

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique
Université Chadli Bendjedid
El Tarf



جامعة الشاذلي بن جديد

UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشاذلي بن جديد

الطارف

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم علوم البيولوجيا



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Réalisé en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master II

« Agroenvironnements et Bioindicateurs »

Filière « Ecologie et Environnement »

THÈME

Évaluation de la qualité de l'eau dans le sous bassin versant el Mafragh (Nord-
Est Algérien-Eltarf)

Présenté par : BENSALEM Imen

Évalué le : 19/06/2025

Comité d'évaluation :

Président : BOUKACHABAI Alima MCA UCBET

Encadrant : ALOUCH Meriem MAA UCBET

Examineur : BOUKHATEM Amel MAB UCBET

Année universitaire 2024 - 2025

REMERCIEMENT

Au nom d'Allah le tout miséricordieux

*Qui par sa grâce et sa bonté nous a donné le courage, la santé et la foi
pour nous permettre d'atteindre l'objectif tant visé.*

*On voudrait dans un premier temps remercier, notre directrice de
mémoire :*

***Dr Alouch**, pour sa patience, sa disponibilité, surtout ses judicieux
conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion, et dont
l'amabilité et la patience exemplaire nous ont aidés à mener à bien notre
travail sans oublier sa gentillesse.*

*Honorables gratitudes envers les membres de jury, **Dr Boukhatem A** et
Dr Boukachbiai A, de nous avoir accordé de leur temps afin de juger
notre modeste travail.*

*Nous tenons à remercier Tous ceux qui nous ont donné la main pour le
stage pratique dans laboratoire pédagogique.*

*Mille fois merci Mille merci à toutes les personnes qui ont contribué de
près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

*Au Dieu le tout puissant, qui m'a tracé le chemin de vie, et qui
m'a donnée la force pour réaliser ce travail.*

*À mes parents **Nouar et Fatma Zohra** qu'ils trouvent ici
l'expression de ma gratitude*

*Et Ma Sœur : **Nada***

A ma grande famille, du grand au petit

*À tous mes amis surtout : **Chaima***

À tous mes enseignants de l'école primaire jusqu'à l'université

Tous mes amis d'enfance et du long parcours scolaire

Universitaire.

A toute la promotion 2025

Résumé

RESUME

Ce mémoire porte sur l'étude du sous-bassin versant de Mafragh dans la wilaya d'El Tarf. L'approche adoptée combine une analyse morphométrique, topographique et hydrogéologique avec une étude de la qualité des eaux. Les résultats mettent en évidence une vulnérabilité importante des eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja, affectées par la pollution d'origine naturelle et anthropique. L'objectif principal est d'identifier les facteurs de pollution et de proposer des solutions de gestion durable.

Mots-clés: Sous-bassin versant, Mafragh, aquifère, pollution, qualité des eaux, hydrogéologie, gestion durable, El Tarf.

ABSTRACT

This thesis focuses on the study of the Mafragh sub-watershed in the El Tarf province. The approach combines morphometric, topographic, and hydrogeological analyses with a water quality assessment. The results highlight the significant vulnerability of the Bouteldja dune aquifer, impacted by both natural and human-induced pollution. The main objective is to identify pollution sources and propose sustainable water resource management solutions.

Keywords: Sub-watershed, Mafragh, aquifer, pollution, water quality, hydrogeology, sustainable management, El Tarf.

ملخص:

يتناول هذا البحث دراسة الحوض الفرعي لوادي مفرغ في ولاية الطارف. وتعتمد المنهجية على تحليل مرفومترية، طبوغرافية وهيدروجيولوجية، بالإضافة إلى تقييم جودة المياه. أظهرت النتائج هشاشة كبيرة للمياه الجوفية في كتلة بوتلدجة الرملية، المتأثرة بالتلوث الطبيعي والبشري. الهدف الرئيسي هو تحديد مصادر التلوث واقتراح حلول لإدارة مستدامة لهذه الموارد.

الكلمات المفتاحية: الحوض الفرعي، مفرغ، المياه الجوفية، التلوث، جودة المياه، الهيدروجيولوجيا، الإدارة

المستدامة، ولاية الطارف.

Liste des Figures

Liste des figures	Page
Figure I.1 : Situation du sous bassin versant de Mafragh (0317).	5
Figure I.2. : Situation administrative du sous bassin versant de Mafragh (0317).	5
Figure I.3 : Courbe Hypsométrique et altimétrique du sous bassin de Mafragh.	9
Figure I.4 : Carte hypsométrique du sous bassin versant de Mafragh	9
Figure I.5 : Carte des pentes du bassin versant de Mafragh	10
Figure I.6 : Carte des caractéristiques hydrographiques de sous bassin versant de Mafragh.	12
Figure I.7 : Carte de classification du réseau hydrographique de sous bassin versant de Mafragh	12
Figure I.8 : Carte d'occupation du sol (réalisée sur la base de la carte d'occupation du sol de la wilaya d'El-Taref effectuée en 2011 par le BNEDER).	15
Figure I.9 : Localisation de l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja.	17
Figure.I.10: carte des isopaches des sables dunaires Hani.	18
Figure.I.11: Coupe hydrogéologique dans l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja d'après.	19
Figure.I.12. Coupes hydrogéologiques schématisées dans l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja.	19
Figure I.13 : Coupe schématique hydrogéologique corrélatives d'après les coupes des forages et la géophysique D'après.	20
Figure.I.14. Carte piézométrique de la nappe du massif dunaire de Bouteldja en 1982	21
Figure I.15 : Schéma des conditions aux limites de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja.	23
Fig. II.1 : Répartition de l'eau douce.	27
Fig. II.2 : Cycle de l'eau .	28
Fig. 3 : Escherichia-coli sous microscope électronique à G X 1000	38
Fig. 4 : Coliformes totaux [1].	38
Fig. 5 : Streptocoques fécaux [2].	39
Fig. 6 : Répartition des maladies à transmission hydrique année 2015 en Algérie.	43

Liste des Figures

Figure.V.1. Diagramme de Piper des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2004)	67
Figure.V.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2004)	68
Figure.V.3. Diagramme de Piper des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des basses eaux (Septembre 2004)	68
Figure.V.4. Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des basses eaux (Septembre 2004)	69
Fig 5 : Diagramme de Piper et des eaux de la nappe du Massif dunaire Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2010).	69
Fig6 : Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du Massif dunaire Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2010).	70
Fig. 7 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe période des basses eaux (Septembre 2010).	70
Fig. 8: Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe période des basses eaux (Septembre 2010)	71

Liste des tableaux

Liste des tableaux	Page
Tableau I.1 : Répartition des tanches d'altitude en fonction de la surface	8
Tableau I.2 : Les altitudes caractéristiques du bassin versant de Mafragh	10
Tableau.I.3 : Classification du relief selon Ig, Ds par l'ORSTOM.	11
Tableau I.4 : paramètres de classification du réseau hydrographique du sous bassin versant de Mafragh	13
Tableau I.5 : Récapitulatif des Caractéristiques du sous bassin versant du Mafragh.	24
Tableau II.1 : La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie	29
Tableau II. 2 : les normes de potabilité de l'eau de consommation selon l'OMS et le journal officiel algérien.	29
Tableau II.3 : La relation entre la minéralisation et la conductivité	32
Tableau 4 : Qualité de l'eau en fonction de la valeur de TH	33
Tableau 5 : Classification des eaux selon le résidu sec	34
Tableau 6 : Grille de la qualité des eaux en fonction du phosphate	35
Tableau 7 : Normes algériennes et de l'OMS de la qualité microbiologique des eaux	39
Tableau 8 : Principales maladies d'origine bactériennes	44
Tableau 9 : Principale maladies d'origine virale	45
Tableau 10 : Principales maladies d'origine parasitaire	45
Tableau 12 : Les concentrations en nitrate en fonction des volumes de la solution mère de nitrate	50
Tableau 13 : Préparation des volumes de solution étalon (ANRH, 2007).	52

Tableau 14 : Préparation des solutions étalon (ANRH, 2007)	53
Tableau 15 : Préparation des solutions étalons (ANRH, 2007).	57
Tableau 16 : Les équations correspondantes pour la calcule du DCO dans l'échantillon et dans le témoin (ANRH, 2007).	60
Tableau 17 : Les équations de la calcule du dosage de la matière organique dans l'échantillon et dans le témoin (ANRH, 2007) :	63
Tableau.V.1 : Formules ioniques et faciès chimiques des eaux du massif dunaire.	71
Tableau.V.2 : Les différents débits d'eaux usées rejetés (Source différentes APC de la wilaya d'El Tarf 2005. (Bahroun. S, 2005).	72

Sommaire

Titre	Page
Remerciement	-
Dédicace	-
Résumé	-
Liste des Figures	I
Liste des tableaux	VI
Sommaire	VII
Introduction	1
Chapitre 01 : Présentation de la région	3
I.1. Introduction	4
I.2. Présentation de la région	4
I.2.1. Situation Administrative et Géographique du sous bassin versant de Mafragh	4
I.3. Etude du milieu physique et naturel du sous bassin versant de Mafragh	5
I.3.1. Principales caractéristiques géomorphologiques du sous bassin de Mafragh	6
I.3.1.1. La superficie "A" (Km ²) et Périmètre "P" (Km)	6
I.3.1.2. Indice de compacité de Gravelius (Kc)	7
I.3.1.3. Dimension du rectangle Equivalent	7
I.3.1.4. La courbe et carte hypsométrique figure I.3	8
I.3.1.5. Les altitudes caractéristiques	10
I.3.2.1. Indice de pente globale "Ig" (m/Km)	10
I.3.2.2. Dénivelé spécifique Ds (m)	11
I.4. Caractéristiques hydrographique du sous bassin versant de Mafragh	11
I.4.1. Hiérarchisation du réseau hydrographique	12
I.5. Pédologie de la zone d'étude	13
I.5.1. Les sols peu évolués d'apport alluvial	14
I.5.2. Sols halomorphes	14
I.5.3. Les Vértisols	14
I.6. Occupation du sol	15
I.7. Caractéristiques hydrographique du sous bassin versant de Mafragh	16
I.7.1. Localisation de l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja	16
I.7.2. Description hydrogéologiques de l'aquifère du massif dunaire	17
I.7.2.1. Géométrie de l'aquifère	17

I.7.3. Nature des formations hydrogéologiques	18
I.7.3.1. Nature lithologique du réservoir du massif dunaire	18
I.7.3.2. Nature lithologique du substratum de l'aquifère	19
I.7.4. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe aquifère de Bouteldja	20
I.7.4.1. La piézométrie	20
I.7.4.2. La Transmissivité	20
I.7.4.3. Perméabilité	21
I.7.4.4. Coefficient d'emménagement	21
I.7.5. Les zone d'alimentation La nappe des sables dunaires de Bouteldja	21
I.8. Conclusion	24
Chapitre 02 : Revue bibliographique sur la qualité des eaux de surface	26
1. L'eau	27
2. la répartition de l'eau sur la planète	27
3. Le cycle de l'eau	27
4. Qualité des eaux	27
4.1. Les eaux de surface	28
4.2.1. Les eaux vives	30
4.2.2. Les eaux calmes	31
4.2. Paramètres de l'eau de surface	31
4.2.1. Paramètres organoleptiques	33
4.3. Paramètres de minéralisation globale	34
5. Pollution de l'eau	39
5.1 Définition de la pollution	39
5.1.1. Les modes de pollution	40
1.1. La classification de la pollution selon l'origine de la pollution	40
1.2. La classification de la pollution selon le polluant	42
1.3. Les maladies à transmission hydriques	43
Chapitre 03 : Matériel et méthodes	46
1. L'échantillonnage	47
1.1. Prélèvement des échantillons	47
1. Méthode analytiques	48
1.2. Détermination des paramètres physico-chimiques des eaux	48

1.2.1. Les paramètres mesurés in situ	51
1.3. Détermination des paramètres indicateurs de pollution des eaux	51
1.3.1. Paramètres mesurés dans le laboratoire	51
Chapitre 4 : Hydrochimie et pollution	64
Introduction	65
1. Qualité des eaux de surfaces	65
1.1 Les Eaux de pluie	65
1.2. Eaux des marais de Mekrada	65
1.3. Eaux de l'Oued Kebir	66
2. Qualité des eaux souterraines	66
2.1 Paramètres physiques (température, pH conductivité et résidu sec)	66
2.2 Paramètres chimiques	66
2.2.1 Paramètres physiques (température, pH conductivité et résidu sec)	67
2.2.2 Paramètres chimiques	67
2.2 Interprétation des résultats Tableau.V.1	71
Conclusion	74
Conclusion générale	75
Bibliographie et Références	77

Introduction

Introduction

L'eau représente un aliment essentiel indispensable à la vie, l'eau potable ordinaire, est une eau possédant des qualités chimiques, microbiologiques et organoleptiques qui la rendent apte à la consommation humaine (**GUIRAUD, 1998**).

Elle couvre environ 70% de la planète, c'est-à-dire environ 1.4 milliards de km³. C'est pour cela qu'on donne souvent à la Terre le nom de planète bleue. Dans toute cette eau, 97.2% est de l'eau salée et seulement 2.8% est de l'eau douce. (**GRAINI L., 2011**).

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel et doit être protégée, défendue et traitée comme tel (**DEVAUX, 1999 ; ECOSSE, 2001**).

Elle est une ressource vitale pour l'homme, sa survie, sa santé, son alimentation ; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement en dépend étroitement. Elle est très inégalement répartie sur la planète. Tous les pays auront, à court ou à long terme, à faire face au problème de sa raréfaction (**METAHRI, 2012**).

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau (**AZIZ, 2014**).

L'implantation de zones urbaines, accompagnées des zones industrielles et un développement accru de l'activité agricole, a été la cause d'une dégradation de la ressource en eau, tant sur le plan quantitatif que celui de la qualité (**LARBES, 2005**).

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se dégrade dans des bassins d'importance vitale sous l'effet des rejets de déchets urbains, agricole et industriels. L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux du sous bassin de Mafragh situé au Nord Est de l'Algérie dans la région d'El-Tarf. A cet effet nous avons suivi par des analyses physico-chimiques les teneurs en éléments nutritifs notamment l'azote et le phosphore et d'autres paramètres interprétatifs dans les eaux de ce cours d'eau. Les résultats d'analyse ont montré une variation saisonnière de la composition physicochimique des eaux et que les paramètres étudiés permettent de classer ces eaux dans la classe moyenne selon la grille de qualité des eaux de surface internationale, avec un faible risque d'eutrophisation du cours d'eau.

Chapitre 01 :

Présentation de la région

I.1. Introduction

Notre zone d'étude est intégrée dans la wilaya d'El Tarf, qui est située à l'extrême Nord-est à la frontière Algéro-tunisienne. Elle dépendait de la wilaya d'Annaba jusqu'en 1984 par sa promotion au rang de wilaya. Sa superficie est de 3 339 km², partagée entre 07 daïras et 24 communes. Appeler wilaya verte par sa position dans le grand bassin méditerranéen et sa nature riche et généreuse et ses zones humides qui forment un endroit unique en Algérie.

Ce chapitre essaye de résumer les caractéristiques générales du sous bassin versant de Mafragh avec la prise en compte de ses paramètres morphométriques, caractéristiques topographiques et hydrographique et hydrogéologique qui permettent de déterminer le milieu naturel et de comprendre les caractéristiques qui peuvent être les principales causes qui accentuent l'exposition à la pollution des eaux souterraines

L'aboutissement à l'objectif de ce travail, a nécessité l'utilisation des connaissances hydrologiques, topographiques et hydrogéologique ainsi que les outils et des méthodes cartographiques avec les systèmes d'information géographique (SIG) sous Arc Gis et MapInfo.

I.2. Présentation de la région :

I.2.1. Situation Administrative et Géographique du sous bassin versant de Mafragh

Le sous bassin versant de l'Oued Mafragh, fait partie du grand bassin hydrographique Côtiers Constantinois-est, codé d'après l'ANRH sous le numéro (**03-17**), et s'étend entre **7°50** à **8°50** de Longitude Est de **37°** à **36°** de Latitude Nord. (**Figure.I.1**)

Situé dans le littoral Nord de l'Est Algérien, il est limité (**Figure I.1**) :

- Au Nord par la mer Méditerranée ;
- Au Sud par le sous bassin Versant Bounamoussa, code selon ANRH (**03-15**) ;
- Au Nord- est par le Sous Bassin Côtier de la Calle, code selon ANRH (**03-18**) ;
- A Sud-est et le Sous Bassin d'El-Kebir est , code selon ANRH (**03-16**) ;
- A l'Ouest par le bassin de la Seybouse, code selon ANRH (**03-14**).

Le sous bassin de Mafragh intégré globalement dans les communes de Berrihane, Echatt, Ben M'Hidi et Lac des Oiseaux et partiellement les commune Zrizer, Cheffia, Besbes, Chihani, Asfour, El-Kala et Bouteldja comme le montre la (**Figure I.2**) suivante :

Chapitre 01 : Présentation de la région

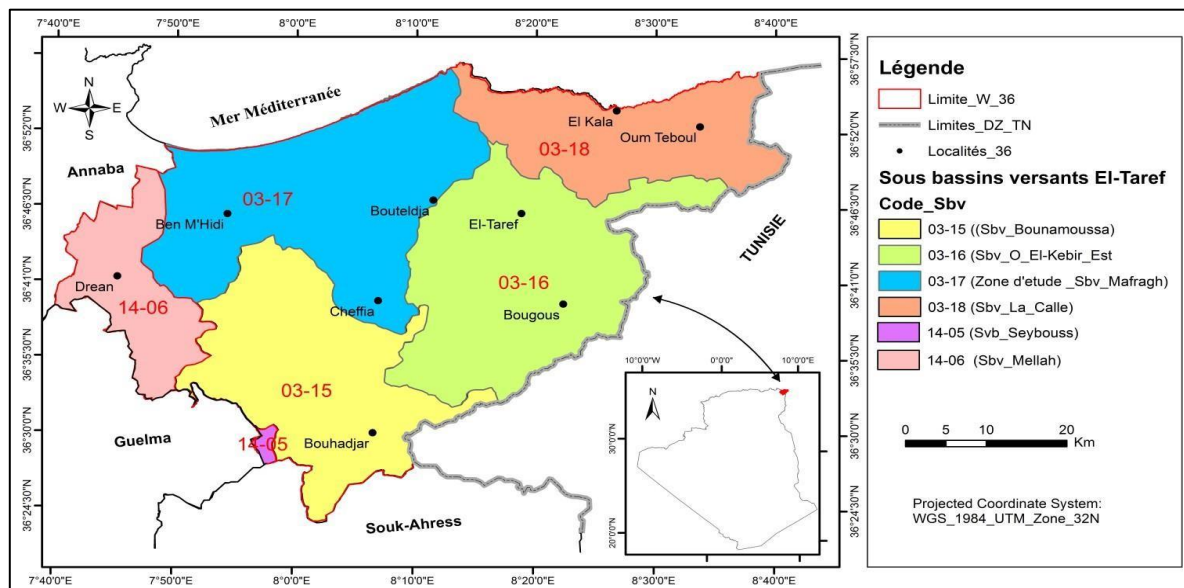


Figure I.1 : Situation du sous bassin versant de Mafragh (0317).

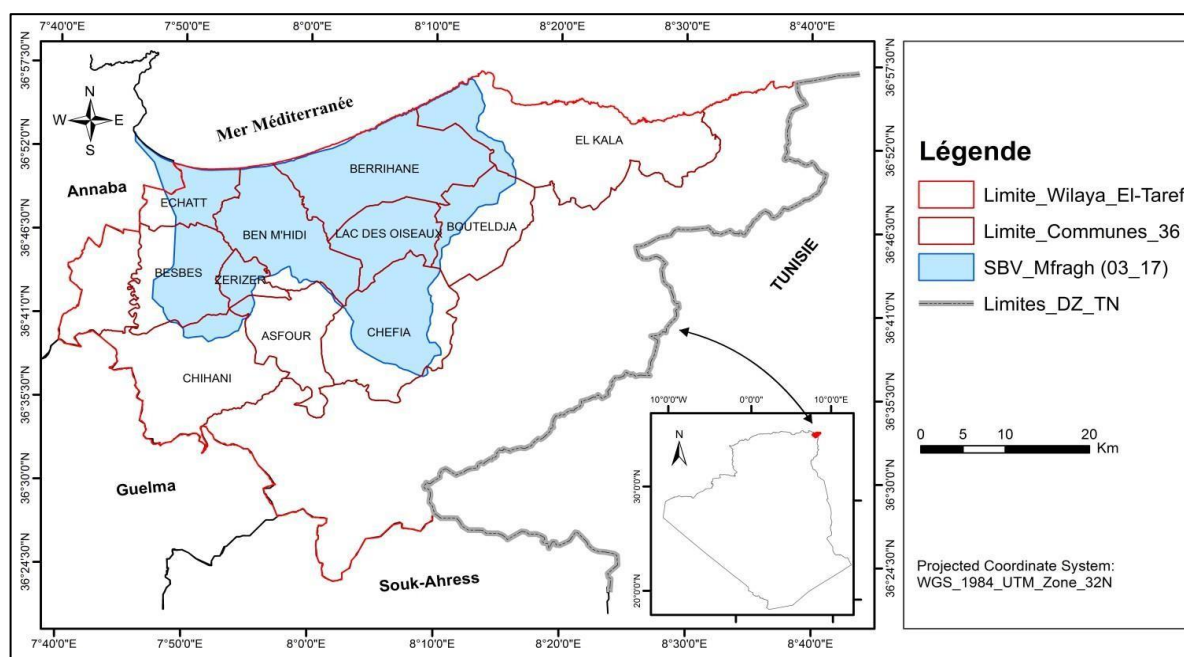


Figure I.2. : Situation administrative du sous bassin versant de Mafragh (0317).

I.3. Etude du milieu physique et naturel du sous bassin versant de Mafragh

C'est une zone caractérisée par :

- **Les zones des plaines** : La plaine alluviale de Bounamoussa : qui occupe la majeure partie de notre zone d'étude .C'est une zone agricole d'une grande importance socio-économique dans la région. Caractérisé par une série de terrasses à faciès hétérogène (sables, graviers, limons et argiles).
- **Les zones des marécages et lacs** : avec les eaux stagnantes, qui jouent un rôle

prépondérant dans l'hydrologie et l'hydrogéologie de la région .Elles forment de nombreux marais et lacs qui sont : Marais de M'Khada et les lacs des oiseux, lac bleu, classés dans la liste Ramsar des zones protégées :

- **Lac des Oiseaux** c'est un lac d'eau douce. L'apport en eau se fait naturellement par les eaux superficielles de ruissellement du bassin versant et par les eaux souterraines, les principales formations géologiques sont représentées par les grés et les argiles de numidien et par les sols de marécages
 - **Les Marais de la M'Khada** : C'est un marais avec des eaux saumâtres en raison du contact de l'embouchure avec la mer méditerranée. Sa profondeur peut aller jusqu'à 01 m.
- **Les Zones dunaires** qui sont sous forme de cordon littoral qui occupe la grande partie centrale nommé massif dunaire et un autre au Nord vers Ouest nommé cordon dunaire.
- **Les zones des collines et de montagnes** : Représentée à l'Est par la colline de Djebel Koursi de (329 m) d'altitude et Dj. Bourdim de (177m) d'altitude. Au Sud par les monts de la Cheffia orientées E.N.E- O.S.O à l'Ouest du Bou Namoussa et N.N.E - S.S.O à l'Est, où les altitudes sont beaucoup plus importantes entre 600 et 700 m.

I.3.1 Principales caractéristiques géomorphologiques du sous bassin de Mafragh :

Dans cette étude, la détermination des caractéristiques du Sous bassin versant de Mafragh nous menée à la création une base de données interactive, traitée en utilisant les fonctionnalités offertes par les systèmes d'information géographique sous MapInfo et ArcGis. Avec laquelle plusieurs formules ont été combinées afin de mieux comprendre et d'analyser les modalités d'écoulements de l'eau de surface qui est le principale vecteur de transport des polluants et la variation du régime hydrologiques en fonction des caractéristiques du milieu.

On indique que tous les résultats de calculs sont mentionnés dans le **Tableau (I.5)** récapitulatif des caractéristiques morphométriques et hydrographiques ainsi que les paramètres de relief, que nous avons obtenus

I.3.1.1. La superficie "A" (Km²) et Périmètre "P" (Km) :

Ces paramètres ont été déterminés grâce à l'utilisation de la base de données du modèle numérique de terrain (MNT) résolution 30, et du planimètre des limites du sous bassin traitées sous forme de vecteurs sous le système d'information géographique ArcGis et MapInfo.

