

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques
Département des Sciences Géologiques



MEMOIRE

De fin d'étude

Présenté Pour l'obtention du diplôme du

MASTER

En : Géologie appliquée

Spécialité : Hydrogéologie

Sous le thème :

**Vulnérabilité à la pollution de la nappe aquifère du
massif dunaire de Bouteldja (El-Taref)**

Réalisé Par : Mlle BOUKERB Sophia

Soutenu publiquement, le 25/ 03 / 2021, devant le jury composé de :

M. KARDACHE Farid	MCA, FSBSA/UMMTO	Président
Mme. YAHIAOUI Salima	MAA, DSG/UMMTO	Promotrice
M. DROUCHE Abdelmadjid	MAA, DSG/UMMTO	Examineur
M. HANNACHI Abdenour	Pr, USTHB	Examineur
M. BEHLOULI Larbi	Expert Hydrologue, Pr, INPE	Invité

Promotion : 2019/2020

Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

En premier lieu, nous remercions Dieu, le Tout Puissant de nous avoir donné santé, patience et courage pour mener à terme ce travail.

Mes remerciements vont tout particulièrement à Madame **Salima Yahiaoui**, enseignante-chercheuse en hydrogéologie à (UMMTO/USTHB), pour avoir bien voulu être ma promotrice et à qui je témoigne toute ma gratitude de m'avoir donné la possibilité de faire ce travail ainsi que pour sa disponibilité à toute épreuve, pour toute sa gentillesse et sa patience et qui n'a jamais cessé de me prêter son soutien scientifique et moral. Je la remercie pour ses conseils toujours avisés et décisifs.

Que les **membres du jury** trouvent ici, mes sincères remerciements pour avoir accepté de juger ce modeste travail.

J'adresse ma grande reconnaissance à tous **mes enseignants** du département des sciences géologiques, particulièrement mes enseignants d'hydrogéologie, que je tiens à remercier solennellement.

Nous remercions **M. Kardache F.** de nous avoir introduit auprès de ses contacts à Annaba et nous avoir aidé pour l'acquisitions des données

Mes remerciement vont à **Bahlouli Larbi** , expert hydrologue, ancien cadre du ministère des ressources en eau, responsable des études et de la prévision nationale auprès de l'ANRH, pour ses conseils et suggestion, pour m'avoir aussi fait profiter de ces expériences , et ce malgré la crise sanitaire dont on est sujet actuellement et son dévouement pour me faciliter l'accès dans différents organismes.

Je présente mes vifs Au professeur **Pr. Djabri** de l'Université Badji Mokhtar Annaba (UBMA) pour son aide précieuse, à la collecte de données et son soutien auprès des organismes d'El-Taref, Annaba et de Constantine.

Je tiens aussi à témoigner ma gratitude à tous les membres du personnel de **l'ANRH d'Alger (M. Moulti K, Mme Larbi O, M. Djettou R, Mme Rehali F. ...)** et ainsi que le personnel du ministère **de l'environnement**, je vous suis très reconnaissante des renseignements, de l'accueil dont ils m'avez fait part durant la collecte de données, qui s'est déroulé dans les meilleurs conditions possibles et ce malgré la crise sanitaire dont on est sujet actuellement.

Mes remerciements vont à Monsieur **Rebah Mouhand-Said**, cadre à la SEEAL, pour son soutien et ses conseils.

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à:

Ma chère famille, à ma chère mère et à mon père, essayant ainsi de vous exprimer toute ma gratitude pour tout ce que vous m'avez apporté

Mon frère Sofiane à qui je souhaite réussite et succès dans sa vie

Mon frère Nordine à qui je souhaite réussite au bac et un parcours universitaire fructueux ;

Ma brillante petite sœur Sonia ;

Monsieur Chanane Farid pour ses précieuses orientations et aides ;

A tous mes camarades de la section M2 Hydrogéologie ;

Et a tous mes amis(es) : Arezki, Lamia, Koceila, Aissa, Achour, Louize, Dyhia, Toufik, Hamza à Akli et Thassadhit.

