humaine.

5.Conclusion :

L'objectif principal de notre étude était d'examiner les propriétés physico-chimiques des eaux souterraines de l'aquifère côtier de Bouteldja, en mettant un accent particulier sur l'identification des processus géochimiques qui influencent leur minéralisation. Cette étude s'est appuyée sur des données collectées au cours des campagnes de prélèvement effectuées durant les périodes de basses eaux de 2019. Les échantillons, prélevés à partir de puits de surface et de forages, ont été soumis à des mesures in situ, telles que la température, la conductivité et le pH, ainsi qu'à des analyses de laboratoire portant sur les ions majeurs. L'évaluation des faciès chimiques, grâce aux diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff, a révélé une prédominance du faciès chloruré sodique et potassique, tout en notant l'existence d'autres faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien . L'analyse des paramètres physico chimiques a mis en évidence une diversité chimique des eaux, soulignant l'impact significatif de la géologie locale, des activités agricoles et de la dynamique côtière sur la qualité des eaux souterraines. Les concentrations en ions et autres paramètres physiques ont généralement Indiqué une qualité de l'eau conforme aux normes de potabilité, bien que certaines zones soient été affectées par une forte minéralisation ou pollution, en particulier les zone côtiers qui a été touche par le phénomène de l'intrusion marine.

Conclusion générale.

Conclusion générale :

Les analyses physico-chimiques constituent un outil indispensable pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines, puisqu'elles permettent de déterminer leur composition chimique, d'identifier les processus géochimiques responsables de leur minéralisation et de vérifier leur conformité aux normes de potabilité et d'irrigation. Elles jouent ainsi un rôle essentiel dans la gestion durable des ressources hydriques et la protection de la santé publique.

Au terme de cette étude réalisée sur les eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja (wilaya d'El Tarf), il ressort que cet aquifère côtier constitue une ressource en eau importante pour l'alimentation en eau potable, l'agriculture et les différentes activités socio-économiques de la région. Cependant, la qualité de ces eaux reste influencée par les conditions géologiques, climatiques, les activités anthropiques ainsi que par l'intrusion marine.

Grâce aux méthodes d'investigation adoptées et aux analyses effectuées sur les trois points de prélèvement (P1, P2 et P3), les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence les caractéristiques suivantes :

• Les valeurs du pH et de la température mesurées dans les différents échantillons restent conformes aux normes algériennes et aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

• Les valeurs de la conductivité électrique (CE) et des solides dissous totaux (TDS) montrent une forte minéralisation au niveau du puits P1, avec des valeurs dépassant les normes admissibles, contrairement aux puits P2 et P3 qui présentent des valeurs conformes.

• Les concentrations des cations majeurs (Na^+, K^+, Ca^{2+} et Mg^{2+}) révèlent une augmentation importante dans le puits P1, particulièrement pour le sodium, le potassium et le calcium, traduisant l'influence de l'intrusion marine et des interactions eau-roche.

• Concernant les anions majeurs (Cl^-, SO_4^{2-} et HCO_3^-), les teneurs élevées en chlorures observées dans le puits P1 mettent en évidence l'influence directe des eaux marines, tandis que les concentrations en sulfates et bicarbonates demeurent globalement dans les limites admissibles.

• L'interprétation hydrochimique à l'aide du diagramme de Piper a permis de distinguer deux faciès chimiques dominants : un faciès chloruré sodique et potassique et un faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien.

• L'évaluation de l'aptitude des eaux à l'irrigation par les diagrammes de Riverside et de Wilcox montre que les eaux des puits P2 et P3 présentent une excellente aptitude à l'irrigation, tandis que les eaux du puits P1 nécessitent certaines précautions d'exploitation en raison de sa forte salinité.

En définitive, les eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja présentent une qualité globalement satisfaisante dans les secteurs éloignés du littoral, alors que les zones côtières sont affectées par une forte minéralisation liée essentiellement au phénomène d'intrusion marine. Il apparaît donc nécessaire de mettre en place un suivi régulier de la qualité des eaux, de limiter la surexploitation de la nappe et d'adopter des mesures de gestion rationnelle afin d'assurer la préservation durable de cette ressource hydrique stratégique pour les générations futures. Nous espérons également que d'autres chercheurs s'intéresseront à cette région et y mèneront des études complémentaires, afin d'enrichir les connaissances scientifiques sur les eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja.

Liste des références :

Affoun, S. (2006). *Ressources en eau, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la Mafragh* (Mémoire de Magistère). Université Mentouri Constantine 1, Algérie.