Le résultat obtenu indique que le sous bassin versant est d'une surface de **802,43Km², et d'un**

Chapitre 01 : Présentation de la région

périmètre de **165,88 Km**

I3.1.2. Indice de compacité de Gravelius (Kc) :

L'indice de compacité de Gravelius est établi en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle occupant une superficie équivalente.

Donnée par la formule Ci-dessous, qui exprime la relation entre la superficie et le périmètre du bassin versant indiquant, une forme arrondie lorsque plus au moins $Kc \approx 1$ ou allongé pour un $Kc > 1$. Le calcul s'est fait en utilisant les résultats précédents, de la superficie et du périmètre avec la loi suivante :

$$Kc = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec : **Kc** : indice de compacité de Gravelius,

A : surface du sous bassin versant (km²),

P : périmètre du sous bassin versant (km).

Pour : **Kc = 1.0** le sous bassin versant forme un cercle

Kc = 1.12 pour un carré

Kc = 1.28 pour un triangle équilatéral

Kc = 1.5 pour un rectangle allongé.

Dans notre cas, **Kc** étant égale à **1.64**. Le sous bassin versant est donc de forme allongée.

I3.1.3. Dimension du rectangle Equivalent :

C'est une transformation purement géométrique du bassin versant en un rectangle de dimensions "L" qui représente la Longueur du rectangle équivalent et "l" qui représente la largeur rectangle équivalent.

Déduites des expressions suivantes :

A. Longueur du rectangle équivalent (Km) :

$$L = K_c \frac{\sqrt{A}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right)$$

B. Largeur du rectangle équivalente (Km) :

$$l = K_c \frac{\sqrt{A}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right)$$

On obtient du calcul : $L = 71.08 \text{ Km}$ et $l = 11.28 \text{ .Km}$.

D'après les résultats on remarque que la longueur est supérieure à la largeur, ce qui confirme que le sous bassin versant est de forme allongée.

I.3.1.4. La courbe et carte hypsométrique figure I.3., (figure I.4) :

La courbe hypsométrique est la répartition des surfaces par tranches d'altitude pour caractériser le relief et déterminer les caractéristiques altimétriques du bassin versant. Elle est établie en planimétrant, pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondante (Laborde. J.P, 2000).

Dans notre étude, la courbe et la carte hypsométrique est réalisée en utilisant Excel et le modèle numérique de terrain (MNT) de résolution 30 m, avec un traitement sous ArcGis. Les résultats sont mentionnés dans le **Tableau I.1** suivant :

Tableau I.1 : Répartition des tanches d'altitude en fonction de la surface

Altitude (m)	Surface km2	% S	% S cumulé
0-50	539.06	67.18	100.00
50-100	98.36	12.26	32.82
100-150	48.22	6.01	20.56
150-200	36.10	4.50	14.56
200-250	25.52	3.18	10.06
250-300	19.41	2.42	6.88
300-350	13.96	1.74	4.46
350-400	12.21	1.52	2.72
400-450	6.29	0.78	1.20
450-500	1.73	0.22	0.41
500-550	0.67	0.08	0.20
550-600	0.41	0.05	0.11
600-650	0.34	0.04	0.06

650-700	0.16	0.02	0.02
---------	------	------	------

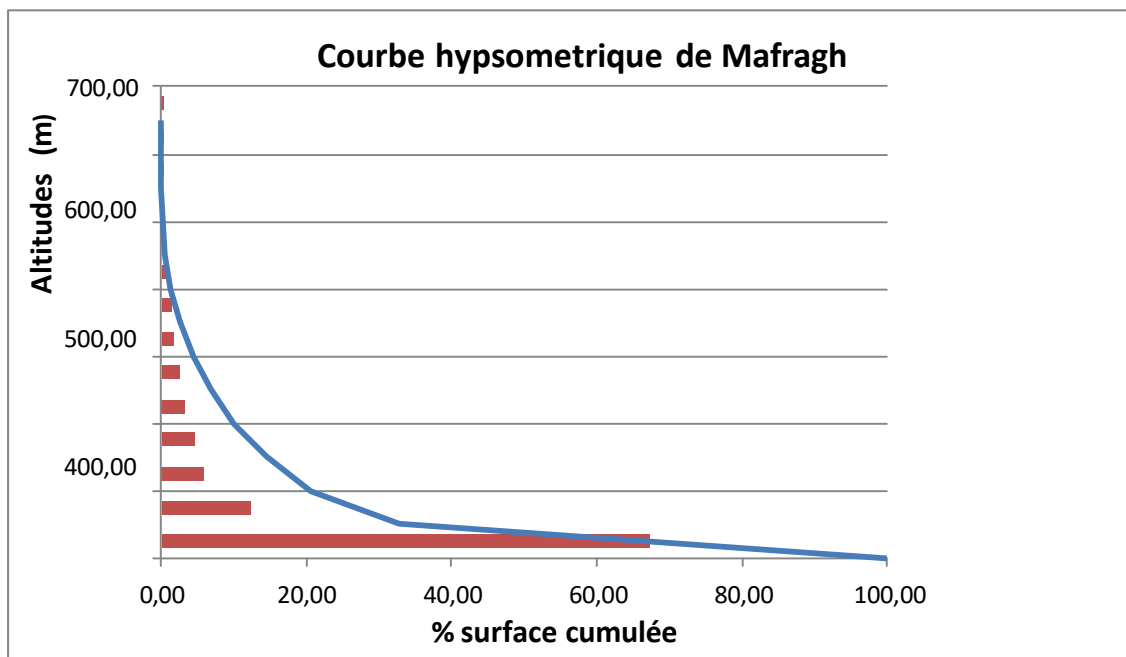


Figure I.3 : Courbe Hypsométrique et altimétrique du sous bassin de Mafragh.

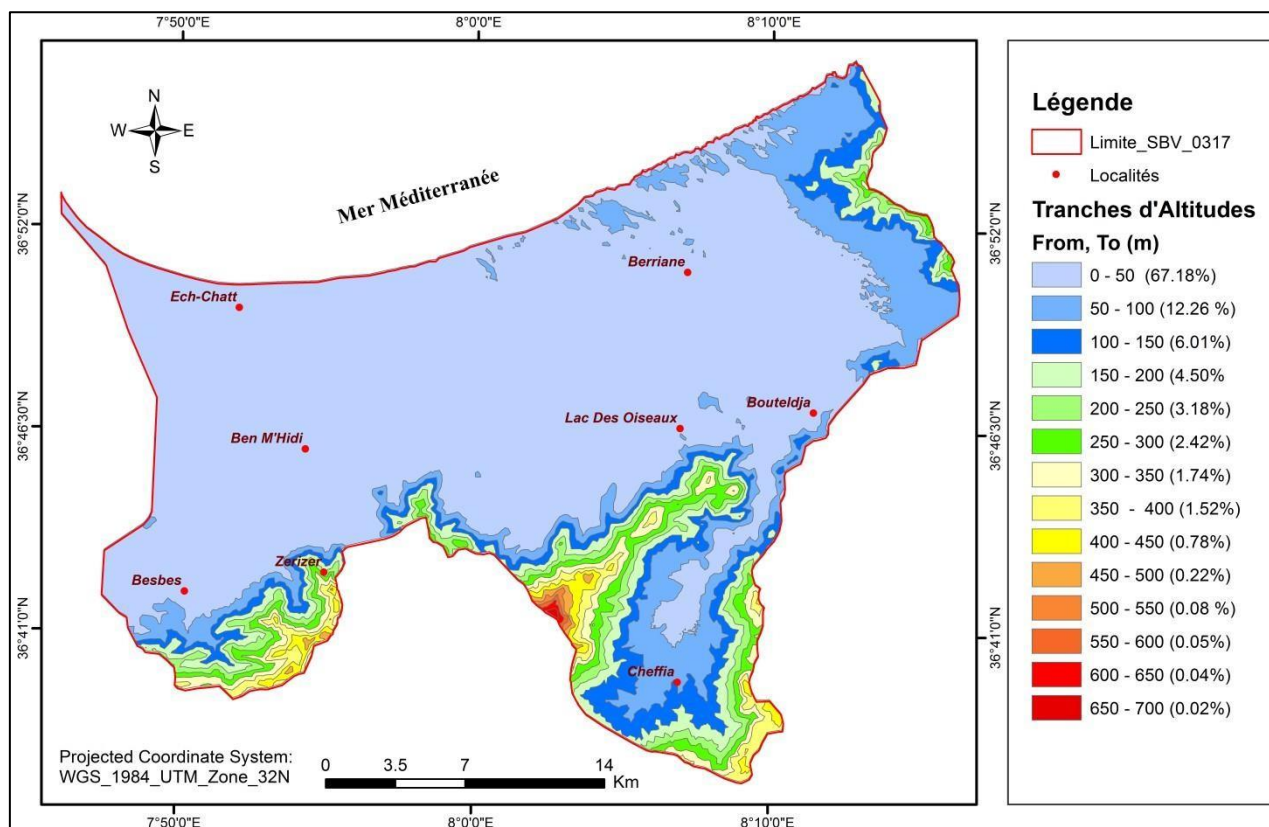


Figure I.4 : Carte hypsométrique du sous bassin versant de Mafragh

Chapitre 01 : Présentation de la région

D'après cette carte nous remarquons que les zones d'importantes altitudes sont situées à l'Est avec Djebel Koursi et au Sud des régions de la Cheffia, Zrizer et Besbes mais sa zone Nord à proximité de la mer est pratiquement simple et plate

I.3.1.5. Les altitudes caractéristiques :

Les altitudes caractéristiques sont déduites avec l'utilisation de la courbe hypsométrique et les résultats sont mentionnés dans le tableau ci-dessous

Tableau I.2 : Les altitudes caractéristiques du bassin versant de Mafragh

Altitudes caractéristiques	Altitude (m)
Altitudes de fréquence H95%	10,00
Altitude médiane de fréquence H50%	40,00
Altitude de fréquence H5%	300,00
Altitude moyenne (Hmoy)	72,03
Altitude maximale Hmax	700,00
Altitude minimale Hmin	0,00

I.3.2. Etude des pentes :

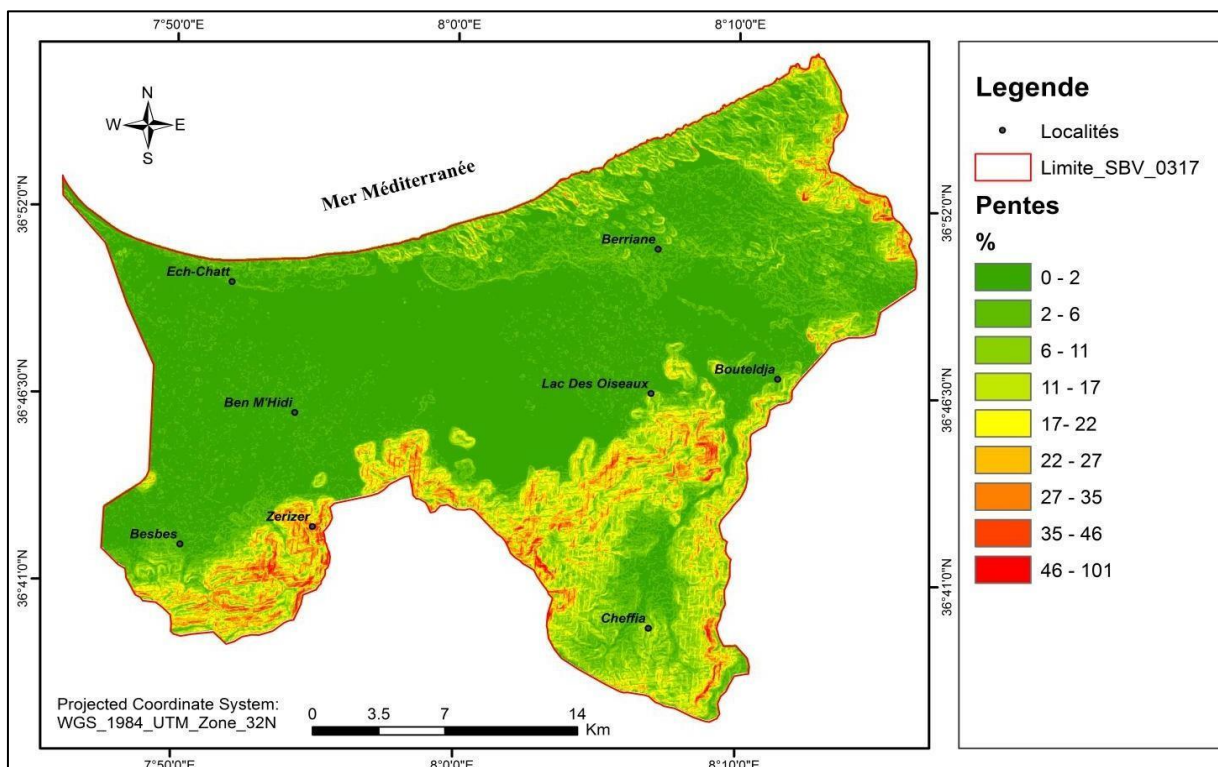


Figure I.5 : Carte des pentes du bassin versant de Mafragh

Chapitre 01 : Présentation de la région

I3.2.1. Indice de pente globale 'Ig' (m/Km) :

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. Il est exprimé par la formule suivante

$$I_g = \frac{|(5\%) - H(95\%)|}{L}$$

Avec : **D** : H (5%) et H (95%) (m), (voir altitude caractéristiques)

L : est la longueur du rectangle équivalent Km.

D'où : **Ig = 4.11 m/Km =**

I3.2.2. Dénivelé spécifique Ds (m) :

Les dénivelées spécifiques **Ds** dérivent de la pente globale **Ig** en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à \sqrt{S} :

Déterminer en utilisant la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S} - \frac{D}{L} \sqrt{Ll} - D \sqrt{\frac{l}{L}}$$

D'où **Ds = 115,57 m**

Tableau.I.3 : Classification du relief selon Ig, Ds par l'ORSTOM.

Première classification	Type de relief	Deuxième Classification
Ig < 0.002	Relief très faible (R1)	Ds <10m
0.002 < Ig ≤ 0.005	Relief faible (R2)	10m < Ds < 25m
0.005 < Ig ≤ 0.01	Relief assez faible (R3)	25m < Ds < 50m
0.01 < Ig ≤ 0.02	Relief Modéré (R4)	50m < Ds < 100m
0.02 < Ig ≤ 0.05	Relief assez Fort (R5)	100m < Ds < 250m
0.05 < Ig ≤ 0.1	Relief fort (R6)	250m < Ds < 500m
0.1 < Ig	Relief très fort (R7)	500m < Ds

La comparaison des résultats avec le tableau l'ORSTOM permet de définir que pour le sous bassin de Mafragh avec l'indice de pente globale et la dénivelée spécifique, le relief est assez fort dans les régions Est et Sud, par contre la carte des pentes et la carte hypsométrique (**Figure I.4, Figure I.5**) indiquent que la zone central est presque plate est de faible pente.

I.4. Caractéristiques hydrographique du sous bassin versant de Mafragh :

Le chevelu hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux et des cours d'eau qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire. Le réseau hydrographique se caractérise essentiellement par son hiérarchisation de son développement (nombre et longueurs des cours d'eau). L'étude du réseau hydrographique et sa classification ont été obtenue grâce à la base de données du modèle numérique de terrain (MNT, 30 m de résolution) traité sous le système d'information géographique, ArcGis et ses outils ArcToolbox et ArcHydro. Puis une comparaison avec une carte topographique de la zone d'étude pour confirmer d'étude numérique. Le sous bassin versant de Mafragh est drainé par deux oueds principaux, Oued El-Kebir Est avec ses affluents oued Boulatane et Oued Chourka et ainsi l'Oued Bounamoussa qui est situé à l'Ouest et son affluent Oued Bou Atallah. (**Figure I.6**). Les deux Oued se rejoignent au Nord pour former l'Oued Mafragh qui se dirige dans la mer méditerranéenne. Ajoutant à son réseau hydrographique des zones humides très connues, classées dans la liste Ramsar des zones protégées, citons, le marais de M'Khada et le lac des oiseaux.

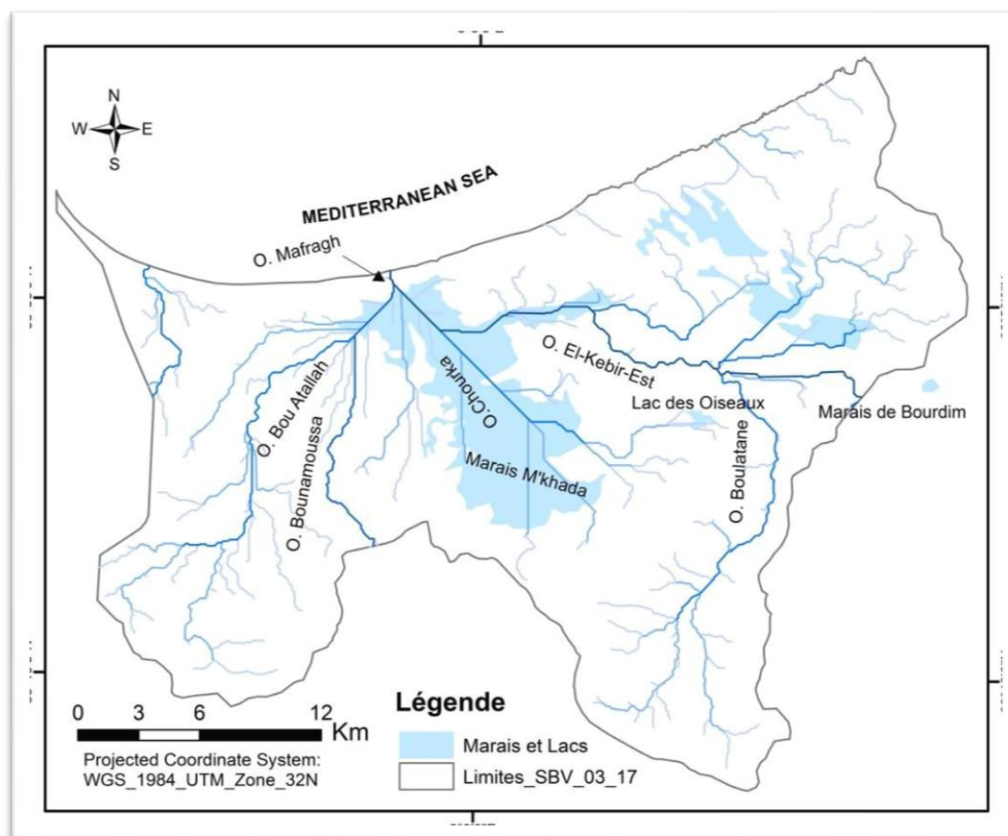


Figure I.6 : Carte des caractéristiques hydrographiques de sous bassin versant de Mafragh.

I.4.1. Hiérarchisation du réseau hydrographique :

Nous avons utilisé la classification de Strahler qui est une opération qui consiste à donner à chaque cours d'eau un numéro en fonction de son importance. Cette numérotation est appelé Ordre du chenal.

Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'Ordre 1. Au confluent de deux cours d'eau de même Ordre n , le cours d'eau résultant est d'Ordre $n+1$. Un cours d'eau recevant un affluent d'Ordre inférieur garde son Ordre, ce qui se résume par : $n+n = n+1$ et $n+m = \max(n, m)$.

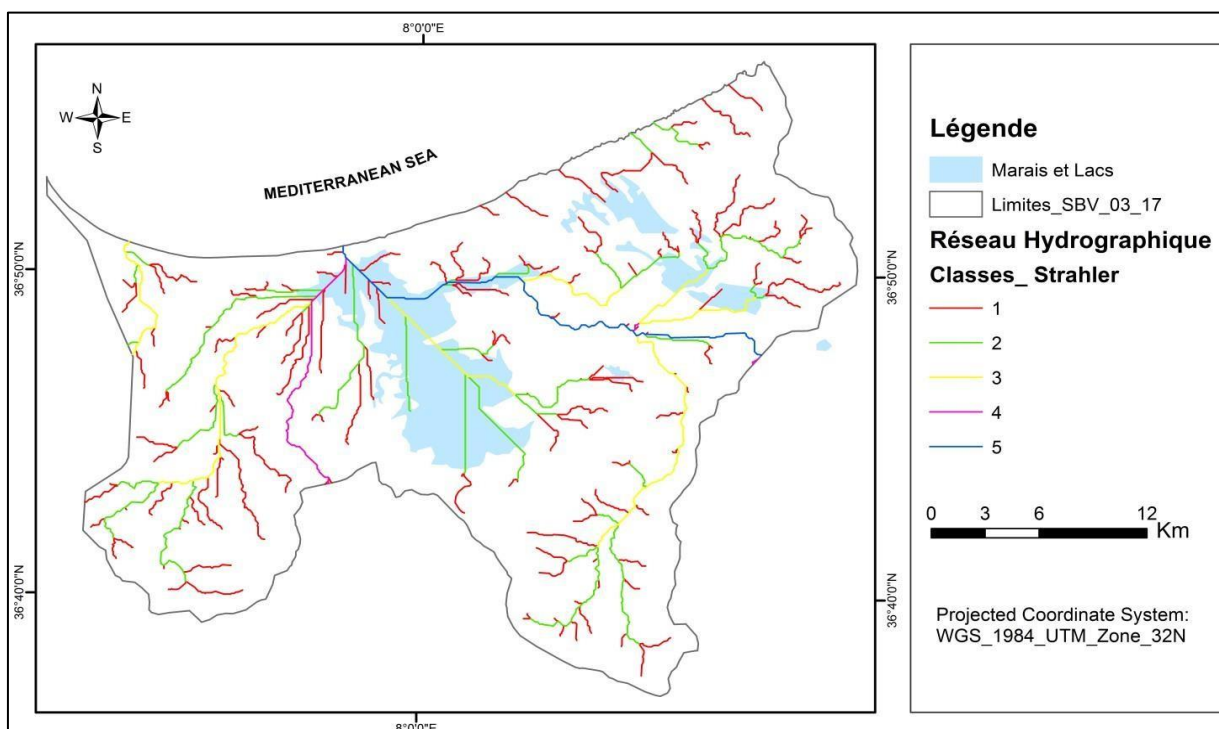


Figure I.7 : Carte de classification du réseau hydrographique de sous bassin versant de Mafragh

Tableau I.4 : paramètres de classification du réseau hydrographique du sous bassin versant de Mafragh

Ordre	Nombre Ni	Longueur Li (km)	Longueur moy li=Li/Ni (km)
1	98	228,16	2,33
2	28	73,32	2,62
3	7	41,27	6,88
4	1	49,97	24,98
5	1	70,78	70,78

Comme le **Tableau I.4** le montre, le réseau hydrographique du sous bassin versant de Mafragh (**Figure I.7**) est bien développé.

Les thalwegs d'Ordre 1 sont relativement importants. La fréquence des thalwegs est

exprimée par la relation suivante :

$$F1 = \frac{N1}{A} = \frac{98}{802.43} = 0.12$$

I.4.2. La densité de drainage :

Elle est se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant :

Le calcule donne : **Dd = 0.58 Km/Km²**

$$Dd = \frac{\sum Li}{A} \text{ (Km/km}^2\text{)}$$

En plus de l'extension des zones de dunes qui forment un verrou naturel, qui réduit les écoulements généraux des eaux superficielles, l'existence des marais de M'khada et le lac des oiseaux qui forment un delta commun des oueds Bounamoussa et du Kebir-Est, et qui constituent les zones inondées temporairement ou en permanence durant la saison pluvieuse, Occupent la vaste plaine de basse altitude avec une faible dénivellation par rapport au niveau de la mer est une des causes principales du mauvais drainage des eaux de surface.

I.5. Pédologie de la zone d'étude :

D'après l'ANHR d'Alger les études pédologiques font ressortir trois types de sols dans la zone d'étude : les sols peu évolués d'apport alluvial, Vértisols et les sols halomorphes

I.5.1. Les sols peu évolués d'apport alluvial : Les sols se répartissent particulièrement dans les chenaux d'oueds alluvionnés, les épandages de débordement sur la terrasse récente des oueds principaux.