Résumé :

Cette étude traite de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe aquifère du massif dunaire de Bouteldja située dans le sous bassin versant de Mafragh dans la wilaya d'El- Tarf. Cette nappe est surexploitée et se trouve actuellement dans une situation contraignante vis -à- vis les diverses activités anthropiques, qui augmentent de plus en plus en fonction d'un essor économique important dans la région, induisant ainsi la dégradation de la qualité mais aussi de la quantité de ses eaux souterraines.

En effet, l'approche de cette étude est basée sur cette problématique avec l'estimation de la vulnérabilité intrinsèque des pollutions verticales, s'infiltrant de la surface du sol vers la nappe, en utilisant les méthodes d'indexation et de pondération, DRASTIC et GOD, combinée à des méthodes cartographiques de superposition, avec les systèmes d'informations géographiques (SIG) et les modèles géostatistiques.

Les résultats des deux méthodes révèlent, que les eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja présente par endroit des degrés moyen, élevé à très élevé de vulnérabilité à la pollution menaçant ainsi leurs dégradation, qui nécessite des actions et des prises des décisions urgentes pour remédier à cette situation.

Mots clés : Bouteldja, Massif dunaire, Vulnérabilisé, Pollution, Nappe libre, DRASTIC, GOD.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

I.1. Introduction	03
I.2. Situation géographique et administrative de la région d'étude	03
I.2.1. Situation Administrative et Géographique du sous bassin versant de Mafragh.....	03
I.3. Etude du milieu physique et naturel du sous bassin versant de Mafragh.....	05
I.3.1 Principales caractéristiques géomorphologiques du sous bassin de Mafragh.....	05
I.3.1.1. La superficie "A" (Km ²) et Périmètre "P" (Km)	06
I.3.1.2. Indice de compacité de Gravelius (Kc).....	06
I.3.1.3. Dimension du rectangle Equivalent.....	06
I.3.1.4. La courbe et carte hypsométrique	07
I.3.1.5. Les altitudes caractéristiques	09
I.3.2. Etude des pentes	09
I.3.2.1. Indice de pente globale "Ig" (m/Km)	10
I.3.2.2. Dénivelé spécifique Ds (m)	10
I.4. Caractéristiques hydrographique du sous bassin versant de Mafragh	10
I.4.1. Hiérarchisation du réseau hydrographique.....	11
I.4.2. La densité de drainage	13
I.5. Pédologie de la zone d'étude.....	13
I.5.1. Les sols peu évolués d'apport alluvial.....	13
I.5.2. Sols halomorphes	13
I.5.3. Les Vértisols	13
I.6. Occupation du sol	14
I.7. conclusion	15

Chapitre II : Hydroclimatologie

II.1. Introduction.....	16
II.2. Etude de la pluviométrie	17
II.2.1. La pluviométrie moyenne mensuelles.....	17
II.2.2. La pluviométrie moyenne annuelles.....	18
II.3. Etude des Températures.....	18
II.3.1. Température moyenne mensuelle	19
II.3.2. Températures moyenne annuelles période 1990/2010.....	19
II.4. Diagramme Ombrothermique	20
II.5. Indice d'aridité	21
II.6. Estimation de l'Evapotranspiration	22
II.6.1 Estimation de l'Evapotranspiration Potentielle ETPc (mm).....	22
II.6.1.1 Formule de Thornthwaite	22
II.6.1.2. Formule de Serra	22

II.6.2. Estimation de l'Evapotranspiration Réelle ETR (mm).....	23
II.6.2.1. Formule de Turc.....	23
II.6.2.2. Formule de COUTAGNE.....	23
II.6.2.3. Le calcul de l'ETR par Méthode de Thornthwaite	24
II.7. Estimation de l'infiltration avec l'équation du bilan Hydrologique	26
II.8. Estimation du Ruissèlement "R "	26
II.9. Conclusion	27