Affoun, S. (2022). *Les barrages de Cheffia et de Mexa dans le bassin versant de l'oued Mafragh (Extrême Nord-Est algérien) : fonctionnement hydrologique et gestion durable des eaux* (Thèse de Doctorat en Sciences). Université Constantine 1, Algérie.

Affoun Ikhlef, S., Mebarki, A., & Taabni, M. (2019). Bilans d'eau et apports de crues exceptionnelles de l'Oued Bounamoussa (Algérie orientale) : implications pour la gestion du barrage Cheffia. *Sciences & Technologie D*, (49), 59–72.

Assassi, F., Hani, A., & Djabri, L. (2004). Évolution chimique et vulnérabilité à la pollution de l'aquifère dunaire de Bouteldja (Nord-Est algérien). *Sciences & Technologie B*, (21), 89–95.

Attoui, B. (2014). *État de la vulnérabilité à la pollution des eaux des grands réservoirs d'eaux souterraines de la région de Annaba-El Tarf et identification des sites d'enfouissement de déchets* (Thèse de Doctorat en Sciences). Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.

Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1953). *Saison sèche et indice xérothermique*. Toulouse, France.

Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*, *66*(355), 193-220.

Boukerb, S. (2021). *Carte géologique de la wilaya d'El Tarf et du sous bassin versant de la Mafragh* (Mémoire de fin d'études/Rapport). Université d'Annaba, Algérie.

Bourbia, H. (2011). *Faisabilité de l'implantation de bassins d'alimentation d'un aquifère : Cas du massif dunaire de Bouteldja (Extrême Nord-Est Algérien)* (Mémoire de Magister). Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.

Derradji, A. (2018). *Étude géologique et hydrogéologique de la région d'El Tarf* (Mémoire de fin d'études/Thèse). Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.

Djeddi, A. (2021). *Étude hydrologique des barrages de l'extrême Nord-Est algérien* (Mémoire de fin d'études/Thèse). Université d'El Tarf, Algérie.

Gaud, B. (1976). *Étude hydrogéologique des plaines d'Annaba–Bouteldja* (Rapport hydrogéologique). Algérie.

Haied, N. (2008). *Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Bouteldja* (Mémoire de Magister/Fin d'études). Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.

Haied, N. (2015). *Impact des eaux de réalimentation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja* (Thèse de Doctorat). Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.

Haied, N., Chaab, S., Saadia, B., & Bougherira, N. (2015). Impact des eaux de réalimentation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja. *Revue Sciences et Technologie, Synthèse*, (30), 48–57.

Harizi, K. (2024). *Étude hydrogéologique et géophysique de l'aquifère côtier de Bouteldja* (Mémoire de fin d'études/Thèse). Université d'El Tarf, Algérie.

Joleaud, L. (1936). *Étude géologique du Nord-Est algérien*. Service de la Carte Géologique de l'Algérie.

Kherici, N. (1993). *Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole : Annaba–la Mafragh (Nord-Est algérien)* (Thèse de Doctorat d'État). Université d'Annaba, Algérie.

Labar, S. (2003). *Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physico-chimique des eaux stagnantes temporaires dans la vallée de la Mafragh (Extrême Nord-Est algérien)* (Mémoire de Magister). Université d'Annaba, Algérie.

Marre, A. (1980). *Géologie structurale de l'extrême Nord-Est algérien*. Université de Paris, France.

Mezbour, A. (2018). *Caractérisation géologique et hydrogéologique des formations quaternaires de l'Est algérien* (Mémoire de fin d'études/Thèse). Université d'Annaba, Algérie.

Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). *L'analyse de l'eau* (9e éd.). Dunod.

Schoeller, H. (1962). *Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique*. Masson.

Vila, J. M. (1980). *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens*. Université Pierre et Marie Curie.

Wilcox, L. V. (1948). *The Quality of Water for Irrigation Use* (Technical Bulletin No. 962). U.S. Department of Agriculture.

الجمـــهوريـة الجزائـــريـة الديمقراطية الـشعبيـــة.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : le 23.06.2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : ..Mme. Nabila Rebbah..... Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **SILINI Rayene**

Spécialité : **Aménagement hydro- agricole**

Intitulé :

Evaluation des eaux du massif dunaire de Bouteldja Wilaya El-Tarf.

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de memoire

Président(e) de Jury

الجمـــهورية الجزائـــرية الديمقراطية الشعبيـــة.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : le 23.06.2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné(e) : Mme Nabil Lydia ..... Président(e) de Jury

Certifie que L'étudiant(e) : **LEKHLIFI Imene**

Spécialité : **Aménagement hydro- agricole**

Intitulé :

Evaluation des eaux du massif dunaire de Bouteldja Wilaya El-Tarf.

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Directeur de mémoire

Président(e) de Jury