Ils sont de texture fine à moyenne et à grossière avec une grande hétérogénéité dans le profil, la structure est généralement lamellaire sur les premiers centimètres, polyédrique subangulaire en profondeur, limités par une croûte calcaire pauvre en matières organiques sur roche mère dure (calcaire grès) ou tendre (marnes). La profondeur est peu importante (< 20 cm) avec une proportion élevée d'éléments grossiers, une forte charge caillouteuse et un faible taux de matières organiques.

I.5.2. Sols halomorphes : Ce sont des sols formés sur alluvions deltaïques. Ils sont argileux et ils présentent aussi des caractéristiques hydromorphes. Ils sont marqués par de fortes teneurs en sels solubles qui précipitent en surface en saison sèche. Occupent principalement les zones des marécages et des lacs.

I.5.3. Les Vértisols : Sols caractérisés par une couleur brun foncé, une forte teneur en argile

(40 à 45 %) et un pH neutre (7 à 7,5), la présence d'argiles gonflantes (smectinites) lui confèrent une capacité d'absorption et de rétention en eau élevée avec une réserve utile de 180 mm pour une épaisseur de sol de 80 cm. Le calcium est un élément important du complexe absorbant.

Les deux principales caractéristiques des Vértisols sont ; la déformabilité liées au niveau d'hydratation et la très faible conductivité hydraulique.

I.6. Occupation du sol :

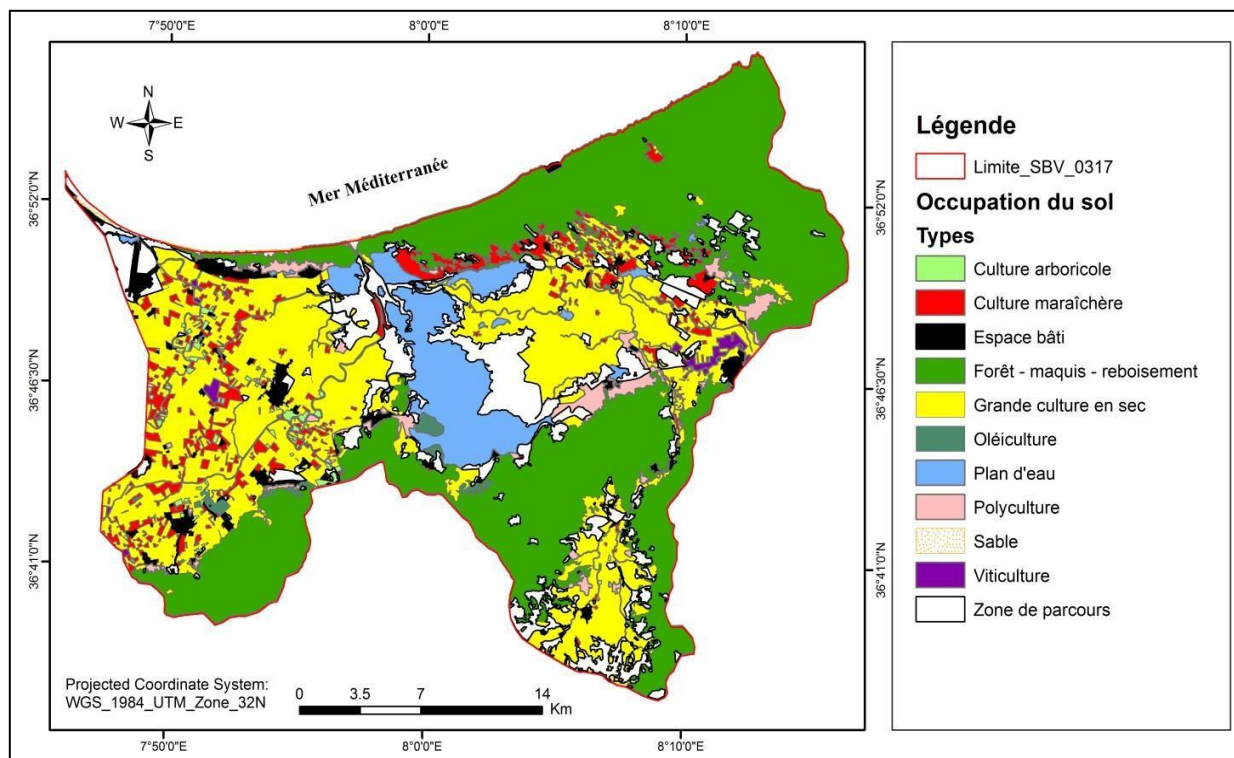


Figure I.8 : Carte d'occupation du sol (réalisée sur la base de la carte d'occupation du sol de la wilaya d'El-Taref effectuée en 2011 par le BNEDER).

L'occupation du sol de la zone d'étude est majoritairement représentée par les zones des forêts-maquis-reboisement et ainsi que les grandes cultures en sec qui concernent les céréales (blé dur, blé tendre, orge, cultures fourragères sous toutes ses formes) les cultures industrielles (Tomates) et les légumes secs. Puis successivement en fonction de l'ordre d'importance, les zones de parcours, les étendues d'eau, les cultures maraîchères qui regroupent les cultures légumières de pleins champs ou sous serre. par la suite d'autres classes d'occupation suivent comme l'arboriculture, viticulture (vignes), polyculture (différentes cultures sur petites parcelles), oléicultures (oliviers), notons que l'espace occupé par les habitations et les infrastructures représente environ 1.69 % du totale. Ce qui indique que notre

zone d'étude, d'après le rapport du BNEDER 2011, est à vocation agricole de type Sylvo-agricole.

I.7 Caractéristiques hydrographique du sous bassin versant de Mafragh :

Pour aboutir à l'objectif de notre mémoire, une étude hydrogéologique est nécessaire, afin de comprendre le rôle principal des formations hydrogéologiques du massif dunaire de Bouteldja et leurs susceptibilités à être atteintes par des pollutions de nature diverse, que ce soit naturel ou anthropique.

C'est dans cette optique qu'une description détaillée qui aborde ; la représentation géologique du réservoir aquifère et de sa nappe d'eau, sa géométrie, sa localisation, sa structure, ses caractéristiques hydrodynamique (la Transmissivité, coefficient d'emmagasinement, la perméabilité, ...etc.) et déterminer ainsi les conditions au limites et les zones de réalimentation qui peuvent être des zones d'affluence des polluants de surface vers la nappe.

A cet effet, l'étude est basée sur les travaux majeurs réalisée dans la région par les chercheurs universitaire tel que : **Toubal .A.C, (1983, 1998), Khereci .N (1985), Nouacer. R, (1993), Gaud. B, (1975), Ramdani .A, (1996), Hani. A, (2003, 2011)...etc.** Aussi d'autres travaux réalisés par l'ANRH d'Alger que nous retrouvons dans les archives de la bibliothèque du département hydrogéologie.

1.7.1. Localisation de l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja : (Figure IV.1)

L'aquifère du massif dunaire se localise dans la partie orientale de l'Algérie, à l'extrême Est de la plaine alluviale d'Annaba. Elle se situe dans le territoire de la wilaya d'El Tarf, répartie sur les communes de Bouteldja et Berrihane. Elle fait partie du sous bassin versant de la Mafragh (0317).

D'une superficie d'environ 180 Km², ceinturé par une zone montagneuse typique du tell algérien et il est aussi limité par

- Au Nord par la mer Méditerranéenne.
- Au Sud par la plaine de Bouteldja.
- A l'ouest par l'Oued la Mafragh
- A l'Est par le massif du Cap Rosa et Djebel Koursi.

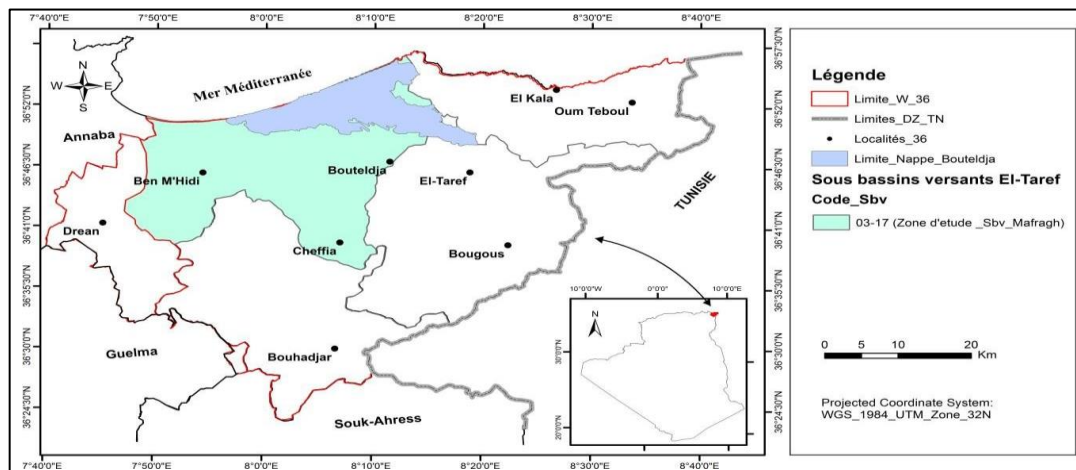


Figure I.9 : Localisation de l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja.

1.7.2 Description hydrogéologiques de l'aquifère du massif dunaire

1.7.2.1. Géométrie de l'aquifère :

Les travaux de Toubal A.C., (1983, 1998), Khereci N., (1985), Ramdani A., (1996) et de Hani A., (2003), (Figure.IV.2), décrivent que la nappe du massif dunaire est contenue dans:

- Au Nord-Est, dans les sables éoliens épais de 20 m à l'Est et de 120 m à l'Ouest
- La partie orientale du massif est caractérisée par une augmentation progressive des épaisseurs, suivant une première direction Est-Ouest de l'Oued Bourdim (20 m) à l'Oued Bougles (75 m), puis une seconde direction NE-SW du Djebel Koursi (70 m) vers Necha Righia (150 m).
- La zone centrale englobant la Garaat El-Khoubzi et Goureat présente une épaisseur relativement constante, évaluée à quelques 150 m. dans toute la partie orientale du massif, la carte montre des épaissements très importants des alluvions notamment à l'aplomb des thalwegs reconnus par la prospection géophysique

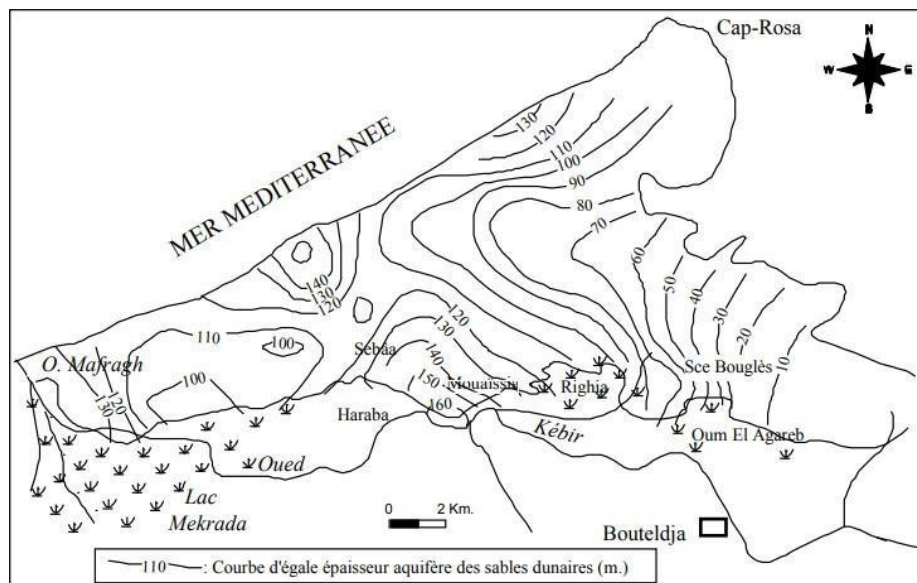


Figure.I.10: carte des isopaches des sables dunaires **Hani. A, (2003 ; 2011).**

1.7.3 Nature des formations hydrogéologiques :

1.7.3.1 Nature lithologique du réservoir du massif dunaire

Pour mettre en évidence la nature lithologiques des formations de l'aquifère libre du massif dunaire, plusieurs coupes hydrogéologiques ont été établies à partir des corrélations entre les coupes des forages et avec l'utilisation de la géophysique et nous avons exploitée quelques unes : (**Gaud. B , 1975**) explique dans ces travaux hydrogéologiques sur l'aquifère du massif dunaire Bouteldja (**Figure IV.3, Coupe E, F**) qu'il est formé essentiellement par des sables qui peuvent atteindre des épaisseurs de 120 m environs et avec quelques intercalation et passages de lentilles argilo-sableuses, issues d'après le même auteur , du massif argilo-gréseux du numidien. (**Gaud.B, 1975**) ajoute que, la nappe est libre dans la partie Nord, devient localement captive sous les formations argileuses (au niveau du forage A7).

Les coupes corrélatives (**Figure IV.5**) réalisée par (**Nouacer. R, 1993**) montrent que massif dunaire est constituée par :

- Des sables rencontrée dans les coupes A (120 m d'épaisseur) et coupe B (80 m d'épaisseur)
- Des sables mais aussi des graviers d'origine fluviatile à l'Ouest de la coupe D (variation de l'épaisseur de l'Est vers l'Ouest), avec une surélévation à l'est de (+ 25 m au-dessus du niveau de la mer), et un approfondissement (surcreusement) au voisinage des forages B4 et B5 (moins de 200 m).

Chapitre 01 : Présentation de la région

- Des sables qui sont localement argileux (l'épaisseur augmente de l'Est vers l'Ouest) avec difficulté de représenter la proportion d'argile.

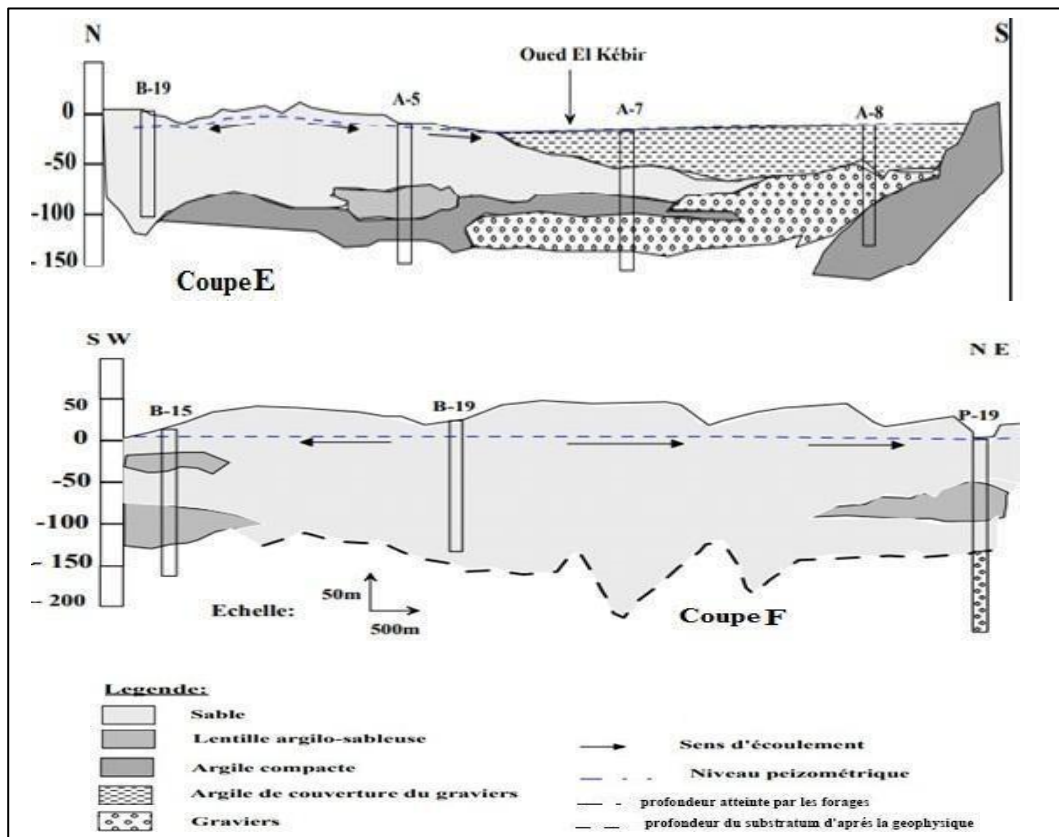


Figure.I.11: Coupe hydrogéologique dans l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja d'après (GAUD .B, 1975)

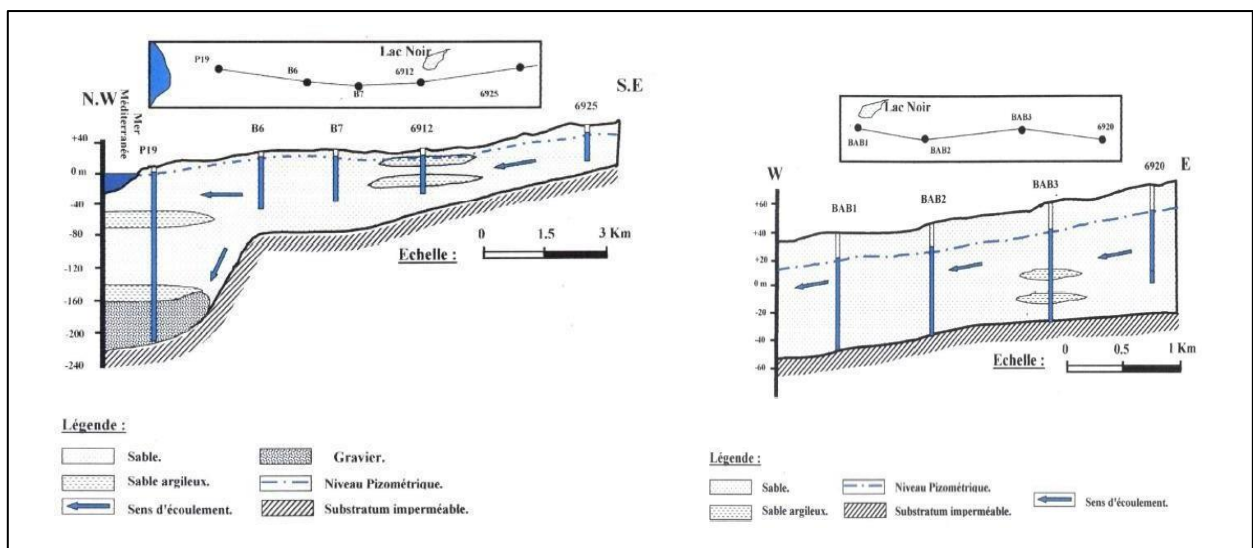


Figure.I.12. Coupes hydrogéologiques schématisées dans l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja (Haid.N ,2008)

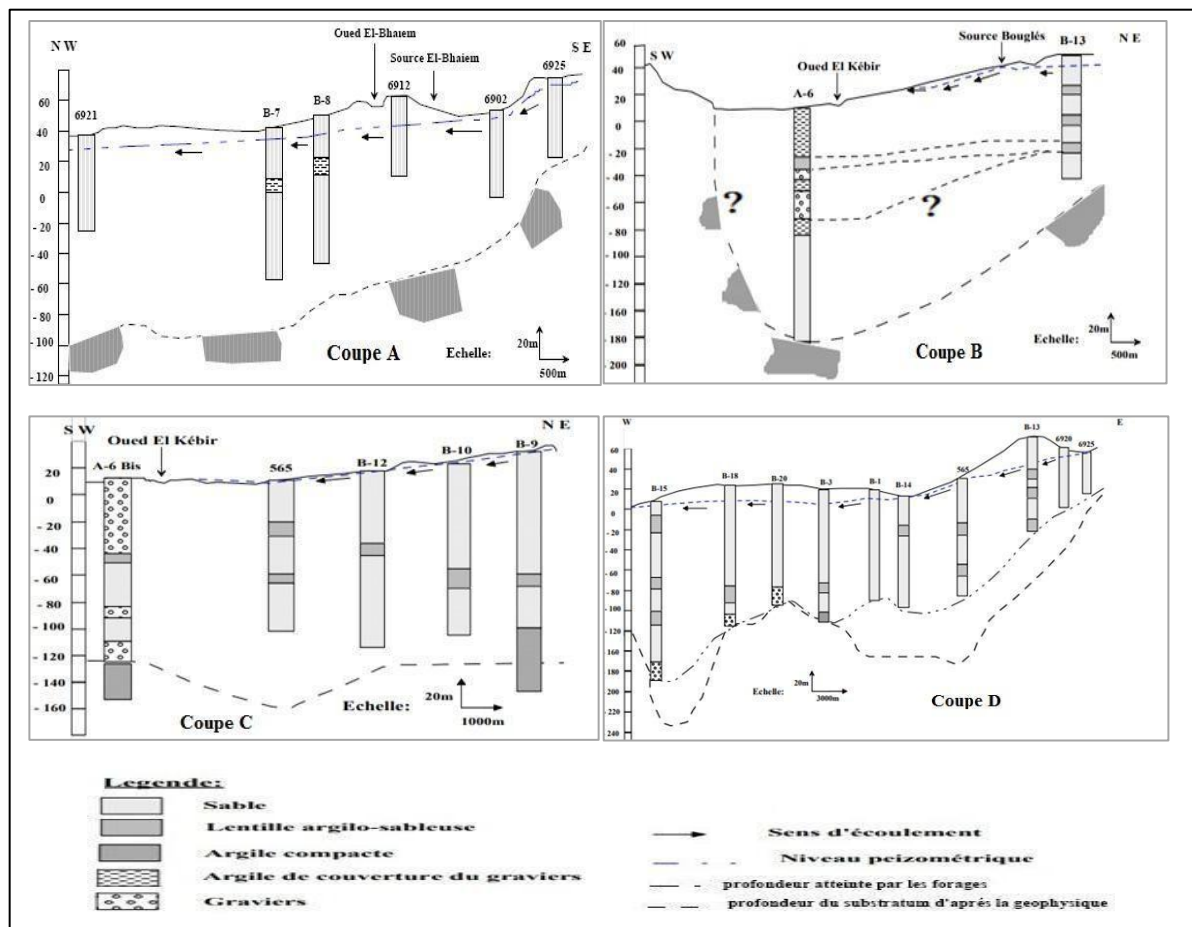


Figure I.13 : Coupe schématique hydrogéologique corrélatives d'après les coupes des forages et la géophysique D'après (Nouacer. R. 1993).

1.7.3.2 Nature lithologique du substratum de l'aquifère :

Les coupes réalisées (Figures IV.3) par (Gaud.B, 1975) montrent que les sables du massif dunaire en partie se superposent sur des graviers qui forment un important aquifères profond dans la région et en d'autres zones, il se repose sur des formations argilo-gréseuses imperméable à semi-perméable formant son substratum assurant son étanchéité. Ce dernier (le substratum) d'après les coupes réalisées par (Heaid. N ; 2008) dans la localité de Bordj Ali Bey (Figures IV.4), il est constitué de sables fins beiges argileux au niveau des deux premiers forages et des marnes grises compactes imperméables au niveau du troisième forage.

Selon (fella. R, 1998) il s'avère qu'il y a un contact entre les sables dunaires et les graviers par passage latéral de faciès qui induit des variations des caractères hydrochimiques, car la nappe du massif dunaire se décharge dans la nappe des graviers. Cette dernière repose sur une couche argileuse du substratum.

Chapitre 01 : Présentation de la région

1.7.4 Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe aquifère de Bouteldja :

1.7.4.1. La piézométrie :

Les données piézométriques fournies par l'ANRH sont incomplètes et éparées et ne couvrent pas la totalité de la zone d'étude et ne permettent pas une analyse adéquate de l'écoulement souterrains, et à cet effet que nous avons eu recours à la carte du niveau de 1982 réalisé par **(Kherici.N, 1985)** qui est représentative et fiable.

Cette carte piézométrique de 1982 montre que les écoulements souterrains sont :

- Au nord-Ouest, se dirige vers la mer méditerranée et vers les terrasses de Bouteldja.
- Au sud vers les terrasses de l'Oued Kebir-Est
- Au sud-Est, un flux entrant est mis en évidence par des reliefs grès-argileux Numidien de Djebel Koursi.