Chapitre III : Géologie

III.1. Introduction	28
III.2. Situation de la zone d'étude dans les grands ensembles structuraux.....	28
III.3. Description lithostratigraphique.....	28
II.3.1. Le mésozoïque	29
III.3.2. Le Cénozoïque	29
III.3.2.1. Paléogène	29
III.3.2.2. Néogène.....	30
III.3.2.3. Le Quaternaire.....	30
III.4. Etude Structurale.....	33
III.5. Conclusion	34

Chapitre IV : Hydrogéologie

IV.1. Introduction	35
IV.2. Localisation de l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja	35
IV.3. Description hydrogéologiques du l'aquifère du massif dunaire	36
IV.3. 1. Géométrie de l'aquifère	36
IV.3.2. Nature des formations hydrogéologiques	37
IV.3.2.1. Nature lithologique du réservoir du massif dunaire	37
IV.3.2.2. Nature lithologique du substratum de l'aquifère.....	39
IV.4. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe aquifère de Bouteldja.....	40
IV.4. 1. La piézométrie	40
IV.4. 2. La Transmissivité.....	41
IV.4.3. Perméabilité	41
IV.4.4. Coefficient d'emmagasinement.....	41
IV.5. Les zone d'alimentation La nappe des sables dunaires de Bouteldja	42
IV.6. Conclusion	43

Chapitre V : Hydrochimie et pollution

V.1. Introduction.....	44
V.2. Qualité des eaux de surfaces	44
V.2.1. Les Eaux de pluie	44
V.2.2. Eaux des marais de Mekrada	44
V.2.3. Eaux de l'Oued Kebir.....	45
V.3. Qualité des eaux souterraines.....	45
V.3.1. Paramètres physiques (température, pH conductivité et résidu sec).....	45
V.3.2. Paramètres chimiques.....	45
V.3.2.1. Période 2004 hautes eaux basse eau	46
V.3.2.2. Période 2010 hautes et basses eaux	47
V.4. Interprétation des résultats	48

V.5. Quelques origines de la pollution des eaux de la nappe de Bouteldja.....	48
V.6. Conclusion	50

Chapitre VI : Vulnérabilité à la pollution et son application dans la nappe de Bouteldja

VI.1. Introduction	51
VI.2. Définition et théorie de la vulnérabilité à la pollution	51
VI.3. Cartographie de la Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines	52
VI.3.1. Méthode d'estimation de la vulnérabilité par méthode de superposition à index.....	52
VI.3.1.1.La Méthode DRASTIC	52
VI.3.1.1.A. Condition et limites de son application (Aller et al. 1987)	52
VI.3.1.1.B. Paramètres du la méthode DRASTIC.....	52
VI.3.1.2. La méthode GOD (Foster, et al, 1987)	53
VI.4. Méthodologie d'application des méthodes de la vulnérabilité	54
VI.4.1. Acquisition des données	54
VI.4.2. Application de la Méthode DRASTIC par le système de cotation.....	54
VI.4.2.1. Etapes de réalisation	55
VI.4.2.2. Echelle de vulnérabilité DRASTIC	55
VI.4.3. Application de la méthode GOD	56
VI.4.3.1. Echelle de vulnérabilité GOD.....	56
VI.5. Résultats et interprétation de l'étude de vulnérabilité la pollution des eaux de la nappe de Bouteldja	56
VI.5.1 Carte thématique de la méthode DRASTIC	56
VI.5.1.1. Carte du paramètre D, Profondeur de la nappe	56
VI.5.1.2. Carte du paramètre R, Recharge de la nappe	57
VI.5.1.3. Carte du paramètre A, nature de la ZS de la nappe	58
VI.5.1.4. Carte du paramètre S, nature Sol.....	58
VI.5.1.5. Carte du paramètre T, pente % de Bouteldja.....	59
VI.5.1.6. Carte du paramètre I, nature de la ZNS de la nappe.....	60
VI.5.1.7. Carte du paramètre C, Conductivité hydraulique.....	60
VI.5.2. Carte thématique de la méthode GOD.....	61
VI.5.2.1. Carte du paramètre G, Type d'aquifère.....	61
VI.5.2.2. Carte du paramètre O, Nature de la ZNS de la nappe	62
VI.5.2.3. Carte du paramètre D, Profondeur de l'eau	62
VI.6. Cartes finales de vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bouteldja, méthode DRASTIC et GOD	64
VI.6.1. Carte finale de vulnérabilité par la méthode DRASTIC	64
VI.6.2. Carte finale de vulnérabilité par la méthode GOD	64
VI.7. Conclusion et discussion des résultantes.....	65
Conclusion générale et recommandations.....	66
Références Bibliographiques	
Annexe	