L'allure des courbes piézométriques est caractérisée par plusieurs axes de drainages liés aux pompages excessifs. Ainsi le gradient hydraulique est d'autant plus fort que les courbes sont plus serrées, c'est notamment le cas de la partie Sud, Sud-Est correspondant aux sous bassins de Bouglés et B'haim. Ce resserrement est dû essentiellement à surexploitation **(Kherici.N, 1985)**. Par contre, au Centre, au Nord et au Nord-Ouest, les courbes iso-pièzes sont espacées traduisant un faible gradient et une bonne perméabilité.

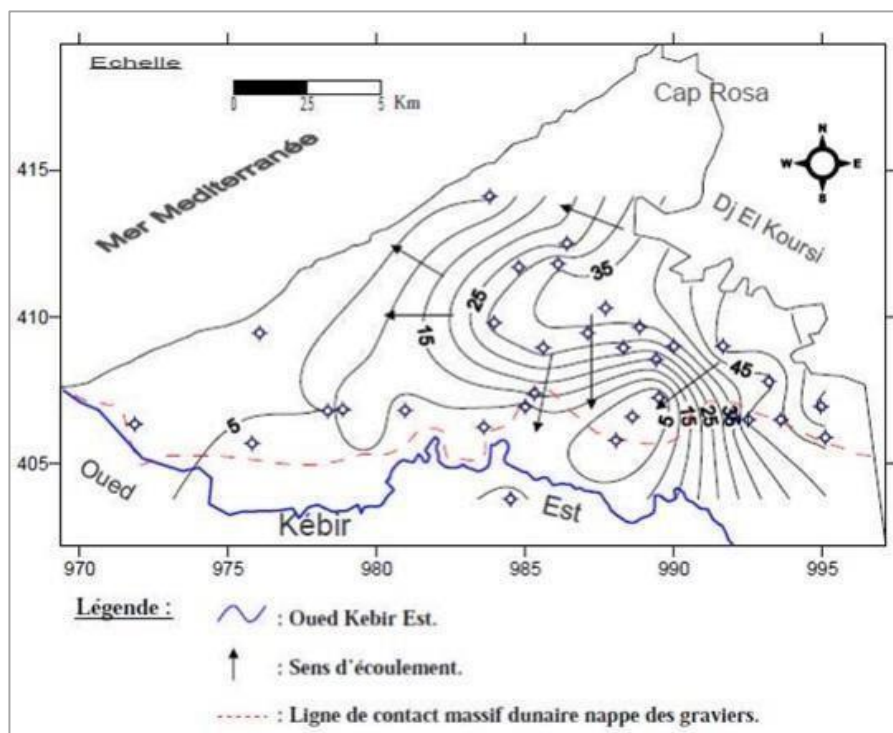


Figure.I.14. Carte piézométrique de la nappe du massif dunaire de Bouteldja en 1982

(Kherici N. 1985).

1.7.4.2. La Transmissivité :

L'analyse de la répartition des Transmissivité mentionnées dans le (Tableau de l'Annexe) montre une variabilité liée à la variation de l'épaisseur du sable, et de la perméabilité des formations alluviales traversées par le lit de l'oued principal qui constitue la zone franche avec les dunes, et on distingue :

- La zone à valeurs de transmissivités maximales, enregistrée au Nord de la source de Bouglès qui peuvent atteindre à $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$ au niveau du forage B1.
- La zone à valeurs de transmissivité minimales (inférieures à $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$), se situe à l'Ouest de la ligne formée par les forages B17, 6907 et 6921.
- la transmissivité croit en allant de l'Ouest vers l'Est dans la partie centrale du massif et du Sud vers le Nord au voisinage des sources espagnole et italienne.

1.7.4.3 Perméabilité :

La répartition des perméabilités (Tableau en annexe) se distribuent de la manière suivante :

- Les plus fortes valeurs, perméabilités supérieures à $1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, se situent au Sud -Est de la région, entre la source de Bourdim et le lac noir. Ces fortes valeurs de perméabilités sont dues vraisemblablement aux lessivages des sables par les échanges permanents entre les surfaces d'eau libre et la nappe.
- Les régions les moins perméables (perméabilités inférieures à $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$) sont situées :
 - Dans la partie Ouest du terrain d'étude ;
 - Dans la partie centrale du cordon dunaire suivant une zone s'étend d'El Haraba au Sud jusqu'à la mer au Nord.

Ces valeurs sont fortement influencées par les fortes proportions d'argile dans l'aquifère.

1.7.4.4 Coefficient d'emmagasinement :

Les coefficients d'emmagasinement maximaux et minimaux sont respectivement 0.2 et 24%. En moyenne ils seraient de 13% (**Gaud .B, 1975, Kherici .N, 1986**).

Les valeurs se situent entre 24% au niveau du B10 et 1.4% au forage B6. Localement, la nappe peut être sous pression sous les formations argileuses et les valeurs du coefficient

d'emménagement pourraient être plus faibles (Saadelli .B, 2007)

1.7.5 Les zone d'alimentation La nappe des sables dunaires de Bouteldja :

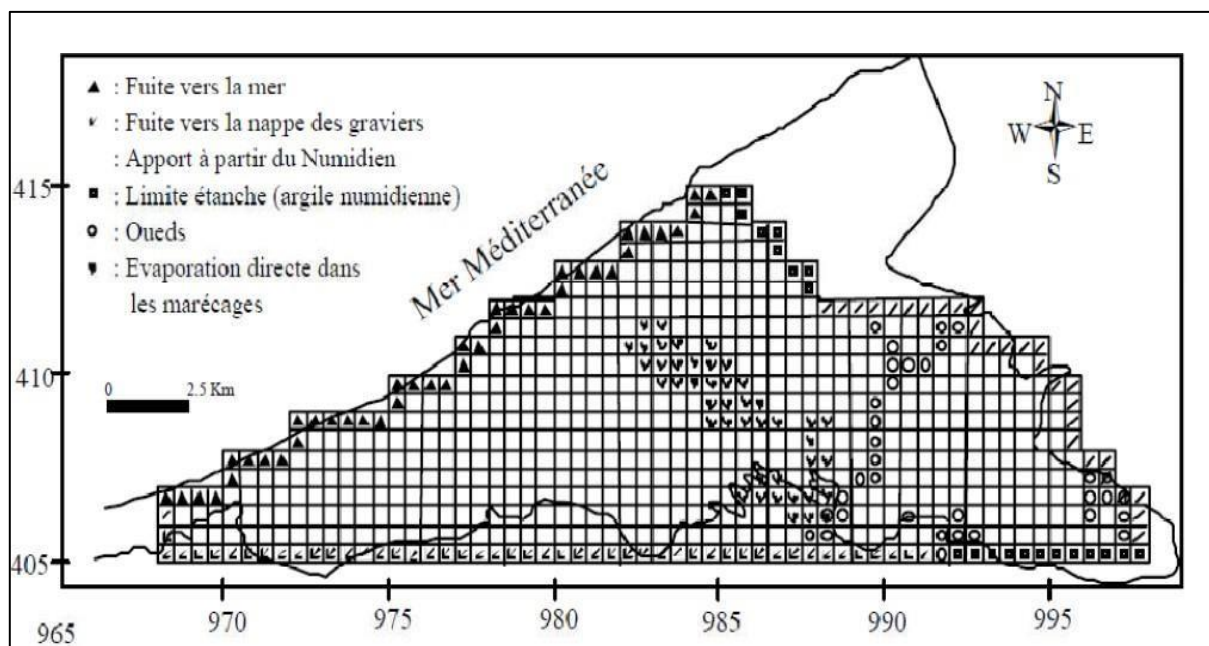


Figure I.15 : Schéma des conditions aux limites de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja, (Gaud.B, 1975) et (Hani.A, 2003).

Comprendre les zones d'alimentation revient à comprendre les zones qui sont susceptibles d'être atteinte par les pollutions qui sont transportés de la surface vers la nappe d'eau.

Les études de (Gaud.B , 1975) et de (Hani .A,2003) (Figure IV.7) combiner avec les études des cartes piézométriques réalisées par (Kherici.N, 1983) et (Ramdani .A, 1996) et les autres études hydrogéologiques et géophysiques par (Toubal. A.C, 1983, 1998) ont permet de déceler les conditions aux limites de la nappe aquifère du massif dunaire de Bouteldja, elles sont comme suit :

- Au Nord par la mer méditerranée d'où la relation souterraine perméable
- Au Sud par une limite perméable avec les terrasses de l'oued El-kébir est et avec la nappe profonde des graviers dans lesquelles elle se décharge ;
- A l'Est une limite perméable au niveau des grés numidien et une limite imperméable dans la zone argileuse.
- A l'Ouest une limite perméable avec les marécages.

Le massif dunaire est aussi essentiellement alimenté par les précipitations et par les reliefs bordant les sables à l'Est (Djebel Koursi).

Chapitre 01 : Présentation de la région

I.8 Conclusion :

Notre zone d'étude est le sous bassin versant de Mafragh codé d'après l'ANRH (0317) appartient à la grande zone hydrographique constantinois Est, est située dans la wilaya d'El-Taref à l'extrême Nord-Est, à la frontière Algéro-tunisienne.

L'estimation des caractéristiques topographiques géomorphologiques et hydrographiques montrent un sous bassin versant de forme allongé, d'une pente globale de $4,11 \text{ m/km}^2$, d'un relief assez fort dans les zones de l'Est et Sud. Les zones centrales sont plates est faibles ce qui génèrent un temps de concentration beaucoup plus long des eaux et qui permet donc l'infiltration des polluants vers la nappe d'eau souterraine. Les altitudes vont de 0 à 700 m du Nord vers le Sud avec une moyenne de 72,03 m.

Le réseau hydrographique est dense, il est marqué par trois principaux Oued nommés, l'Oued El Kebir Est et Oued Bounamoussa qui se rejoignent pour former l'Oued Mafragh.

En ce qui concerne l'étude pédologique, elle fait ressortir trois types de sols : les sols peu évolués d'apport alluvial, Vertisols et les sols halomorphes, ces sols sont occupés majoritairement par forêt-maquis-reboisement et les grandes cultures en sec, il est caractérisé par une typologie de Sylvo-agricole.

Tableau I.5 : Récapitulatif des Caractéristiques du sous bassin versant du Mafragh.

Paramètres		Valeur	Unités
Superficie,	A	802,43	Km^2
Périmètre,	P	165,88	Km
Indice de Compacité,	Kc	1,64	/
Langueur du rectangle équivalent,	L	71,08	Km
Largeur du rectangle équivalent,	l	11,28	Km
Altitude 95% de la surface,	H_{95%}	10.	m
Altitude 50% de surface,	H_{50%}	40	m
Altitude 5% de surface,	H_{5%}	300	m
Altitude Moyenne,	H_{moy}	72,03	m
Altitude maximale,	H_{max}	700	m
Altitude minimale,	H_{min}	0	m
Indice de pente globale,	I_g	4,11	m/Km
Dénivelé spécifique,	D_s	115,57	m
La fréquence de thalwegs,	F	0,12	/
Densité de drainage,	D_d	0,58	Km/Km^2

L'étude hydrogéologique dans le sous bassin de Mafragh a mis en évidence l'existence d'un important réservoir d'eau souterraine nommé aquifère du massif dunaire de Bouteldja. Il est contenu dans les sables éoliens, généralement hétérométriques contenant une forte proportion de sable moyen à fin ; ces sables sont localement argileux ce qui conduit à une

Chapitre 01 : Présentation de la région

grande dispersion des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, et provoque des déformations au niveau du régime d'écoulement souterraine et complique les relations hydrauliques entre Oued-Nappe.

Les coupes hydrogéologiques confirment le passage latéral de la nappe libre à la nappe des graviers et le passage d'une nappe libre vers une nappe captive localement. Un phénomène d'artesianisme marque les forages **B11 et B5**, crée d'une part, par différenciation locale argilo-gréseuse des dunes et d'autre part, par le brusque changement latérale de facies.

Les caractéristiques hydrodynamiques montrent que la transmissivité varie entre $3,5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, tandis que la perméabilité varie entre 1.10^{-5} m/s et 1.10^{-4} m/s les forte valeurs sont expliquées par le lessivage des sables par les échanges permanents entre les surfaces d'eau libre et la nappe, enfin en ce qui concerne les coefficients d'emmagasinement maximaux et minimaux sont respectivement 0.2 et 24%.

Chapitre 02 :
Revue bibliographique sur la
qualité des eaux de surface

Chapitre 2 : Revue bibliographique sur la qualité des eaux de surface

1. L'eau :

L'eau est une ressource précieuse et un élément essentiel à la vie sur terre et surtout pour la vie de l'homme, pour lui elle a une importance historique (les premières civilisations ont commencée près des rivières), géographique (elle occupe environ deux tiers de la surface de la terre), et de maintenir la vie (où il y a de l'eau, il y a de la vie, par contre cette dernière est impossible sans eau) (Danielle, 2018).

2. la répartition de l'eau sur la planète :

Depuis énormément des années, l'eau est présent dans notre planète sous des multiples états à 1400 millions de km³, dont 97,2% sont classés salés dans les mers et les océans, par la suite, les 2,8% restants sont réparti en deux partie ; l'une est stocké dans les glaciers et les nappes phréatiques profondes (2.15%), et uniquement l'autre qui reste (0.04%) est utilisable et disponible sous forme d'eau douce et pourrait être facilement exploitable par l'être humain, comme c'est expliqué dans le **figure (1)** qui suit (Bouziani, 2006).

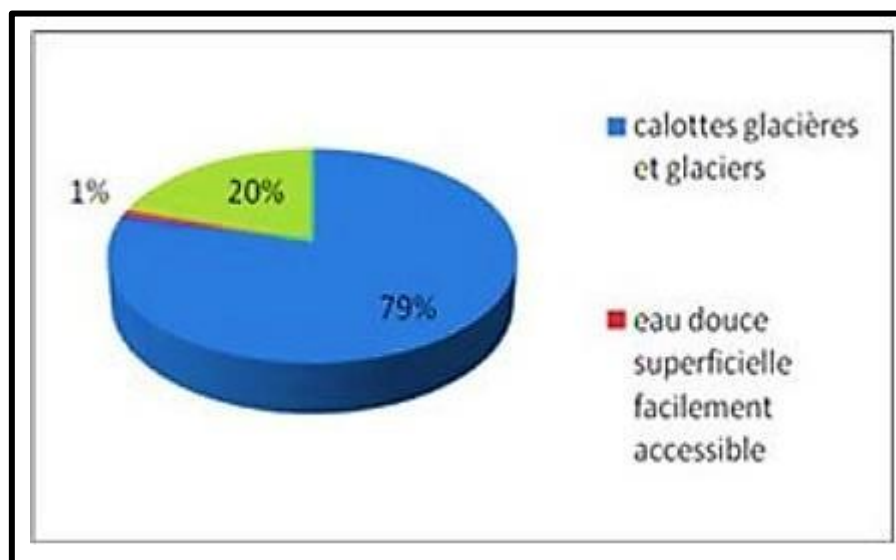


Fig. II.1 : Répartition de l'eau douce (Bouziani, 2006).

3. Le cycle de l'eau :

Aussi appelé le cycle hydrologique, est un système de recyclage de l'eau et se déroule entre les trois phases : solide, liquide et gazeuse. L'eau circule dans un boucle fermé 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 élevés remonte sous forme des gouttelettes d'eau (ou vapeur) dans les couches supérieurs 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 (**fig. 2**) (**Bouziane et kharoubi, 2022**).

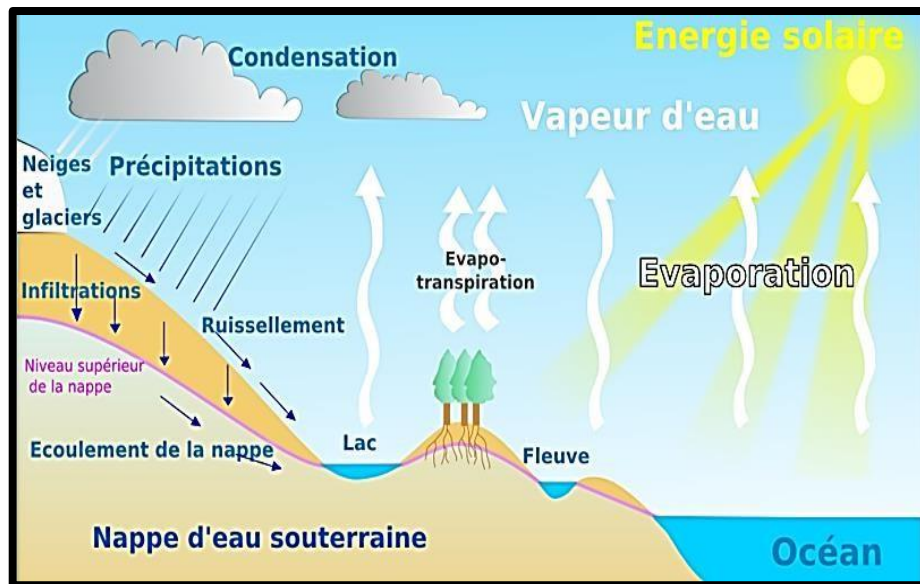


Fig. II.2 : Cycle de l'eau (Sari, 2014).

4. Qualité des eaux :

La connaissance de la qualité d'une cour d'eau est associée à plusieurs facteurs en fonction du temps. Pour cela, des outils d'évaluation de la qualité des eaux superficielles a été mise en place, par exemple le SEQ (Système d'Evaluation de la Qualité des eaux superficielles) à élaborer un système d'évaluation de la qualité physico-chimique des cours d'eau appelé SEQ-Eau en vue d'obtention d'une image extensive des cours d'eau afin d'évaluer l'impact de la qualité sur les processus naturels et les utilisations humaines (**Barkat, 2016**). Le **tableau (1)** montre la classification des de la qualité des cours d'eau.

Chapitre 02 : Revue bibliographique sur la qualité des eaux de surface

Tableau II.1 : La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie (ABH, 2009)

Classe	Très bonne	Bonne	passable	mauvaise	Très mauvaise
Qualité chimique	Eau exempte de pollution	Eau de qualité moindre pouvant satisfaire tous les usages	Eau de qualité médiocre, suffisante pour les usages peu exigeants	Eau polluée inapte à la vie biologique	Eau très polluée inapte à tous les usages, pouvant constituer une menace pour la santé publique et l'environnement
Biologie	Tous les taxons	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très faible
Eau potable	Acceptable	Traitement simple	Traitement classique	Traitement complexe	Inapte

Les normes des paramètres de potabilité eaux de consommation ont été fixées par l'OMS et le journal officiel algérien comme le **tableau (II. 2)** s'indique.

Tableau II. 2 : les normes de potabilité de l'eau de consommation selon l'OMS et le journal officiel algérien.

Paramètres	Unité	Normes OMS (2000)	Norme Algérienne (J.O.R.A.D.P., 2014)
Température	°C	< 30	< 25
pH	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 8,5	≥ 6,5 et ≤ 9
Conductivité à 20°C	µS/cm	< 1250	< 2 800
Résidu sec	mg/l	< 2 000	< 2000
O2 dissous	O2	< 6,5	< 6,5
Oxydabilité	mg/l d'O2	< 5	< 5
Nitrate (NO3)	mg/l	< 50	< 50
Nitrite (NO2)	mg/l	< 0,1	< 0,1
Ammonium (NH4)	mg/l	< 0,5	< 0,5
Phosphate (PO4)	mg/l	< 0,5	< 0,5
DBO5	mg/l d'O2	< 30	< 25
DCO	mg/l d'O2	< 90	< 80
MO	mg/l	Pas de valeur guide	<30
Dureté	mg/l de CaCO3	<500	<500
Calcium (Ca ²⁺)	mg/l	<200	<270
Magnésium (Mg ²⁺)	mg/l	<50	<150
Chlorure (Cl ⁻)	mg/l	<250	<200
Potassium (K ⁺)	mg/l	<12	<20

4.1 Les eaux de surface :

Les eaux de surface présentent toutes les eaux qui coulent ou émergent d'une surface du sol donnée et englobent les lacs, les rivières, les étangs, les barrages... etc. Leur composition chimique est en fonction du terrain où elles sont passées, des rejets et des conditions climatiques de la zone (pluviométrie). Leur température dépend du climat en plus de la saison. La plupart des eaux de surface sont connues par la richesse en oxygène et la pauvreté en dioxyde de carbone et cela est dû à son écoulement, qui permet de se réapprovisionner en oxygène d'une façon permanente à travers l'échange eau-atmosphère. L'eau de surface dans la plupart des cas est un environnement favorable pour le développement de multiples colonies de bactéries pathogènes et les virus grâce aux rejets des déchets et des effluents anthropiques, c'est pour cela qu'elle n'est pas potable pour l'utilisation humaine si elle ne subit aucun traitement nécessaire. Ces eaux sont très fragiles, c'est pour cette raison qu'elles doivent être protégées contre toute forme de pollution industrielle, urbaine et agricole (**Boeglin, 2001 ; Bordet, 2007**). **4.2 Les types des eaux de surface :**

4.2.1 Les eaux vives :

Présente toutes les eaux courantes et regroupe les sources, torrents, ruisseaux, rivières et fleuves. Ce sont des réseaux hydrographiques ouverts et vastes qui font des échanges réguliers avec leurs chemins de parcours (**Genin et al, 2003**).

4.2.2 Les eaux calmes :

Correspondent en premier lieu aux lacs, mares et étangs comme des milieux formés naturellement, aussi bien que les barrages comme des milieux artificiels. On se différencie l'un à l'autre par certaines caractéristiques proprement identiques pour chacun de ces milieux : la superficie, la permanence de l'eau, la profondeur, l'ensoleillement et le réchauffement du fond (**Genin et al, 2003**).

- **Le lac :**

C'est une superficie d'eau qui est alimentée par différentes sources : les cours d'eau, les sources et les précipitations. Il est classifié en 3 niveaux trophiques :

- ✓ **Les lacs oligotrophes :** constituent les eaux pures de couleur transparente et caractérisé par la pauvreté en nutriments.
- ✓ **Les lacs mésotrophes :** contient une proportion moyenne de nutriments
- ✓ **Les lacs eutrophes :** riches en éléments nutritifs (**Touati, 2020**).

- **La mare :**

Est une zone humide contenant l'eau stagnante d'une façon temporaire ou permanente avec une petite profondeur d'un minimum de 2 m, ce qui permet le bon ensoleillement du fond et donc le développement des plantes aquatiques (**Bellanger et Moro, 2014**).

- **L'étang :**

C'est un plan d'eau « fermé » avec une taille intermédiaire entre le lac et la mare et qui contient de l'eau stagnante. Il est classé en deux parties : un étang naturel et un étang artificiel,

ce dernier et nommé « un réservoir » (Touchart, 2020).

4.2 Paramètres de l'eau de surface :

4.2.1 Paramètres organoleptiques :

- **La couleur :**

La coloration de l'eau de surface est à l'origine de présence des éléments colorés provenant de diverse source, notamment :

- ✚ Les substances minérales : plus précisément le fer et le manganèse, provenant de la nature.

- ✚ L'eutrophisation et la décomposition de matière organique.

- ✚ Des industries de teinture et de textile Cette coloration est un signe indésirable qui mène à avoir une eau non potable, donc il est nécessaire de mettre en place des techniques de traitement d'élimination de ces substances de coloration pour assurer sa potabilité (Bidi et Djidja, 2020).

- **L'odeur :**

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations captées par l'organe olfactif à partir de sentir certaines substances volatiles, chaque substance provoque une sensation différente. L'odeur d'une eau c'est l'indice de la présence d'une pollution ou la décomposition de matière organique (Rodier, 2005).

- **Goût et saveur :**

Le goût regroupe l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique qui déclenche lors de présence de boisson dans la bouche.

La saveur regroupe l'ensemble des sensations perçues lorsque les bourgeons gustatifs sont stimulés par une substance soluble (Rodier, 2005).

- **Paramètres physicochimique :**

- **pH (Potentiel d'hydrogène) :**

Le potentiel hydrogène est un paramètre de mesure de l'acidité de l'eau par la mesure de la concentration des ions d'hydrogène (H^+ et présente un indicateur de pollution des eaux naturelles. Il a une échelle comprise entre 0 (eau très acide) à 14 (eau très alcaline). Par contre 7 c'est la valeur normale de la plupart des eaux de surface. L'eau acide (avec un pH faible) augmente le risque d'une contamination par les métaux sous forme ionique qui sont toxiques à tous les niveaux trophiques. En outre l'eau très basique (avec un pH élevé) provoque une contamination par l'ammoniac qui est toxique surtout pour les poissons. Généralement la valeur normale de pH des eaux de surface s'étend entre 6 et 8 pour les eaux non contaminées

Chapitre 02 : Revue bibliographique sur la qualité des eaux de surface

(Villers et al, 2005 ; M.D.D.E.P, 2006).

- **Température :**

La température de l'eau joue un rôle fondamental dans la solubilité des sels et des gaz notamment l'oxygène qui est responsable de l'existence des écosystèmes aquatiques en générale et aide à les équilibrer. En outre la température des eaux superficielles est influencée par la température ambiante, et cela est dû à sa source moins profonde, mais aussi par les rejets résiduaire de natures chaudes ce qui conduit à un changement de température de plus de 3 degrés et donc l'apparition des effets néfastes pour la vie aquatique (Villers et al, 2005).

- **Conductivité électrique :**

La conductivité électrique d'une eau (CE) est l'opposé de la résistivité électrique (ρ). Elle est utilisée pour exprimer numériquement le pouvoir qu'avoir une solution à conduire le courant électrique à partir d'une colonne d'eau contenant deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm.

Sa mesure est exprimée en $\mu\text{S/cm}$. Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. Le **tableau (3)** présente quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité (Rodier et al, 2009).

Tableau II.3 : La relation entre la minéralisation et la conductivité (Rodier, 2009).

Conductivité	Minéralisation
CE < 100 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation très faible
100 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 200 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation faible
200 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation moyenne
333 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
666 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation importante
Conductivité > 1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation élevée

- **Salinité :**

La salinité désigne la concentration des sels minéraux dissous dans l'eau (Chlorure de Sodium, Chlorure de Magnésium, Sulfate de Magnésium, etc.) et elle est variable d'un endroit à un autre. Elle est exprimée soit par la valeur de conductivité électrique (CE) soit par les résidus secs (RS) (Hider, 2019).

- **Potentiel redox (Eh) :**

C'est les états d'oxydation des éléments dans l'eau telle que : H, C, N, O, S, Fe...etc., dont l'oxydation domine dans une eau bien oxygénée. Par contre, la réduction du potentiel redox qui domine dans une eau moins oxygénée. Généralement l'évolution du potentiel redox permet le suivie de degrés de changement des écosystèmes d'eau naturelle. La mesure du Eh est en mV (Villers et al, 2005).

- **Oxygène dissous :**

L'oxygène dissous est un paramètre important pour la vie aquatique. Son origine concernant l'eau de surface, c'est l'atmosphère en plus de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Sa variation en concentration varie quotidiennement et selon les saisons à cause de différents facteurs comme la pression atmosphérique, la température de l'eau, l'agitation de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, et la concentration des nutriments. L'impact des activités des organismes aquatiques ainsi que la décomposition de matière organique peut conduire à un appauvrissement de l'oxygène dans l'écosystème (l'anaérobie). **(Beupoil et Bornens, 1997).**

4.3 Paramètres de minéralisation globale :

- **Dureté totale (TH) :**

La dureté (ou titre hydrotimétrique) est un paramètre correspondant aux concentrations des cations métalliques dans l'eau, majoritairement les ions de calcium (Ca^{2+}) et les ions de magnésium (Mg^{2+}) sont responsables **(Anonyme, 2020)**. La dureté se détermine en fonction de valeur de TH_t :

- Entre 00 et 10°F= eau très douce.
- Entre 10° et 20°F= eau moyennement douce.
- Entre 20° et 30°F= eau dure.
- >30°F= eau très dure **(Si Abderahmane, 2016)**.

$$1^{\circ}F = 10 \text{ mg CaCO}_3 \text{ g/l} = 0,2 \text{ meq/l} = 0,56^{\circ}A$$

Tableau 4 : Qualité de l'eau en fonction de la valeur de TH **(ADE, 2005)**

Eau	Eau douce	Eau calcaire	Eau dure
TH (°F)	0 à 15	15 à 25	Au-delà de 25

- **Calcium (Ca^{2+}) :**

Le calcium est généralement résultant de la dissolution des calcaires et des marnes, mais son excédent revient aussi à la dissolution du gypse. La teneur en pH et en CO₂ est un facteur limitant la dissolution du calcaire. Dans l'eau, le calcium est considéré comme un élément significatif de la dureté, et sa teneur normale dans l'eau potable est comprise entre 100 et 140 mg/l **(Saidi, 2014)**.

Chapitre 02 : Revue bibliographique sur la qualité des eaux de surface

- **Magnésium Mg^{2+} :**

Le magnésium est classé au huitième rang du tableau périodique parmi les éléments les plus répandus dans la nature et il occupe 2,5% de la masse de croûte terrestre. Il est d'origine des carbonates de magnésium des roches sédimentaires et des minéraux ferromagnésiens des roches ignées. Le magnésium est l'un des éléments essentiels de la dureté en plus du calcium (Reggam, 2015).

- **Chlorure (Cl^-) :**

Le chlorure est considéré comme un sel mobile et non toxique largement présent dans l'eau, il est d'origine géologique (argile, marnes et calcaire dolomitiques), mais aussi peut être à l'origine d'une pollution organique due aux pesticides (organochlorés), les épandages massifs, les détergents et plus précisément aux rejets industriels. D'après l'OMS, le chlorure peut avoir des risques sanitaires s'il dépasse la limite de 200 mg/l (Bouziari, 2000).

- **Potassium (K^+) :**

Le potassium est un minéral rarement abondant dans l'eau et il est d'origine de l'altération des formations silicatées, de la dissolution des engrais chimiques (NPK) et de quelques rejets industriels (Rodier et al. 2005).

- **Sulfate (SO_4^{3-}) :**

Les sulfates existent déjà naturellement dans l'eau, ils sont apparentés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent principalement d'une source naturelle (gypse, pyrite, volcan), aussi bien industrielle (industrie pétrolière, tannerie, papeterie, industrie textile) ainsi que les produits utilisés dans le traitement agricole. Les teneurs normales des sulfates dans les eaux naturelles varient de 5 à 200 mg/l (Gaujous, 1995).

- **Résidus secs :**

Les résidus secs sont des indicateurs expriment le degré de minéralisation, et donne une idée générale concernant la teneur en substance dissoutes non volatiles (Mekaoussi, 2014)

Tableau 5 : Classification des eaux selon le résidu sec (Lounnas, 2008).

RC	<50 mg/l	50 à 500 mg/l	500 à 1500 mg/l	>1500 mg/l
Type de l'eau	Très faiblement minéralisé	Faiblement minéralisée	Moyennement minéralisée	Fortement minéralisée,dite « de cure »

- **Paramètres biologique indicateur de pollution :**

- **La Demande Biochimique en Oxygène (DBO) :**

C'est la quantité d'oxygène dissous consommée dans l'échantillon lors de l'oxydation des matières organiques par voie biochimique dans les conditions de l'essai. Généralement l'indicateur utilisé c'est la DBO5 c'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser la matière organique présente dans un litre d'eau polluée en 5 jours, elle est exprimée en mg/l d'O₂. L'analyse de ce paramètre est appliquée pour l'évaluation de la qualité des eaux brutes (Rodier et al, 2009 ; Bremond et Vuichard, 1973).

- **La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :**

La DCO c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation des composés organiques existants dans l'eau par voie chimique sous l'effet d'un oxydant dans des conditions opératoires définies. L'analyse s'effectue par l'estimation des matières oxydables à l'origine organique ou minérale, et il est en fonction de leurs caractéristiques et de leurs proportions respectives et des possibilités de l'oxydation (Tardat, 1992). **Les phosphates (PO₄³⁻) :**

Dans l'eau de surface, les phosphates sont à l'origine de l'agriculture (les engrais et les pesticides proviennent de lessivage), aussi bien que les rejets domestiques et industriels. La quantité énorme du phosphate favorise le phénomène d'eutrophisation (développement des phytoplanctons) et donc l'accumulation des matières organiques et mènent à l'eau une odeur et un goût indésirable. La qualité de l'eau selon les phosphates est traduite dans le **tableau (6)** qui signale le problème des phosphates (Degremont, 2005).

Tableau 6 : Grille de la qualité des eaux en fonction du phosphate (ANRH, 2009).

Formes du phosphate	Situation normale	Pollution modérée	Pollution notable	Pollution importante
Valeurs PO ₄ ³⁻	≤ 0,01	0,01-0,1	0,1-3	> 3

- **Ammonium (NH₄⁺) :**

L'ammonium est parmi les deux formes de l'azote en plus de l'ammoniac (NH₃⁺). Il est fréquent dans les eaux de surface et résulte de la décomposition de la matière organique végétale et animale de l'eau. L'ammonium se transforme, par l'oxydation bactérienne dans un milieu aérobie faible, en nitrites et nitrates. L'ammonium n'est pas nuisible en lui-même, mais l'augmentation du pH dans le milieu entraîne la présence d'un gaz soluble dans l'eau et toxiques pour la faune et la flore aquatique qui est « l'ammoniac », ce dernier est nuisible à

une concentration de 0,1 mg/l (**Bremond et al. 1973 ; Villers et al. 2005**).

- **Nitrite (NO_2^-) :**

- Les nitrites représentent la forme intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-). Ce sont le résultat de la réduction des nitrates par les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) en consommant beaucoup d'oxygène, cette transformation s'appelle « la nitratisation ». Ils résultent aussi de l'oxydation incomplète de l'ammoniac des nitrates. Les nitrites sont toxiques pour les organismes aquatiques même à de très faible concentration et cette toxicité augmente en parallèle avec l'augmentation de température dans le milieu. Selon l'OMS les doses limites des nitrites dans l'eau de boisson ne doit pas dépasser 1 mg/l, mais concernant les pays de l'Union Européenne les valeurs doivent être inférieures à 0,1 mg/l (**Rodier et al, 2005 ; Bouziani, 2000**). **Nitrates (NO_3^-) :**

Les nitrates représentent la forme azotée finale résulte de l'oxydation de l'ammonium. Ce sont les principales composantes de l'azote inorganique (minéral). cette forme d'azote est la plus abondante dans les eaux naturelles. Pour que les eaux soient potables, les teneurs en nitrate doivent être sur les limites de 50 mg/l (**OMS, 1970 ; Rodier, 2009**).

- **Matière en suspension (MES) :**

C'est la quantité de l'ensemble des particules organiques (MVS) ou minérale (MMS) non dissoutes de la pollution (matière non décantables et colloïdales). L'analyse de ce paramètre permet de déterminer le degré de pollution urbaine et industrielle (**Metahri, 2012**).

- **Matière organique (MO) :**

La matière organique est un caractère fondamental des écosystèmes aquatiques. Elle est constituée d'un grand complexe des composés hétérogènes. La MO est naturelle (MON) lorsqu'elle provient des eaux naturelles, mais dans certains cas elle est d'origine anthropique lorsqu'elle provient des rejets urbains, industriels ou agricoles. Dans le milieu aquatique la matière organique prend deux formes :

- ✓ La matière organique d'origine autochtone : résultant naturellement dans le milieu aquatique par l'activité phytoplanctonique et microbienne.

- ✓ La matière organique d'origine allochtone ou terrestre : c'est à l'origine de lessivage des sols et la percolation des eaux dans les sols) (**Rodier, 2009**).

- **Les paramètres microbiologiques :**

L'eau contient des microorganismes pathogènes qui peuvent nuire à la santé des consommateurs, ce sont des bactéries, des virus, des champignons, des protozoaires et même

des algues qui se diffusent dans l'eau par la contamination de celui-ci par des matières fécales humaines et animales. La base de l'analyse bactériologique de l'eau de consommation c'est de mettre en évidence ces contaminations fécales en effectuant des tests soumis à l'eau de consommation à l'aide « des indicateurs de contaminations fécales » (Diallo, 2015).

- **Quelques germes indicateurs de pollution de l'eau :**

- ✚ **Les coliformes :**

Ce terme regroupe des espèces bactériennes convient à la famille de *Enterobacteriaceae*. Ces organismes en bâtonnets sont non sporogènes, avec Gram négatifs et oxydase négatifs, ils sont facultativement anaérobies et capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possèdent des activités inhibitrice de croissance similaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de l'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37°C (Rodier, 2009).

- ✚ **Les coliformes fécaux :**

Les coliformes fécaux ou « coliformes thermo-tolérants » sont des bactéries d'origine fécale qu'on retrouve dans le tube digestif de l'être humain et des animaux, considérés comme des bâtonnets à Gram négatif. Ils sont aérobies et facultativement anaérobies, non sporulants et capables de fermenter le lactose avec production de l'acide et de gaz à 36 et 44°C en moins de 24 heures. Le but de prouver l'existence ou pas des coliformes fécaux, c'est de prouver s'il y a une contamination fécale. Parmi les coliformes fécaux, on parle de l'*Escherichia coli* (Rodier et al, 1996).

Escherichia coli : c'est des coliformes thermo tolérants qui produisent de l'indole à partir de tryptophane à 44°C pendant 24 heure, et ont des caractéristiques biochimiques propres à cette espèce ; oxydase négative, l'hydrolyse pas l'urée et présente les enzymes β galactosidase et la glucuronidase, et est considéré comme l'indicateur le plus précis de la contamination fécale récente et de présence éventuelle de micro-organismes pathogènes (Mekhloufi et Ouanoughi, 2017).

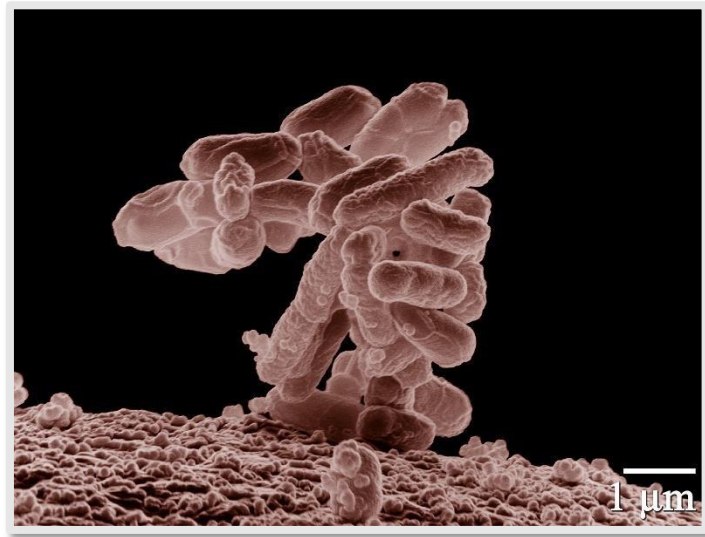


Fig. 3 : *Escherichia-coli* sous microscope électronique à G X 1000 (Avril J.L. et al. 2000).

✚ Les coliformes totaux :

Ces germes sont considérés comme des indicateurs historiques et donc la recherche est reliée avec celle des *E. coli* dans la norme (Rodier, 2009). Ces des bactéries coliformes qui se caractérisent par : bacilles Gram(-), leur capacité de développer en présence de sels biliaires ou d'agent tensio-actifs qui fermentent le lactose en produisant de l'acide, du gaz et de l'aldéhyde à $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 24-48 heures, et qui peuvent présenter une activité enzyme β – galactosité. La plupart des bactéries coliformes appartiennent au genre *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* et *Enterobacter*... (Mekhloufi et Ouanoughi, 2017).

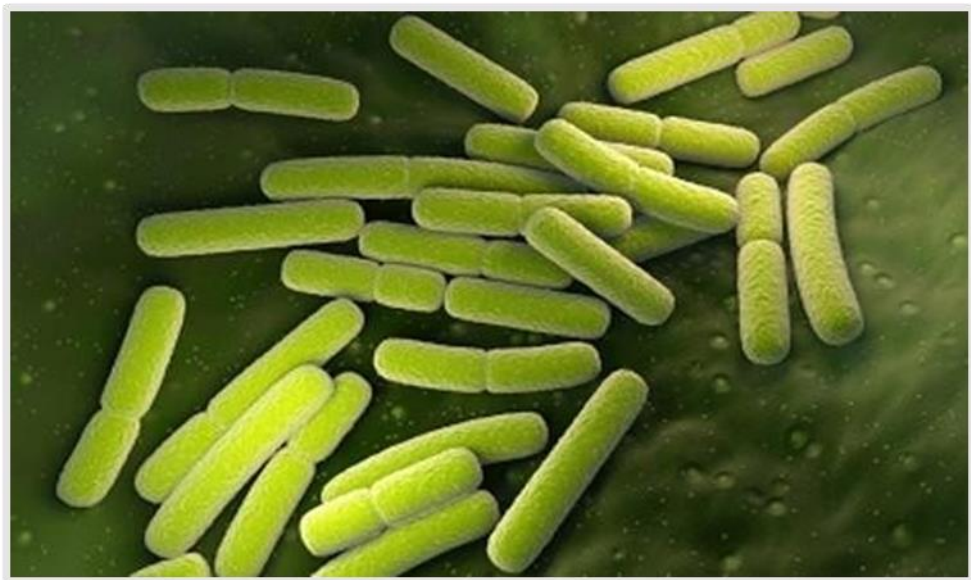


Fig. 4 : Coliformes totaux [1].

✚ Les streptocoques fécaux :

Les streptocoques fécaux sont un sous-groupe de streptocoques, essentiellement d'origine humaine, mais certains peuvent être trouvés dans les fèces animales ou se rencontrent sur les végétaux. Ces bactéries sont des indicateurs de pollution fécale. La totalité des streptocoques possédant la substance « acide teichoïque » antigénique caractéristique du groupe D de Lancefield qui sont susceptibles de contaminer les eaux d'approvisionnement, on a essentiellement : *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*, *Streptococcus bovis*, *S. suis* et *S. equinus*. Les streptocoques fécaux sont caractérisés par Gram positifs, forment des chaînettes en milieu de culture liquide, catalase négative, capable d'hydrolyser l'esculine et de cultiver à 44°C (OMS, 2004 ; Rodier, 2009 ; Mekhloufi et Ouanoughi, 2017).

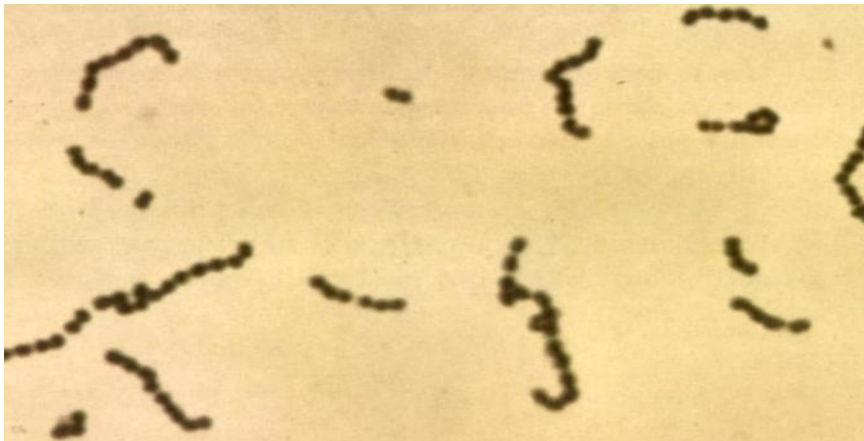


Fig. 5 : Streptocoques fécaux [2].

Tableau 7 : Normes algériennes et de l'OMS de la qualité microbiologique des eaux

Paramètres	OMS (2017)	JORA (2014)
Coliformes totaux	0 UFC/100ml	0UFC/100ml
Coliformes fécaux (<i>E. coli</i>)	0UFC/100ml	0UFC/100ml
Streptocoque fécaux	0UFC/100ml	0UFC/100ml

5. Pollution de l'eau :

5.1 Définition de la pollution :

C'est une modification défavorable du milieu naturelle dure aux actions anthropiques qui manifeste directement ou indirectement sur l'altération du flux d'énergie, du niveau de radiation, des composants physiques ou chimiques de l'écosystème et de l'abondance et la

répartition des espèces vivantes. Ce déséquilibre peut affecter l'homme d'une façon directe ou indirecte à travers l'agriculture, les ressources en eau ou d'autres produits biologiques, ainsi elle peut l'affecter par la déformation de la nature et de ces objets physiques de divertissement qu'elle lui offre. La pollution des eaux superficielles représente un problème très inquiétant sur tous les niveaux environnementaux, elle est la cause majeure de la dégradation de la nature. En outre, l'eau peut être contaminée par de diverses substances solides qui doivent être mise en suspension et se transporter loin des zones émise, par conséquent ils affectent les organismes situés en aval (Ramade, 2005 ; Ramade, 2011).

5.1.1 Les modes de pollution :

- **Pollution ponctuelle :**

La pollution ponctuelle est une altération par des polluants bien localisé qui peut affecter la qualité d'un écosystème aquatique ou d'une ressource en eau. La pollution ponctuelle est notamment résulté des rejets directs des polluants de type industriel ou domestique dans la cour d'eau, ces polluants sont facilement à repérés et quantifiés ainsi que la rapidité de leurs évaluation et contrôle (Nguyen P. et al, 2018 ; Louafi et Chorfi, 2021).

- **Pollution diffuses :**

La pollution diffuse est une altération du milieu aquatique par l'émission répétée et durable de polluants réparties sur un territoire vaste ou par des diverses sources (Louafi et Chorfi, 2021).

La pollution diffuse à deux types d'origines différents :

➤ **Pollution diffuse d'origine atmosphérique :** provenant des émissions des indus des transports qui sont transmis sur une distance étendu (certains kilomètres).

➤ **Pollution diffuse d'origine agricole :** provenant des engrais et des pesticides épandus sur de très grandes surfaces à proximité du sol

Les limites de potabilité des quantités épandues sont 50 mg/l pour les nitrates et 0,1mg/l pour les pesticides (Atteia, 2005).

1.2. La classification de la pollution selon l'origine de la pollution :

- **Pollution domestique :**

C'est à l'origine des :

✓ **Polluants salins :** englobent le chlorure de sodium de génération des résines, échangeuses d'ions des adoucisseurs d'eau, des fers à repasser et des lave-vaisselle.

Chapitre 02 : Revue bibliographique sur la qualité des eaux de surface

- ✓ **Polluants tensioactifs** : notamment les borates et poly phosphates des détergents
- ✓ **Polluants bactériologiques** : *Escherichia coli*, Entérocoques fécaux, coliformes fécaux et les coliformes totaux...
- ✓ **Polluants hormonaux** : pilule anticonceptionnelle...
- ✓ Matières en suspension organiques
- ✓ **Les déchets de bricolage** : solvants des peintures, huiles de vidange...
- ✓ **Les engrais et les pesticides qui sont ajoutés aux jardins privés à forte dose (Ramade, 2005).**

- **Pollution des eaux pluviales urbaines :**

C'est le résultat des eaux de surfaces imperméabilisées, des résidus de traitement de la pollution domestique collectée et les résidus de traitement des ordures ménagères (les mâchefers et les REFIOM qui sont facilement lixiviables). A la période de sécheresse, les pluies lessives les polluants résultants de la partie brûlée des fiouls domestiques collectés sur les toits et les voiries des hydrocarbures (lubrifiants), des matières en suspension (poussières de plaquettes de freins et de disques d'embrayage), des métaux lourds (zinc des peintures, plomb...) et du sel formé lors de période de gel. Par conséquent, ces polluants arrivent au sol et pénètrent dans les pores et font leur chemin vers les nappes phréatiques et les eaux de surface à proximité (**Ramade, 2005**).

- **Pollution industriel :**

➤ Les industries rejettent des divers produits insolubles ou insolubles sous forme minérales ou organique à caractère plus ou moins biodégradable et dans des plusieurs cas toxique même à de très faible concentration, ce qui mène à des dégâts au niveau des nappes phréatiques et des eaux de surface. La pollution industrielle comprend : les effluents liquides, les fuites de stockage ou de canalisation et les résidus solides qui ont été utilisés comme remblais dans le passé (**Ramade, 2005 ; Fatmia, 2020 ;**).

- **Pollution agricole :**

L'agriculture est souvent le secteur dans lequel l'homme utilise l'eau en abondance, par conséquent ces eaux transportent des divers polluants de plusieurs natures :

- ✓ L'arrivage des nitrates et phosphates, utilisée comme engrais, dans les eaux de surface.

✓ Le sulfate de cuivre et les composés arsenicaux destinés à la protection des vignes en région viticole.