Liste des figures

Chapitre I : Présentation générale de la région d'étude

Figure I.1 :	Situation du sous bassin versant de Mafragh (0317).....	04
Figure I.2 :	Situation administrative du sous bassin versant de Mafragh (0317).....	04
Figure I.3 :	Courbe Hydrométrique et altimétrique du sous bassin de Mafragh.....	08
Figure I.4 :	Carte hypsométriques du sous bassin versant de Mafragh.....	08
Figure I.5 :	Carte des pentes du bassin versant de Mafragh.....	09
Figure I.6 :	Carte des caractéristiques hydrographique de sous bassin versant de Mafragh.	11
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).....	14

Chapitre II : Hydroclimatologie

Figure II.1 :	Carte de situation des Station climatiques du sous bassin versant de Mafragh .	16
Figure II.2 :	Variations moyennes mensuelles de la pluviométrie de différentes stations période 1990-2010.	17
Figure II.3 :	Histogramme de la pluviométrie moyenne mensuelle en mm de la station de Bouteldja (1990/2010).	18
Figure II.4 :	Histogramme Températures moyennes mensuelles en mm (1990/2010)	19
Figure II.5 :	Variation des températures moyennes annuelles de la station de Bouteldja période (1990/2010).	20
Figure II.6 :	Diagramme Ombrothermique de la station de Bouteldja période 1990/2010 ...	21
Figure II.7 :	Moyennes pluriannuelles des paramètres du bilan hydrologique station Bouteldja période 1990/2010 avec ETP Thornthwaite	25
Figure II.8 :	Moyennes pluriannuelles des paramètres du bilan hydrologique station Bouteldja période 1990/2010.....	25
Figure II.9 :	Résultats du bilan hydrologique dans la station de Bouteldja (1990/2010)	27

Chapitre III : Géologie

Figure III.1 :	Coupe de terrains géologiques sédimentaire dans la zone d'étude	28
Figure III.2 :	Carte géologique représentant la wilaya d'El Taref et le sous bassin Versant de Mafragh digitalisée à partir de la carte 1/500 000 de la carte géologique de l'Algérie	31
Figure III.3 :	Carte structurale de la plaine d'Annaba.....	34

Chapitre IV : Hydrogéologie

Figure IV.1 :	Localisation de l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja	36
Figure IV.2 :	Carte des isopaches des sables dunaires	37
Figure IV.3 :	Coupe hydrogéologique dans l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja	38
Figure IV.4 :	Coupes hydrogéologiques schématisées dans l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja	38
Figure IV.5 :	Coupe schématique hydrogéologique corrélatives d'après les coupes des forages et la géophysique	39
Figure IV.6 :	Carte piézométrique de la nappe du massif dunaire de Bouteldja en 1982	40

Figure IV.7 :	Schéma des conditions aux limites de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja.....	42
---------------	---	----

Chapitre V : Hydrochimie et pollution

Figure V.1 :	Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période de hautes eaux (Mai 2004)	46
Figure V.2 :	Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période de basse eaux (Septembre 2004)	46
Figure V.3 :	Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période de hautes eaux (Mai 2010)	47
Figure V.4 :	Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période de basse eaux (Septembre 2010)	47

Chapitre VI : Vulnérabilité a la pollution et son application dans la nappe de Bouteldja