✓ Les produits phytosanitaires (pesticides chlorés ou phosphorés, les herbicides et les insecticides) (**Richards et Hunt, 1982**).

- **Pollution naturelle :**

La pollution naturelle est une contamination du milieu par des concentrations anormales des métaux lourds résultants des phénomènes naturelle telle que l'éruption volcanique, l'épanchement sous-marin d'hydrocarbures, ou l'entraînement de l'eau en contact avec des gisements minéraux et les effets de dissolution ou d'érosion (**Carnevale et al, 2006**).

1.3. La classification de la pollution selon le polluant :

- **Pollution chimique :**

C'est la pollution la plus répandue et s'agit de la contamination de l'eau par les substances chimiques minérales et organiques dissous ainsi que les micros polluants. Elle résulte essentiellement du déversement, direct ou indirect, des polluants organiques et sels de métaux lourds dans le milieu par les activités industrielles et agricoles (**Gérin et al, 2003**).

- **Pollution physique :**

On appelle une pollution physique une modification de la structure physique d'un milieu pollué par plusieurs facteurs, elle regroupe la pollution thermique, la pollution radioactive et la pollution mécanique (**Merouani et Bouguedah, 2013**).

- **Pollution thermique :**

Une pollution thermique signifie l'augmentation ou la diminution de la température normale de par l'activité anthropique et qui mène à une perturbation de la vie aquatique. Elle est considérée comme une pollution diffuse qui n'est pas visible et donc le danger est incontournable. Les principales sources de cette pollution sont les rejets d'eaux chaudes (provenant des systèmes de refroidissement), les centrales électriques classiques ou nucléaires (**Pesson, 1980**).

- Le changement de la température provoque des effets avérés, d'une part l'abaissement important de température entraîne un ralentissement de la majorité des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Or, l'augmentation de température peut causer la mort de diverses espèces, en outre cette augmentation peut favoriser le développement d'autres espèces par conséquent un déséquilibre écologique se passe (**Mizi, 2006**). **Pollution radioactive :**

C'est une pollution causée par la radioactivité artificielle des rejets à l'origine de l'utilisation de l'énergie nucléaire dans les installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium et

dans le traitement des déchets radioactifs. Cette radioactivité s'intègre dans les molécules des organismes vivants, outre leur sensibilité aux rayonnements s'augmente avec l'élévation dans la chaîne trophique. La pollution radioactive a le potentiel de provoquer un danger pour la santé de l'homme et des détériorations aux ressources biologiques, aux écosystèmes ou aux biens matériels (**Ben Mehraz et Louelh, 2016 ; Kadi, 2017**).

➤ **Pollution mécanique :**

La pollution mécanique est due aux décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles (ERI) et les eaux de ruissellement. Les polluants mécaniques sont les éléments grossier, le sable ou bien les matières en suspension MES (**Himmi et Brahimi, 2022**).

• **Pollution microbiologique :**

La pollution organique est une contamination engendrée par la présence des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites), ce qui présente un danger pour la santé humaine ou animale (**Ramade, 2005**).

1.4. **Les maladies à transmission hydriques :**

Ces des maladies résultant de l'ingestion ou le contact avec des eaux contaminées et transmettrices des bactéries, des virus et des parasites qui mène à des complications et des pathologies très sérieuses et possible d'être mortelles à certains degrés. (**Ombala R, 2013**).

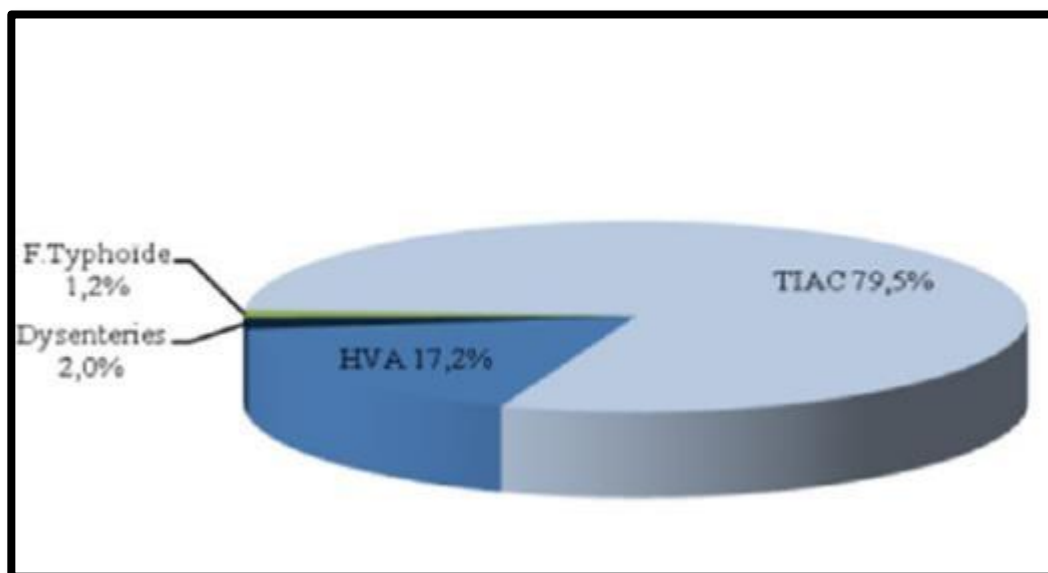


Fig. 6 : Répartition des maladies à transmission hydrique année 2015 en Algérie (**Kherifi et Bekiri, 2016**)

• **Les maladies d'origine bactérienne :**

Chapitre 02 : Revue bibliographique sur la qualité des eaux de surface

Les maladies d'origine bactérienne son résumé dans le **tableau (8)** suivant :

Tableau 8 : Principales maladies d'origine bactériennes (**Bidi et Djidja, 2020**).

Maladies	Agents responsables	Manifestation	Contamination	Référence
Choléra	<i>Vibrio cholerae</i>	-Diarrhée -vomissement -déshydratation -anurie -crampes musculaires	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales	Villaginès, 2003
Fièvre typhoïde et paratyphoïde	<i>Salmonella typhi</i> et <i>salmonella paratyphi A</i>	-Fièvre, céphalées -diarrhées -douleurs abdominales -hémorragies intestinales -collapsus cardiovasculaire -atteintes hépatiques respiratoires et neurologiques.	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales	Villaginès, 2003
La légionellose	<i>Légionella</i>	-pneumonie aiguë -toux avec fièvre modérée -myalgies -anorexie -céphalées.	L'installation qui favorise la multiplication des légionelles dans l'eau avec une T° avoisinant 37°C suivie d'une aérosolisation.	Villaginès, 2010

- **Les maladies d'origine parasitaire :**

Les maladies d'origine parasitaire sont résumées dans le **tableau (9)** suivant :

Chapitre 02 : Revue bibliographique sur la qualité des eaux de surface

Tableau 9 : Principales maladies d'origine virale (Bidi et Djidja, 2020).

Maladies	Agents infectieux	Manifestation	Contamination	Référence
Hépatite Infectieuse	Virus de l'hépatite A	-fièvre -sensation de malaise -perte d'appétit -diarrhée -urines foncées	Voie digestive	OMS, 2008
Gastro-entérites Virales	Rotavirus virus de Norwalk Asrtovirus	-nausées -vomissement -douleurs abdominales -diarrhée -fièvre.	Voie digestive	Schwartzbord, 2000

- **Les maladies d'origine parasitaire :**

Les maladies d'origine parasitaire sont résumées dans le **tableau (10)** suivant :

Tableau 10 : Principales maladies d'origine parasitaire (Bidi et Djidja, 2020).

Maladies	Agents infectieux	Manifestation	Contamination	Références
Giardiase	<i>Giardia intestinalis</i> anciennement <i>Giardia Lamblia</i>	-Crampes d'estomac -ballonnement -flatulences -perte de poids -fatigue	Ingestion des kystes	Villaginès, 2003
Dysenterie Amibienne	<i>Entamoeba hystolutia</i>	- crampes -Diarrhée hémorragique -douleurs abdominales	Ingestion des kystes	Aubry, 2006

Chapitre 03 :

Matériel et méthodes

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1. L'échantillonnage :

1.1. Prélèvement des échantillons :

D'après **Rodier (2009)**, le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico- chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) c'est pour cela, il est nécessaire de mettre en place une organisation structurée, de disposer d'un personnel qualifié, de développer une méthodologie adaptée à chaque cas, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvement et d'utiliser le matériel convenable, car dans la plupart des cas le responsable du prélèvement n'est pas l'analyste, il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques. Pour un prélèvement correct, il est recommandé d'utiliser un flacon avec bouchon lavés avec une solution détergente sans phosphates, bore, etc., (pour éviter la contamination) à chaud et rincés avec de l'eau déionisée puis séchés. Au moment de l'échantillonnage, pour analyse chimique, les flacons seront de nouveau rincés 3 fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport. Pour une conservation satisfaisante, les flacons sont conservés dans un emballage isotherme (glacière) à une température de 4°C à l'obscurité.

▪ Principes enseignements à fournir pour une analyse d'eau (Rodier, 2009) :

- 1) Identité du préleveur.
- 2) Date et heure du prélèvement.
- 3) Particulier ou autorité demandant l'analyse.
- 4) Motif de la demande d'analyse (analyse initiale ou contrôle périodique, pollution, intoxication, épidémie, etc.) et usages de l'eau (boisson, lavage, abreuvement, incendie, industrie, etc.).
- 5) Ville ou établissement que l'eau alimente ; le cas échéant, le type de traitement utilisé.

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

- 6) Nom du point d'eau et localisation précise.
- 7) Origine de l'eau (source, puits, forage, rivière, lac, barrage, citerne, etc.). Aspect particulier (couleur, débris, irisation, odeur, etc.).
- 8) Température de l'eau à l'émergence et celle de l'atmosphère au moment du prélèvement. Conditions météorologiques du moment (précipitations, vent, pression atmosphérique, etc.).
- 9) Débit approximatif à la minute ou à la seconde.

Dans le cas d'une nappe souterraine, préciser la profondeur et l'épaisseur de cette nappe, la durée du pompage et le débit, le nombre de renouvellements de l'eau d'un piézomètre avant prélèvement.

- 10) Nature géologique des terrains traversés, aspect du milieu naturel.
- 11) Causes de souillures permanentes ou accidentelles auxquelles l'eau paraît exposée (établissement agricole ou industriel, rejet de ville ou d'usine, puits perdu, cimetière, etc.).
- 12) Enregistrer les remarques des usagers ou riverains concernant les variations d'aspect ou de débit ainsi que les modifications provoquées par les pluies ou la fonte des neiges.

.1. Méthode analytiques :

1.2. Détermination des paramètres physico-chimiques des eaux :

.1.1.1. Les paramètres mesurés in situ :

➤ La température :

En respectant les consignes de **Rodier et al (2005)**, la température a été mesurée in situ (sur le barrage) en utilisant un thermomètre gradué au 1/10. La lecture a été faite après une immersion de 10 minutes du thermomètre à environ 15 cm de profondeur. Les résultats sont exprimés en °C.

.1.1.2. Les paramètres mesurés dans le laboratoire :

➤ pH :

Le pH des eaux traitées est déterminé via un pH mètre. Après avoir allumé le pH mètre, on plonge l'électrode de l'appareil, après le rincer avec de l'eau distillé, dans la bouteille qui

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

contient de l'eau à analyser et on le laisse pendant un moment jusqu'à ce que la valeur stabilise et on lire les valeurs à travers le colorimètre (Rodier et al, 2009).

➤ Conductivité (CE) :

La conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre (une cellule à électrodes de platine). Après avoir allumé le pH mètre, on rince l'électrode avec de l'eau distillé est on le plonge dans la bouteille en eau a analysé et en le laisse jusqu'à la valeur stabilise et on la lire. Le résultat est exprimé en mS/cm. Si la conductivité est supérieure à 400, l'eau n'est pas potable. Si elle est inférieure à 400, on analyse les paramètres : CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- . (Rodier at al, 2009).

➤ Résidus secs :

Le résidu sec est obtenu par pesée après évaporation à sec dans une étuve à 110°C, de 50 cm³ des échantillons contenus dans une capsule d'aluminium.

R.S (mg/l) = (poids de la capsule après évaporation – poids de la capsule vide) * 20 (ANRH, 2007).

➤ Dosage des nitrates :

• Principe :

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine, en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur. Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie : désazotations avec l'acide sulfanilique et copulation avec l' α -naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi forma à 520 nm (ANRH, 2007).

• Réactifs :

Solution de réserve :

- Solution de soude 1 M ; soit à 40 g/l.
- Solution de sulfate de cuivre à 2,6 g/l de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ additionnée de 40 ml/L d'acide sulfurique 1N.
- Solution d'hydrazine 0,1 M soit à 13 g/l de $\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ (conserver en flacon brun bien bouché).

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

- Solution d'acide sulfanilique (conserver en flacon brun).
- Solution α - Naphtylamine (conserver en flacon brun).
- Solution d'EDTA à 5 g/l, destinés à complexer le fer et les métaux lourds qui peuvent provoquer des interférences.
- Solution d'acétate de sodium à 164 g/l de « $\text{NACOO-CH}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ ».
- Solution de nitrate de sodium à 1 g/l de nitrate NO_3^- .
- Solution- Etalon :

Tableau 12 : Les concentrations en nitrate en fonction des volumes de la solution mère de nitrate (ANRH, 2007)

Volume de solution de nitrate à 1 g/l à diluée à 100 ml		Concentration obtenue en nitrates
0	0 ml	0 mg/l (Témoin)
A	0,5	5
B	1	10
C	2	20
D	4	40
E	6	60
F	8	80
G	10	100

- Solution de travail :
- a) Mélange réducteur (à préparer au moment de l'emploi) :
 - Solution de sulfate de cuivre = 25 ml ;
 - Solution d'hydrazine = 25 ml ;
 - Eau distillée = 1 litre.
- b) Mélange colorant (conserver en flacon brun) :

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

- Acétone = 10 ml
 - Solution d'acide sulfanilique = 20 ml ;
 - Solution d'EDTA = 20 ml ;
 - Solution d'acétate = 20 ml ;
 - Solution d' α -Naphtylamine = 20 ml ;
 - Eau distillé = 1 litre.
- ❖ Ajouter l' α - Naphtylamine en dernier et après dilution pour éviter la formation d'un précipité blanc laiteux.

c) Solution de soude NaOH = 5ml

❖ Diluer 20 fois la solution de réserve 1M, soit 50 ml par litre

- **Mode opératoire :**

Dans un erlen de 100 ml ou mieux dans un flacon en verre brun de 100 ml on introduire : « prise d'essai = 1 ml ; solution de soude = 5 ml ; mélange réducteur = 5 ml », et on mélange après chaque addition. Après une heure au repos dans l'obscurité on ajoute 40 ml du mélange colorant. Laisser la coloration se développer l'obscurité pendant $\frac{1}{4}$ d'heure et mesurer la densité au colorimètre à 520 nm. Le passage au colorimètre nécessite en général un transvasement de la solution colorée dans un tube à essai ou dans un pilulier, plus ou moins transparent à la lumière. Cette opération ne doit intervenir que juste avant la mesure optique afin que la solution soit exposée un minimum de temps à la lumière à laquelle elle est très sensible. La réduction des nitrates est partielle et varie le temps et la température. Il est important que la mesure des échantillons soit toujours accompagnée d'une mesure des solutions étalons, traitées les mêmes conditions (ANRH, 2007).

.1.2. Détermination des paramètres indicateurs de pollution des eaux :

.1.2.1. Paramètres mesurés dans le laboratoire :

➤ **Dosage des nitrites NO^{2-} :**

➤ **Principe :**

Dans un milieu chlorhydrique, l'acide sulfanilique en présence d'ion d'ammonium et du phénol, forme avec les ions NO un complexe colore en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrite (ANRH, 2007).

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

- **Appareillage :**

- Matériel courant de laboratoire
- Colorimètre

- **Réactif :**

- Solution d'EDTA 5 g/l ;
- Solution d'acide sulfurique :
- 1,2 g dans 140 ml d'eau chaude et refroidisse. Ajouter 40 ml HCl concentré et compléter 200 ml d'eau distillée ;

Solution naphtylamine :

1,2 g + 2 ml HCl et compléter à 200 d'eau distillée ;

- **Soltion étalon (tableau 11) :**

- Solution nitrite de sodium mère NO₂ 100 mg/l : NaNO₂150 mg ;
- Chloroforme 1 ml ; 1 L d'eau distillée.
- Solution nitrite de sodium fille :

1 ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée

Tableau 13 : Préparation des volumes de solution étalon (ANRH, 2007).

Volume de sodium (ml)	Concentration
0	0
0,02	1
0,04	2
0,08	4
0,12	6
0,16	8
0,2	10

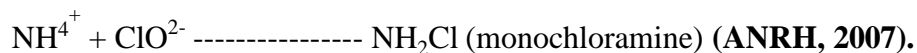
- **Mode opératoire :**

Prendre 50 ml de l'échantillon dans la fiole jaugée et ajouter 1 ml d'EDTA et 1 ml d'acide sulfanilique après agiter et laisser l'échantillon à l'obscurité pendant 10 min. Après l'attirer de l'obscurité ajouter 1 ml de naphtylamine et 1 ml d'acetate de sodium et agiter bien et en attend 30 min j'jusqu'à ce que la réaction se complète puis on lire dans le colorimètre à 520 nm (ANRH, 2007).

➤ **Dosage d'ammonium (NH₄⁺) :**

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

L'ammonium en milieu alcalin et donne une coloration bleue d'indophénol par réaction de l'ion ammonium avec le phénol l'hydrochlorite de sodium NaOCl en utilisant le nitroprussiate comme catalyseur



- **Appareillage :**

Matériel courant de laboratoire. La verrerie utilisée ne doit pas servir à d'autres analyses et doit être protégée des risques de pollution (ammoniacque et sels d'ammonium). Il est recommandé de pratiquer, deux fois de suite, le mode opératoire "à blanc" dans les tubes à essais employés pour les dosages. Après une série d'analyses, ces tubes soigneusement rincés à l'eau seront conservés remplis d'eau et bouchés, à l'obscurité.

- Colorimètre.

- **Réactif :**

- Solution étalon :

- Solution mère de chlorure d'ammonium à 1 g/l du NH_4^+ :

- Peser 2,972 g de NH_4Cl préalablement séché et refroidisse au dessiccateur. Dissoudre dans l'eau distillée et compléter à 100 ml.

- Solution fille de chlorure d'ammonium à 10 mg/l de NH_4 ;

- Eau distillé 1 litre.

Les solutions étalon sont préparées comme indique le **tableau (12)**.

Tableau 14 : Préparation des solutions étalon (ANRH, 2007)

Concentration en NH_4^+	Volume de solution de chlorure d'ammonium à 10 mg/l à compléter à 1 L
0,05	5
0,10	10
0,25	25
0,50	50
1,00	100

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

1,50	150
2,00	200

- Solution tampon et complexante :
 - Tartrate de sodium et de potassium ;
 - Citrate de sodium $\text{Na}_3\text{C}_6\text{O}_7$ (si on utilise du citrate monosodique $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_7$, en prendre 215 g avec 120 g de soude au lieu de 10 g) ;
 - Soude ;
 - Eau distillée.
- Solution de phénate de sodium :
 - Soude 5 g ;
 - Eau distillé 25 ml.

Après refroidissement, ajouter 10 g de phénol et compléter à 50 ml avec de l'eau distillée.

- Solution de nitroprussiate de sodium :
 - Nitroprussiate de sodium 00,5 g ;
 - Eau distillée 50 ml.
 - Solution d'hydrochlorite de sodium à 2° chlorométriques : à partir de l'eau de javel commerciale.

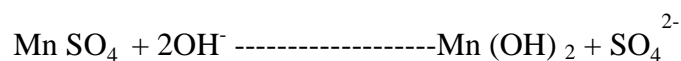
- **Mode opératoire :**

Dans un tube à essais mettre 20 ml d'échantillon, 2 ml de la solution complexant et 0,5 d'eau de javel et agiter bien l'échantillon. Porter l'échantillon à l'obscurité pendant 1 heure. La lecture se fait à l'aide d'un colorimètre à 625 nm (ANRH, 2007).

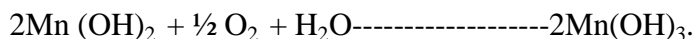
➤ **Oxygène dissous (O_2) :**

- **Principe :**

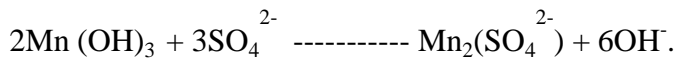
En milieu alcalin, le sulfate manganoux précipite à l'état d'hydroxyde manganoux. Celui-ci est oxydé par l'oxygène dissous en hydroxyde manganite (ANRH, 2007).



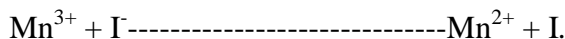
Chapitre 03 : Matériel et méthodes



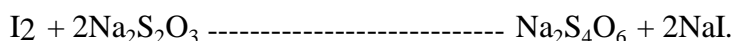
En milieu acide, l'hydroxyde manganique donne un sel manganique :



Qui oxyde l'iodure de potassium en iode :



L'iode formé est dosé par du thiosulfate de sodium titré :



- **Appareillage :**

- Flacon de 125 à col rodé ;
- Pipette ;
- Agitateur ;
- Erlen.

- **Réactif :**

- Solution de sulfate manganoux : $(\text{MnSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ g}$
Eau distillée = 1 L.
- Réactif à l'iodure de potassium : Iode de potassium = 150 g Soude = 500 g
Azoture de sodium = 10 g Eau distillée = 100 ml
- Indicateur à l'empois d'amidon ;
- Solution mère de thiosulfate de sodium 50 ml : $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3, 5\text{H}_2\text{O}$ 124 g
Eau distillée bouillie et refroidie 1L Chloroforme (pour conservation) 5 ml
- Solution fille de thiosulfate de sodium 12,5 ml : Solution mère 25 ml
Eau distillée bouillie et refroidie 1 L Chloroforme (pour conservation) 5 ml
1 ml de solution correspond à 1 mg/l d'oxygène dissous
- Solution d'iodate de potassium 10 ml ;
- Solution d'iode de potassium 60 ml ;
- Acide sulfurique au 1/5.

- **Mode opératoire :**

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

Remplir complément avec l'eau à analyser, un flacon de 125 ml à col rodé. Ajouter rapidement, à l'aide d'une pipette plongeant sous la surface du liquide 1 ml de sulfate manganéux et 1 ml de réactif à l'iodure de potassium. Reboucher sans emprisonner de bulles d'air et agiter. Quand le précipité formé s'est déposé, introduire de la même manière 2 ml d'acide sulfurique dilué au 1/2 et agiter. Quand tout le précipité s'est dissous, prélever 103 ml de la solution (3 ml pour tenir compte au volume d'eau déplacé par les réactifs) et les mettre dans un Erlen. Doser l'iode formé par la solution de thiosulfate 12,5 ml. Ajouter d'abord le thiosulfate jusqu'à obtention d'une couleur jaune clair, puis ajouter 5 ml d'indicateur à l'emploi d'amidon. Continuer le titrage jusqu'à décoloration complète (ANRH, 2007).

• Calcul :

Chaque équivalent de I_2 a été formé par un équivalent de O_2 dissous. Au point équivalent, on a en équilibre :

$$\left\{ \begin{array}{l} 100 \text{ ml d'échantillon de titre } X \text{ en } I_2, \text{ donc en } O_2 \text{ dissous } V \text{ ml de thiosulfate de titre } T \\ 100 \times X = V \times T \end{array} \right.$$

L'échantillon contient donc $X = VT/100$ équivalent/ titre de O_2 dissous, soit :

$$800 \times VT/100 =$$

$$\text{Si } T = 12,5 \text{ ml,}$$

L'expression

$80 VT \text{ mg/l d}'O_2 \text{ dissous}$
--

$V \text{ mg/l d}'O_2 \text{ dissous}$ devient

➤ Dosage des phosphates (PO_4^{3-}) :

• Principe :

En présence d'une solution acide de molybdate d'ammonium, les phosphates donnent un complexe jaune, le complexe phosphovanadomolybdique (ANRH, 2007).

• Appareillage :

- Matériel courant de laboratoire ;
- Etuve ;
- Colorimètre.

• Réactif :

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

- Solution de molybdate d'ammonium 25 g/l
- Solution d'acide ascorbique 2,5 ou bien 250 ml

- **La gamme :**

- Solution mère de phosphate :

10 ml d'hydrogénophosphate de potassium K_2HPO_4 dans un litre d'eau distillée

Solution étalon : présenté dans le tableau (15).

Tableau 15 : Préparation des solutions étalons (ANRH, 2007).

Concentrations mg/l	Volume de solutions mères (ml) dans 1 L d'eau distillée	Volume de solution mère (ml) dans 500 ml d'eau distillée
0	0	0
0,5	50	25
1	100	50
1,5	150	75
2	200	100
3	300	150
4	400	200
5	500	250

Mode opératoire :

Dans un tube à essai mettre 20 ml d'échantillon et ajouter 3 ml de molybdate d'ammonium et 1 ml d'acide ascorbique. Porter la solution dans une étuve à 105 °C pendant 10 min et en lire dans le colorimètre à 825 nm (ANRH, 2007).

➤ **La demande biochimique en Oxygène (DBO5) :**

- **Principe :**

La mesure de DBO avec le système Oxitop est basée sur le principe de pression (mesure par différence). La mesure est faite par mesure de pression par sondes de pression électriques piezo résistantes (ANRH, 2007).

- **Appareillage :**

- Système de mesure Oxitop
- Etuve
- Flacon d'échantillon brun (volume nominal 510 ml)

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

- Matériel courant de laboratoire.

- **Réactif :**

Inhibiteur de bactéries nitrifiantes.

- Solution de soude NaOH

- Solution d'échantillon 432 ml

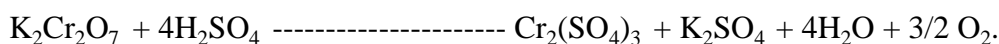
- **Mode opératoire :**

Prendre 432 ml de l'échantillon dans la fiole jaugée et transvaser dans la bouteille teintée en ajoutant 3 à 4 gouttes d'inhibiteur, ensuite on introduire la tige magnétique. Insérer le creuset noir dans le goulot de la bouteille et mettre 2 postilles de soude (NaOH) dans le creuset. On visse le « système de mesure Oxitop » directement sur la bouteille. Pour démarrer la mesure on appuie simultanément sur les touches S et M jusqu'à ce que l'affichage marque 00. On conserve pendant 5 jours à l'obscurité et à 20 °C dans l'incubateur. Pour lire la mesure de la DBO5, on retire la bouteille avec le système Oxitop. En appuyant sur la touche M, on lit la valeur de la DBO5 (ANRH, 2007).

➤ **La demande chimique en Oxygène (DCO) :**

- **Principe :**

En milieu acide, le bichromate de potassium oxyde les matières organiques.



On fait agir un excès de bichromate de potassium en milieu acide sur l'échantillon étudié, puis on dose à l'aide de sulfate ferreux l'excès de bichromate (ANRH, 2007).

- **Appareillage :**

- Matériel courant de laboratoire.

- **Réactif :**

- Acide sulfurique concentré ;

- Solution de sulfate d'argent : 6,6 g de Ag_2SO_4 dans un litre d'acide sulfurique ;

- Sulfate mercurique HgSO_4 en cristaux ;

- Solution de sulfate ferreux environ 25 ml ;

- Solution de sulfate ferreux environ 25 ml

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

- Solution de bichromate de potassium 25 ml (la solution précédente diluée dix fois, utilisée pour des DCO présumées inférieures à 50 mg/l d'O₂).
- Solution de féroïen.

- **Mode opératoire :**

Mettre dans un ballon à col rodé de 50 ml ; 25 ml de bichromate de potassium, 35 ml d'acide sulfurique concentré, 5 ml de solution de sulfate d'argent, 1 pincé de sulfate mercurique représentant environ 0,1 g et quelques billes de verre pour régulariser l'ébullition. Laisser refroidir et ajouter la prise d'essai : 15 à 25 ml. Ajouter le complément à 25 ml de la prise d'essai en eau distillée de telle sorte que la concentration de l'acide sulfurique soit de 50 % en volume lors de l'ébullition. Adapter le réfrigérant au ballon (pas de graisse sur les rodages, mais deux gouttes d'acide sulfurique) et laisser bouillir deux heures. Laisser refroidir et étendre à 300 ml avec de l'eau distillée. Ajouter quelques gouttes de féroïen et titrer l'excès de bichromate par la solution de sulfate ferreux, la coloration passe du vert au rouge-brun. Si la solution vire au rouge-brun sans ajouter de sulfate ferreux, recommencé en diminuant la prise d'essai.

- **Essai à blanc :**

Effectuer un essai à blanc, en remplaçant la prise d'essai par 50 ml d'eau distillée.

- **Titration du sulfate ferreux :**

Dans un erlen de 500 ml, diluer 20 ml de bichromate de potassium à 200 ml environ avec de l'eau distillée. Ajouter 60 ml d'acide sulfurique concentré et laisser refroidir. Ajouter quelques gouttes de féroïen et titrer par le sulfate ferreux.

T (titre de sulfate ferreux) = volume de bichromate/ volume de sulfate ferreux. Répéter cette opération chaque jour.

- **Calcul**

Au point équivalent, se trouvent en équilibre :

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

Tableau 16 : Les équations correspondantes pour la calcule du DCO dans l'échantillon et dans le témoin (ANRH, 2007).

	Oxydant	Réducteur	Equation correspondante
Dans l'échantillon	15 ml de bichromate de titre 25 ml	V1 ml de Fe ₂ SO ₄ de titre T et PE ml d'échantillon de titre n en matière réducteur	15×25 = (PE× n) + 'V1× T)
Dans le témoin	15 ml de bichromate de titre 25 ml	V0 ml de FeSO ₄ de titre T	15× 25 = V0× T

- D'où : $(PE \times n) + (V1 \times T) = V0 \times T$

- et $n = T (V0 - V1) / PE$.

- Un litre d'échantillon consomme n équivalent de bichromate, donc d'oxygène, soit : $(n \times 8000)$ mg d'O₂ (ANRH, 2007).

$$D.C.O = [800 \times T \times (V0 - V1)] / PE \text{ mg/l d'O}_2.$$

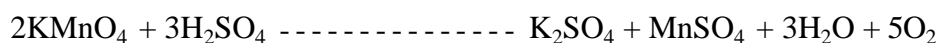
Dosage de la matière organique (MO) :

La matière organique est mesurée par l'oxydabilité au permanganate qui consiste en l'oxydation modérée par le permanganate des matières réductrices dans l'eau. Le permanganate oxyde de préférence les matières organiques d'origine végétale en milieu acide et celles d'origine animale en milieu basique. Or celle-ci sont les plus susceptibles d'indiquer une pollution humaine ou animale, donc une eau dangereuse pour la consommation. Une eau est suspecte à partir de 2 à 3mg d'oxygène consommé par litre d'eau en milieu alcalin, ou 3 à 5 mg en milieu acide (ANRH, 2007).

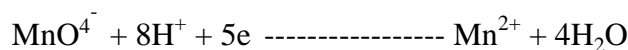
- **Principe :**

Oxydation en milieu acide :

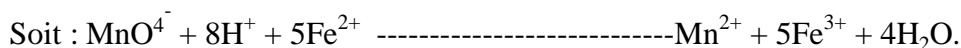
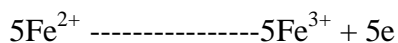
On oxyde l'échantillon par un excès connu de permanganate de potassium, en milieu acide et à chaud :



Le permanganate n'ayant pas réagi est réduit par un excès connu de sulfate ferreux ammoniacal :



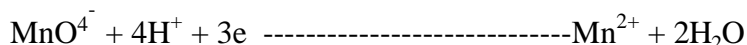
Chapitre 03 : Matériel et méthodes



L'excédent de sulfate ferreux est titré par le permanganate. La réaction étant incomplète, la reproductibilité des résultats est particulièrement sensible à la rigueur des conditions opératoires. Le degré d'oxydation des matières organiques dépend du rapport des concentrations du permanganate MnO_4^- et de sa forme réduite Mn^{2+} . On rend ce rapport pratiquement constant en diluant la prise d'essai, de telle sorte que la quantité de permanganate introduite soit en net excès par rapport à celle du permanganate consommé. L'expérience a montré que le permanganate consommé ne devait pas excéder les 20% du MnO_4^- introduit, pour obtenir des valeurs reproductibles.

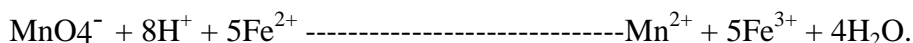
Oxydation en milieu basique :

On oxyde l'échantillon par un excès connu de permanganate dilué en milieu faiblement basique et à chaud :



Après oxydation, on refroidit et on se replace en milieu acide avant d'ajouter un excès connu de

sulfate ferreux ammoniacal. Celui-ci réduit le permanganate n'ayant pas réagi :



L'excédent de sulfate ferreux est titré par le permanganate. Les observations précédentes s'appliquent en milieu basique.

• Réactifs :

- Solution d'acide sulfurique
- Solution de permanganate de potassium à N/20 : 1,58 de permanganate de potassium dans un Litre d'eau distillée.
- Solution de permanganate de potassium à N/80 : verser 250 ml de permanganate de potassium dans une fiole de 1 Litre et jauger
- Solution de sulfate ferreux ou sel de MOHR N/80 :
 - 4,9 g de sulfate ferreux $\text{Fe SO}_4 (\text{NH}_4) 2\text{SO}_4 6\text{H}_2\text{O}$

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

- 5 ml d'acide sulfurique concentré
 - 1L d'eau distillée.
- Solution de bicarbonate de sodium à 10% (10 grammes dans 100 ml H₂O) (ANRH, 2007).

- **Mode opératoire :**

Milieu acide :

On a met dans un erlen de 500 ml, 100 ml d'eau à analyser à l'aide d'une fiole de 100 ml ensuite on a ajouté 10 ml d'acide sulfurique au milieu avec une pro-pipette et une pincée de HgSO₄ afin de masquer la présence des ions chlorures. On a chauffé et au début de l'ébullition on a ajouté 10 ml de KMnO₄ N/80. On a continué l'ébullition pendant 10 min exactement (s'il y a décoloration il faut diluer l'échantillon). On a refroidisse rapidement le mélange et on a ajouté 20 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80. On a dosé l'excès de sulfate ferreux par du permanganate N/80 (soit V₁ le volume de permanganate trouvé).on a procédé de la même manière avec un témoin d'eau distillée sans ajouter HgSO₄ (soit V₂ le deuxième volume de permanganate).

M.O en mg O₂/l= (V₂-V₁) ne pas oublier le facteur de dilution s'il y a lieu

Dans les cas où on a trouvé M.O > 3,5 mg O₂/l, on a recommencé la dilution de l'échantillon.

Milieu basique :

On a met dans un erlen 100 ml d'eau à analyser ensuite 5 ml de solution à 10% de bicarbonate de sodium et on a porté le mélange à l'ébullition. On a ajouté ensuite 5 ml de permanganate N/20 et on l'a maintenir à l'ébullition pendant 10 min exactement (si il y a décoloration il faut diluer l'échantillon). Et puis on a refroidi rapidement le mélange et on a ajouté 5 ml d'acide sulfurique au milieu puis 20 ml de sulfate ferreux ammoniacal N/80 de titre exact. Enfin, on a dosé l'excès de sulfate ferreux par du permanganate N/80 de titre exact (soit V₀ le volume de permanganate trouvé). On a procédé de la même manière avec un témoin d'eau distillée (soit V le deuxième volume de permanganate. On a utilisé la même dilution qu'en milieux acides.

M.O en mgO₂/l= 35 (V- V₀) = 0,6 (V-V₀) en oubliant pas le facteur de dilution s'il y a lieu (ANRH, 2007).

- **Calculs :**

Chapitre 03 : Matériel et méthodes

A) Oxydabilité en milieu acide

Au point équivalent, se trouve en équilibre :

Tableau 17 : Les équations de la calcul du dosage de la matière organique dans l'échantillon et dans le témoin (ANRH, 2007) :

	Oxydant	Réducteur	Equation correspondante
Dans l'échantillon	10 ml de MnO_4^- N/80 + V1 ml de MnO_4^- N/80	100ml d'échantillon de titre X exact en matières réductrices + 20 ml de sulfate ferreux N/80	$(10 * 1/80) + (V_0 * 1/80)$ $= (100 * X) + (20 * 1/80)$
Dans le témoin	10 ml de MnO_4^- N/80 + V2 ml de MnO_4^- N/80	100 ml d'eau distillée + 20 ml de sulfate ferreux N/80	$(5 * 1/20 + (V * 1/80)$

D'où : $(20 * 1/80) = (10 * 1/20) + (V_1 * 1/80) - (100 * X) = (5 * 1/20) + (V_2 * 1/80)$ (ANRH, 2007).

Chapitre 4 :
Hydrochimie et pollution

Hydrochimie et pollution

Introduction :

Ce chapitre touche l'étude hydrochimique et pollution des eaux, qui permettent d'évaluer la qualité des eaux par la détermination des caractéristiques physiques et chimiques, leur classement selon le chimisme qu'elles présentent, et d'orienter leur pollution.

Cette étude est basée sur les travaux de nos prédécesseurs notamment les travaux de **Ramdani.A, (1996)** et de **Hani.A, (2003)** pour les eaux superficielles et les résultats d'analyses physico-chimiques des quelques forages fournies par la direction des ressources en eau (DRE) d'El-Tarf pour les périodes (2004 et 2010) des basses eaux qui correspondents au mois de septembre et des hautes eaux qui correspondents au mois de Mai (2004-2010).

1. Qualité des eaux de surfaces :

Les eaux de surface influencent beaucoup la qualité des eaux souterraines de la nappe de Bouteldja qui s'alimente en majeure partie de cette eau superficielle. Donc il est nécessaire d'avoir un aperçu sur la qualité de ces eaux. De plus, nous nous intéressons à la qualité des eaux des marais, des eaux de pluies ainsi que les eaux de l'Oued El-Kebir-est qui traverse en surface la nappe.

1.1 Les Eaux de pluie :

Les eaux de pluies en période des hautes eaux de 1993 à Bouteldja montre un faciès bicarbonaté-magnésocalciques, assez proches des eaux souterraines en période de hautes eaux et les éléments HCO_3^- et Ca^{+2} sont les plus dominants. **Ramdani. A, (1996), Hani, (2003)** expliquent qu'en période pluvieuse, l'influence des eaux de pluie sur le chimisme des eaux souterraines est plus importante que celle du type des sols.

En période de basses eaux, le temps de séjour, plus long qu'en période de hautes eaux, qui régit le contenu chimique des eaux souterraines par l'apport des sulfates et surtout des chlorures. **Hani.A, (2003)**

1.2 Eaux des marais de Mekrada :

D'après les études de **Ramdani. A, (1996)** le chimisme des marais de Mekrada favorise la modification des teneurs en éléments chimiques qui peuvent donc constituer un front de pollution pour l'aquifère de Bouteldja notamment dans le cas où il se produit une modification du sens de l'écoulement induite par des pompages excessifs. Et **Hani. A, (2003)** indique les eaux du marais sont de type chloruré sodique avec des proportions identiques en

calcium, le magnésium, sulfates et les bicarbonates. **Hani. A, (2003)** ajoute que les eaux de Mekrada sont salées qui semble être liée à la proximité de la mer Méditerranée et son influence par l'intermédiaire du réseau hydrographique représenté par l'oued Mafragh et par la nature lithologique de la zone à texture argileuse salée.

1.3 Eaux de l'Oued Kebir :

L'oued Kébir est considéré parmi les exutoires naturels de la nappe pouvant jouer un rôle de drainage ou d'alimentation. Il a fait l'objet d'une série d'analyse de 1975 à 1990, ayant pour objectif principal la détermination des caractéristiques chimiques des eaux qu'elles véhiculent et dont le chimisme apporte des modifications surtout au niveau des forages situés aux bords de l'oued. Une analyse en composantes principales effectuée sur les données relatives à l'oued Kébir a permis de mettre en évidence une relation très étroite entre les éléments chimiques et le régime du cours d'eau. **Ramdani .A, (1996)**.

Durant la période des hautes eaux, c'est le processus de dilution qui fait baisser les concentrations. A l'étiage, par contre, c'est le processus de concentration des sulfates, magnésium et un degré moindre le calcium induit par la baisse du flux de l'oued. (**Assassia.F, Hani et Djabri. 2004**).

2. Qualité des eaux souterraines

2.1 Paramètres physiques (température, pH conductivité et résidu sec) :

Les travaux de campagne hydrochimique de la DRE d'El-Taref en 2011 montrent que, les eaux souterraines du massif dunaire sont caractérisées par des températures qui varient entre 17°C à 22.5°C avec une moyenne de près de 20°C, un pH qui oscille entre 6 à 7 qui reflètent le pH des eaux souterraines en générale et des valeurs de conductivité sont comprises entre 130 $\mu\text{s/cm}$ à 288 $\mu\text{s/cm}$ qui montrent clairement que ces eaux sont d'une minéralisation faible à accentuée. En ce qui concerne le résidu sec, il varie entre 50 mg/l à 130 mg/l, pour les zones au Sud, la nappe présente une bonne perméabilité avec un écoulement rapide et un échange réduit entre l'eau et l'encaissant et entre 130 mg/l à 290 mg/l pour des zones proche du la mer méditerrané

2.2 Paramètres chimiques :

Les résultats d'analyses par l'outil DIAGRAMME, des campagnes hydrochimiques de la DRE d'El-Tarf 2004 et 2010 en période des basses et des hautes eaux, reportés sur les diagrammes de piper et de Schoeller-Berkaloff, permettent de déterminer les faciès chimiques des eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja, mais aussi de comparer les eaux entre

elles, et de les classer en familles chimiques.

2.2.1 Paramètres physiques (température, pH conductivité et résidu sec) :

Les travaux de campagne hydrochimique de la DRE d'El-Taref en 2010 montrent que, les eaux souterraines du massif dunaire sont caractérisées par des températures qui varient entre 17.5°C à 22.5°C avec une moyenne de près de 20°C, un pH qui oscille entre 6 à 7 qui reflètent le pH des eaux souterraines en générale et des valeurs de conductivité sont comprises entre 130 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 287 $\mu\text{s}/\text{cm}$ qui montrent clairement que ces eaux sont d'une minéralisation faible à accentuée. En ce qui concerne le résidu sec, il varie entre 50 mg/l à 130 mg/l, pour les zones au Sud, la nappe présente une bonne perméabilité avec un écoulement rapide et un échange réduit entre l'eau et l'encaissant et entre 130 mg/l à 290 mg/l pour des zones proche du la mer méditerranée.

2.2.2 Paramètres chimiques :

Les résultats d'analyses par l'outil DIAGRAMME, des campagnes hydrochimiques de la DRE d'El-Tarf 2004 et 2010 en période des basses et des hautes eaux, reportés sur les diagrammes de piper et de Schoeller-Berkaloff, permettent de déterminer les faciès chimiques des eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja, mais aussi de comparer les eaux entre elles, et de les classer en familles chimiques.

➤ Période 2004 des hautes eaux et des basses eaux (Figure.V.1-2-3-4)

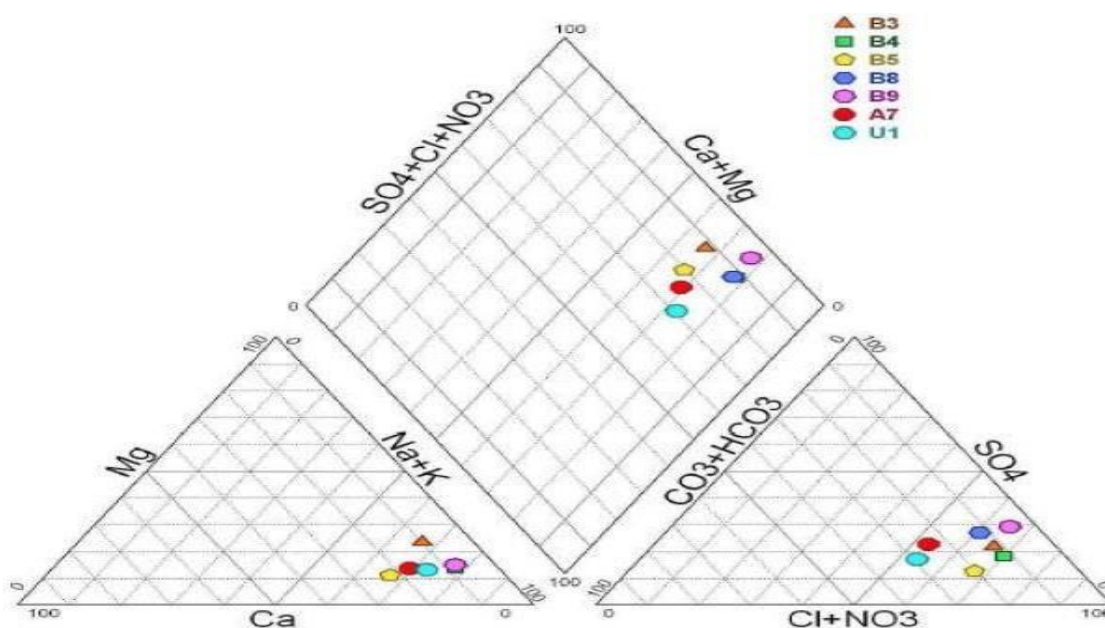


Figure.V.1. Diagramme de Piper des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2004)

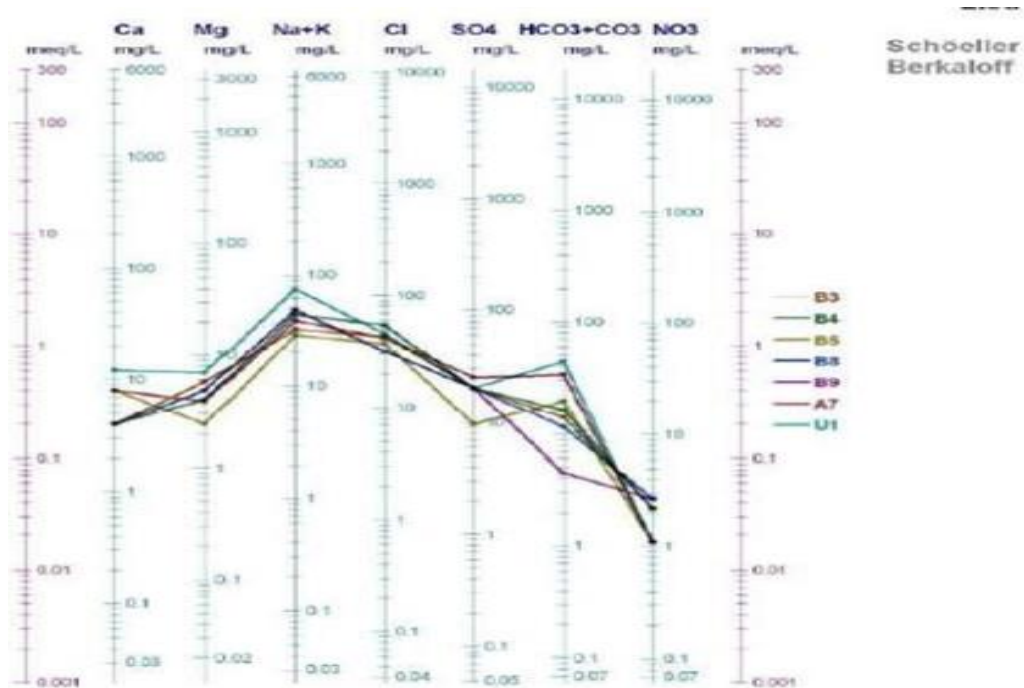


Figure.V.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2004)