Figure IV.1 :	Etape de la cartographie de la vulnérabilité a la pollution des eaux souterraines de la méthode DRASTIC	55
Figure IV.2 :	Carte du paramètre D, profondeur de la nappe Bouteldja	57
Figure IV.3 :	Carte du paramètre R, recharge de la nappe Bouteldja	57
Figure IV.4 :	Carte du paramètre A, nature de la ZS de la nappe Bouteldja	58
Figure IV.5 :	Carte du paramètre S, nature Sol de Bouteldja	59
Figure IV.6 :	Carte du paramètre T, pente (%) de Bouteldja	59
Figure IV.7 :	Carte du paramètre I, nature de la ZNS de la nappe Bouteldja	60
Figure IV.8 :	Carte du paramètre C, Conductivité hydraulique	61
Figure IV.9 :	Carte d'indice du type d'aquifère de la nappe	61
FigureIV.10 :	Carte d'indice du la nature de la ZNS de d'aquifère de la nappe Bouteldja	62
Figure IV.11 :	Carte d'indice de la profondeur de la nappe Bouteldja	63
Figure IV.12 :	Carte finale de vulnérabilité à la pollution de la nappe du massif dunaire de Bouteldja obtenue par la méthode DRASTIC	64
Figure IV.13 :	Carte finale de vulnérabilité à la pollution de la nappe du massif dunaire de Bouteldja obtenue par la méthode GOD	65

Liste des tableaux

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

Tableau I.1:	Répartition des tanches d'altitude en fonction de la surface.....	07
Tableau I.2:	Les altitudes caractéristiques du bassin versant de Mafragh.....	09
Tableau I.3:	Classification du relief selon Ig, Ds par l'ORSTOM.....	10
Tableau I.4:	paramètres de classification du réseau hydrographique de sous bassin versant de Mafragh	12
Tableau I.5:	Récapitulatifs des Caractéristiques du sous bassin versant du Mafragh	15

Chapitre II : Hydroclimatologie

Tableau II.1:	Caractéristiques des stations climatiques dans la zone d'études.....	17
Tableau II.2:	Pluviométries moyennes mensuelles des différentes stations période (1990-2012)	17
Tableau II.3:	Pluviométries moyennes annuelles la période 1990-2010	18
Tableau II.4:	Température moyenne mensuelle "T" (°C) de la station de Bouteldja pour la période 1990-2010 (ANRH d'Alger).	19
Tableau II.5 :	Températures moyennes annuelles "T" (°C) de la station de Bouteldja pour la période 1990-2010 (ANRH d'Alger)	20
Tableau II.6 :	Précipitations moyennes mensuelles et double des températures, station de Bouteldja	21
Tableau II.7 :	Résultats du calcul de l'Indice d'aridité (DE.MARTONNE)	22
Tableau II.8 :	Calcul de l'ETP par la méthode Thornthwaite (1990/2010).....	22
Tableau II.9 :	Calcule de l'ETP par la méthode de Serra (1990/2010)	23
Tableau II.10 :	l'ETR par la formule de TURC.	23
Tableau II.11:	L'ETR par la formule de COUTAGNE.	24
Tableau II.12:	Bilan de Thornthwaite en fonction de l'ETP de Thornthwaite.	24
Tableau II.13:	Bilan de Thornthwaite en fonction de l'ETP de Serra.	25
Tableau II.14:	Récapitulatif des résultats des paramètres du bilan hydrologique	26
Tableau II.15:	Récapitulatif des résultats du bilan hydrologique	26
Tableau II.16:	Résultats du bilan hydrologique dans la station de Bouteldja (1990/2010) ...	27

Chapitre V : Hydrochimie et pollution

Tableau V.1 :	Formules ioniques et faciès chimiques des eaux du massif dunaire	48
Tableau V.2 :	Les différents débits d'eaux usées rejetés (Source différentes APC de la wilaya d'El Tarf 2005	49

Chapitre IV : Vulnérabilité à la pollution et son application dans la nappe de Bouteldja