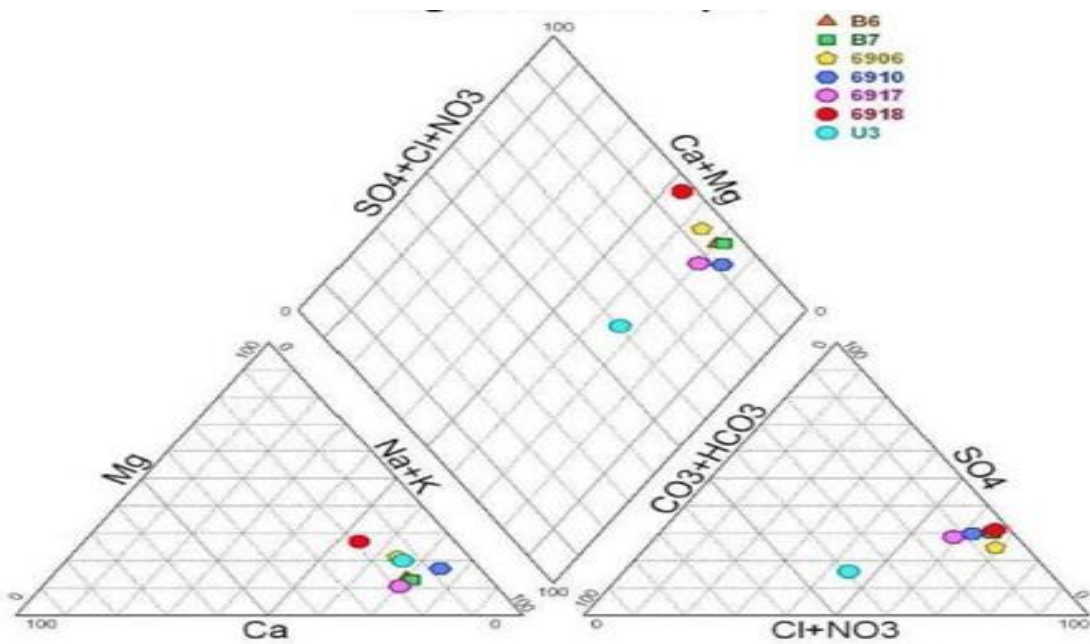


Figure.V.3. Diagramme de Piper des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des basses eaux (Septembre 2004)

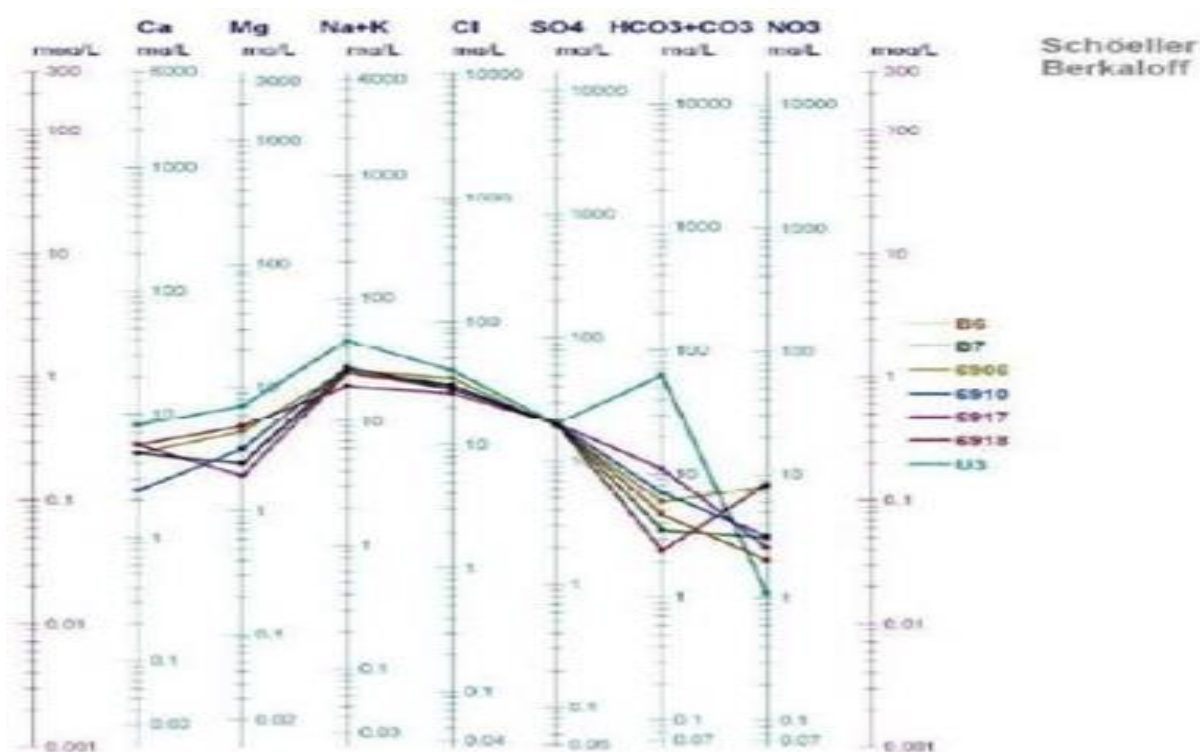


Figure.V.4. Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des basses eaux (Septembre 2004)

❖ Période 20110 des hautes et des basses eaux (Figure V.5-6-7-8) :

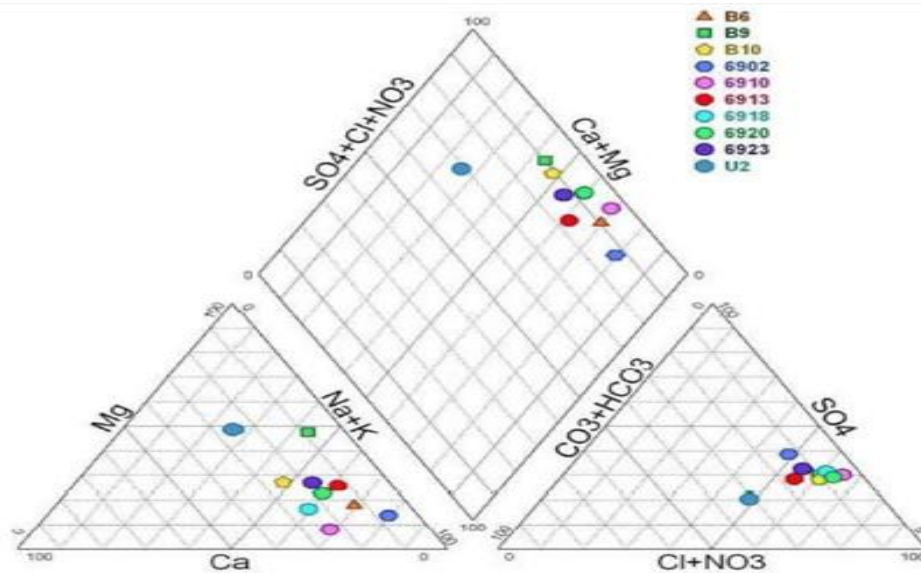


Fig 5 : Diagramme de Piper et des eaux de la nappe du Massif dunaire Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2010).

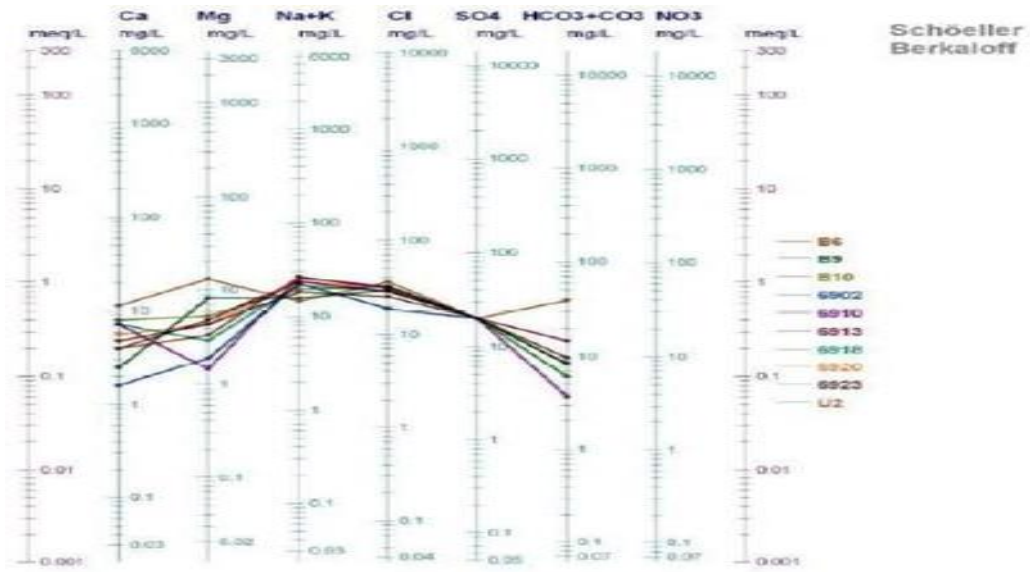


Fig 6 : Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du Massif dunaire Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2010).

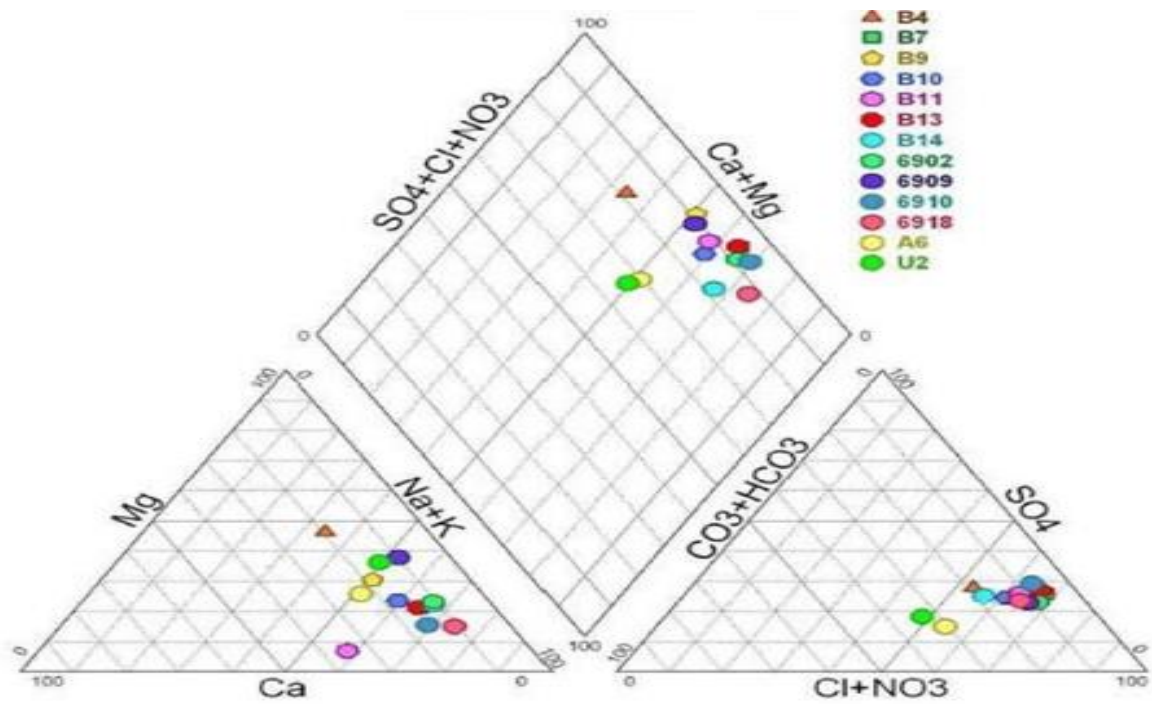


Fig. 7 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe période des basses eaux (Septembre 2010).

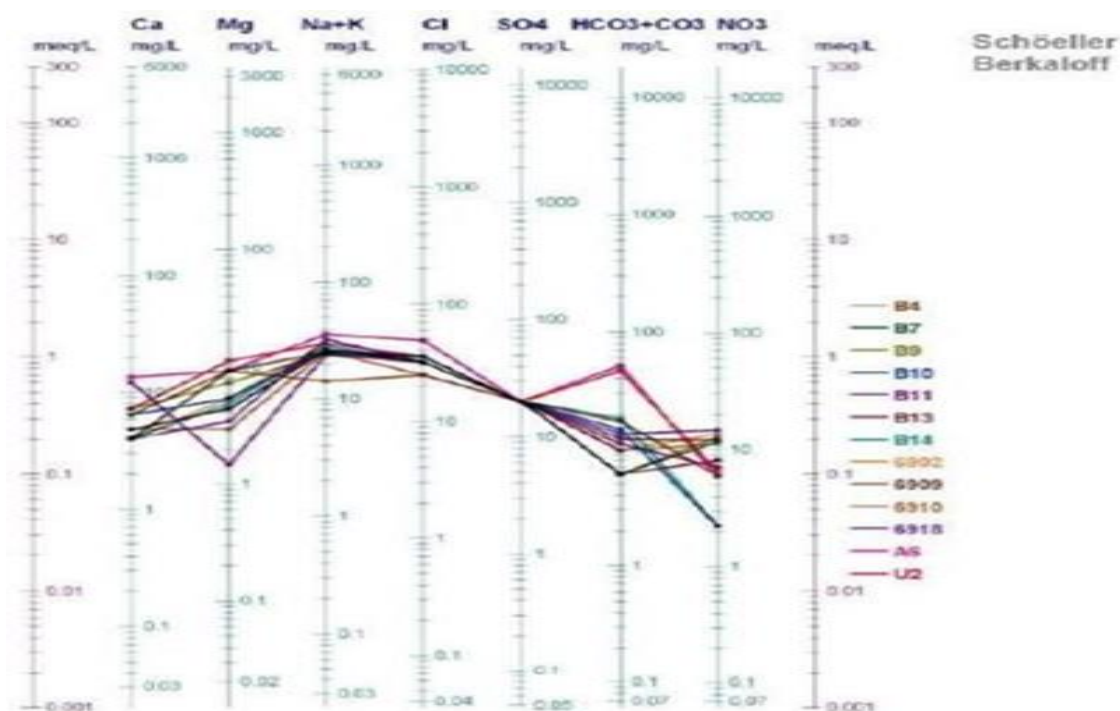


Fig. 8: Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe période des basses eaux (Septembre 2010).

2.2 Interprétation des résultats Tableau.V.1 :

Tableau.V.1 : Formules ioniques et faciès chimiques des eaux du massif dunaire.

Forages	Formule ionique	Période	Faciès chimique
B3, B4, B5, B8, B9, A7 et U1.	$r\%Cl^- > r\%SO_4^- > r\%HCO_3^-$, $r\%(Na^+ + K^+) > r\%Mg^{2+} > rCa^{2+}$	Hautes eaux 2004.	Chloruré-sodique.
B6, B7, 6906, 6910, 6917, 6918 et U3.	$r\%Cl^- > r\%SO_4^- > r\%HCO_3^-$, $r\%(Na^+ + K^+) > r\%Mg^{2+} > r\%Ca^{2+}$	Basses eaux 2004	Chloruré-sodique.
B6, B9, B10, 6902, 6910, 6913, 6918, 6920, 6923 et U2.	$r\%Cl^- > r\%SO_4^- > r\%HCO_3^-$, $r\%(Na^+ + K^+) > r\%Mg^{2+} > r\%Ca^{2+}$	Hautes eaux 2010.	Chloruré-sodique.
B4, B7, B9, B10, B11, B13, B14, 6902, 6909, 6910.	$r\%Cl^- > r\%SO_4^- > r\%HCO_3^-$, $r\%(Na^+ + K^+) > r\%Mg^{2+} > r\%Ca^{2+}$	Basses eaux 2010	Chloruré-sodique.

D'après la formule ionique et les diagrammes de Piper et de Schoeller Berkaloff, la majorité des eaux ont une dominance en chlorures (Cl^-) et en Sodium (Na^+), ce qui lui confère un faciès chlorurée sodique durant le deux période 2004, 2010 et dans les hautes et basses eaux.

Chapitre 4 : Hydrochimie et pollution

Toute fois on remarque aussi des faciès chimiques secondaires.

L'origine de ce faciès est peut être liée à plusieurs facteurs, donc la présence dans tel aquifère sableux perméable est due probablement aux précipitations, et à l'influence de l'embrun marin sur le sable, au lessivage des formations lithologiques avec un apport en sulfates provenant principalement du gypse et de l'anhydrite spécialement dans les marais. Sans oublier l'influence des rejets eaux usées domestiques avec des apports en nitrates et les nitrites.

Quelques origines de la pollution des eaux de la nappe de Bouteldja (Tableau V.2): Dans notre zone d'étude nous énumérons plusieurs activités qui sont pratiquées et qui causent des dégâts considérables sur les eaux souterraines. Ces activités sont combinées à l'avancée.

✚ Différents rejets d'eau usée :

Le **tableau V.2**, montre quelques principaux rejets dans la région d'étude avec leurs différents débits d'eaux usées.

Tableau.V.2 : Les différents débits d'eaux usées rejetés (Source différentes APC de la wilaya d'El Tarf 2005. (Bahroun. S, 2005).

Numéro du rejet	Localisation du rejet	Débit d'eau usée
R 01	Guergour (El Tarf +Guergour+ Matroha+ AinKhiar + Sidi Belgacem)	$52,14+14,53+25,34+21,02+14,68=127,71$ l/s
R 02	Ain Assel (Rokaba + Ain Assel + Boutela Abdallah)	$5,98+44,13+18,36=68,47$ l/s
R 03	Lac des oiseaux	30.56 l/s
R 04	Bouteldja Est	$79,10-9,31= 69.79$ l/s
R 05	Bouteldja Ouest	9.31 l/s
R 14	Asfour	67.62 l/s
R 15	Ben M'hidi	93,92 l/s
R 16	Sidi Kassi	40,39 l/s
R 19	Berrihane	20,45 l/s
R 20	Sabaa	9,88 l/s
R 32	Usine de conserve de tomate Bouteldja	22.22 l/s

✚ Pollution urbaine :

Elle est représentée par les rejets urbains de la région d'étude, qui sont déversés sans traitement préalable dans l'Oued Kébir Est et l'Oued Bounamoussa. Les eaux usées domestiques contiennent des particules minérales, des bactéries fécales, des matières organiques, des produits toxiques, des quantités importantes d'azote et de phosphore, ainsi que d'autres produits. Ils sont liés aux rejets des agglomérations par les réseaux

d'assainissements.

Ces apports sont caractérisés par de fortes teneurs en DBO5 et en nitrites (NO₃) ainsi que des faibles valeurs en oxygène dissous, déversés directement dans les cours d'eaux, Issues en majorités de l'utilisation des produits détergents, aux déchets défécation.

Pollution agricole

Cette pollution est liée essentiellement à : L'existence de plusieurs fermes pratiquant divers types d'élevages, à l'utilisation intensive des engrais et de pesticides riches en Nitrites (NO₃)

Phosphates (PO₄⁻³) et Sulfates (SO₄⁻²). Ces derniers produisent une lixiviation riche en azote (organique ou ammoniacal) qui est véhiculé par les eaux de ruissellement après épandage et rejoint les eaux de surfaces par écoulement.

Les rejets agricoles contiennent plusieurs types de polluants : des matières organiques, des éléments nutritifs (N.P), des métaux lourds, des pesticides et des micro-organismes.

Pollution industrielle

L'industrie dans la zone d'étude est caractérisée par quelques entreprises agroalimentaires. Elles rejettent une eau chargée en composées organiques dissous et en suspensions, des graisses, et des composées phosphorés et azotés. Caractérisés par une grande diversité de la composition chimique, où l'on observe de nombreux polluants chimiques avec des concentrations différentes d'un rejet à un autre.

L'unité du concentré de tomate de Bouteldja rejette une valeur de fer de 2,01 mg/l. Tous ces rejets (urbains et industriels) présentent un danger pour la qualité des eaux.

Les différents polluants et les débits élevés des rejets nécessitent une étude de ses différents points dans les cours d'eaux.

La surexploitation de la nappe :

La nappe du massif dunaire de Bouteldja est très sollicitée pour divers utilisations, principalement pour l'AEP (Alimentation en eau potable), suite à la croissance démographique avec l'augmentation de la demande, qui alimente les communes de la wilaya d'El-Taref mais aussi celles de la wilaya d'Annaba.

Conclusion :

Les eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja présentent une température moyenne de près de 20° C, un pH de 6 à 7 qui reflètent le pH des eaux souterraines en générale avec une minéralisation faible à accentuée.

Le facies chimique est chloruré sodique, influencé par les eaux de la mer méditerranée, les eaux superficielles principalement les précipitations et le lessivage des formations lithologiques avec un apport en sulfates provenant principalement du gypse et de l'anhydrite spécialement dans les marais

La qualité des eaux est grandement touchée par toutes les activités anthropiques pratiquées dans la zone d'étude ces activités sont principalement, industrielles, urbaines avec les rejets domestiques liquides et solides et agricole combinées à l'avancée du biseau salée mais aussi aux effets de la nature lithologique de aquifère et des sols et aux changements climatiques en ascension progressive spécialement durant les dernières années

.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'étude approfondie du sous-bassin versant de Mafragh, situé dans la wilaya d'El Tarf, a permis de mettre en évidence la complexité de son système hydrologique et hydrogéologique. Ce territoire, riche en zones humides et en formations géomorphologiques variées, présente une grande vulnérabilité face à la pollution des eaux souterraines, particulièrement au niveau de l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja. L'analyse morphométrique a révélé une forme allongée du bassin, des zones de relief contrasté et une densité de drainage significative.

L'étude hydrochimique, fondée sur des analyses de terrain et des données historiques, a permis de caractériser les eaux souterraines par un faciès chloruré-sodique, signe d'une minéralisation influencée à la fois par les conditions naturelles (proximité marine, composition lithologique) et anthropiques (rejets urbains, agricoles et industriels). La surexploitation de la nappe accentue les déséquilibres et augmente le risque de salinisation.

En conclusion, il apparaît crucial d'instaurer une gestion intégrée et durable de cette ressource, en mettant en place des mécanismes de surveillance continue, de traitement des rejets et de protection de la recharge naturelle de la nappe, tout en sensibilisant les usagers à la fragilité de ce patrimoine hydrique.

Bibliographie et Références

Bibliographie et références

- Aller et Al, 1987 :** Une étude de la méthode DRASTIC en mettant l'accent sur les conditions sur les conditions suédoises (Grounds water) " 278p-285p.
- Aller et Al, 1987:** DRASTIC: a standardised system for evaluating groundwater pollution potential using hydrologic settings. Us EPA report, 600/2-87/035. Robert s. Kerr environmental research laboratory, ADA, 641 p.
- Aoun sebaiti .B, 2010 :** Gestion optimal de la ressource e eau d'une nappe côtière, application à la plaine d'Annaba (Nord- Est algérien) "thèse de doctorat, université de Lille 1, science et technologie .211p .
- Assassia. F., Hani L. Djabri , 2004 :** évolution chimique et vulnérabilité à la pollution de l'aquifère dunaire de Bouteldja (nord-est algérien) ». 8p
- Aubre et al, 1990 :** revue de littérature sur les méthodes d'évaluation des risques de contamination des eaux souterraines. rapport ggl-90-21 présenté à Hydro-Québec, vice-présidence environnement. groupe de recherche en géologie de l'ingénieur, département de géologie, Université. Laval. 109p.
- Bahroum .S , 2005 :** Objectifs environnementaux de rejet pour les polluants dans le milieu récepteur et optimisation du pouvoir auto-épurateur : cas de l'oued kebir est (Nord -Est algérien)" thèse doctorat en sciences Université Badji Mokhtar-Annaba. 163p.
- Banton .O et J.P.Villeneuve, 1987 :** Développement d'un outil simple et adaptable pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la contamination par les pesticides", rapport scientifique INRS-eau (233a), université du Québec, novembre 1987, 56 p
- Bourbia. H, 2011 :** faisabilité de l'implantation de bassins d'alimentation d'un aquifère, cas du massif dunaire de Bouteldja (extrême N-S algérien) "thèse de magister, université de Badji Mokhtar –Annaba .155p.
- Castany .G et Margat, (1977) :** Dictionnaire français d'hydrogéologie, géologie minière "249p.
- Débieche .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 doctorat 235p. U. F. R. des sciences et techniques de l'université de franche.
- Douyemi .A ; Khelaifa. S, 2015 :** Evaluation de la vulnérabilité a la pollution d'une nappe en milieu humide et comparaison des méthodes appliquées : cas de la nappe libre d'El Tarf (Nord-Est Algérien. "mémoire de master, université Hama Lakhdar d'el-oued. 112p
- Fellah .R, 1998 :** Bilan et perspectives de gestion des eaux ressources en eau dans le bassin versant de la Mafragh (extrême Nord Algérien), mémoire d'ingénieur en hydrogéologie, faculté des sciences de la terre, université d'Annaba.

Bibliographie et références

BOUKERB.S, 2020 : Vulnérabilité à la pollution de la nappe aquifère du massif dunaire de Bouteldja (El-Taref)