Tableau IV.1 :	Quelques propriétés de chaque paramètre et son poids	53
Tableau IV.2 :	Principales sources d'acquisition de données utilisées	54
Tableau IV.3 :	Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC	55
Tableau IV.4 :	Les classes de vulnérabilité et les indices correspondants	56

Liste des abréviations

A :	Superficie (Km ²)
ANRH :	Agence Nationale des Ressources Hydrique
AEP :	Alimentation en Eaux Potable
BNEBER :	Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural
DBO₅ :	Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours
DRE :	Direction des Ressource en Eaux
Kc :	Indice de compacité de Gravelius
Max :	Maximum
MNT :	Modèle numérique de terrain
P :	Périmètre (Km)
pH :	Potentiel Hydrogène
SBV :	Sous bassin versant
SIG :	Systèmes d'information géographique
ZN :	Zone Saturée
ZNS :	Zone Non Située

Introduction générale

Introduction générale

La nappe du massif dunaire de Bouteldja est contenue principalement dans le sous bassin versant de Mafragh (0317), située dans le bassin versant d'El-Tarf, du la grande région hydrographique Constantinois-est (03).

En plus de sa situation géographique méditerranéenne sensible conjuguée au déficit d'apports pluviométriques, notre zone d'étude est exposée à plusieurs inconvénients qui contribuent dans la dégradation en termes de qualité et de quantité, de ses eaux. Elle présente la multiplication des forages par lesquels, elle est surexploitée intensivement, suite au développement économique de la région suivi de la création de plusieurs unités industrielles, de l'agriculture intensive, de l'accroissement démographique, qui sont des secteurs consommateurs d'eau mais aussi générant des déchets liquides et solide, rejetés dans le bassin versant sans aucun traitement préalable.

C'est dans ce contexte contraignant, que la réflexion a imposé la nécessité d'une étude de la vulnérabilité à la pollution de cette nappe libre du massif dunaire de Bouteldja, afin de permette de déceler les zones qui sont beaucoup plus susceptible d'être atteintes et ainsi contribuer dans la prise de décision dans le sens de sa préservation et sa protection.

Cette étude a fait appel à la collecte de plusieurs types de données, d'ordre bibliographiques, géologiques, géomorphologiques, climatiques, hydrogéologiques et hydrochimiques, grâce à la collaboration de plusieurs organismes principalement, l'agence nationale des ressources hydrique (ANRH) d'Alger, ministère de l'environnement (ME) et la direction des ressources en eau (DRE) d'El-Tarf.

Une base de données a été réalisée et traitée en utilisant, l'outil XLSTAT pour le traitement des lacunes et la reconstitution des majorités des données climatiques, les systèmes d'information géographique (SIG) avec Arc Gis et MapInfo et les outils de modélisation géostatistique pour la réalisation de toutes cartes essentiellement les cartes de vulnérabilité à la pollution.

Notre démarche est soutenue par la structuration de notre travail en six (6) chapitres distincts mais qui sont complémentaires :

- Le premier chapitre définit les différents éléments qui caractérisent notre sous bassin versant de Mafragh, de la géomorphologie, au relief, à la topographie, ainsi qu'une description hydrologique et pédologique

-
- Le deuxième chapitre traite l'étude et l'estimation des paramètres climatiques en particuliers, les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissèlement et l'infiltration efficace, qui jouent un rôle important dans le transport des polluants.
 - Le troisième chapitre, s'intéresse à la géologie, situation de la zone d'étude dans les grands ensembles structuraux, la description lithostratigraphique, structure et tectonique de la région d'étude.
 - Le quatrième chapitre, s'intéresse à l'aspect hydrogéologique, définit les principales caractéristiques hydrodynamique de la nappe du massif dunaire de Bouteldja.
 - Le cinquième chapitre, porte sur l'étude hydrochimique des eaux de surface et souterraines. et aborde aussi les principales causes de pollutions dans la région d'étude
 - Le sixième chapitre, traite de la vulnérabilité à la pollution de la nappe du massif dunaire de Bouteldja avec l'utilisation des méthodes d'indexation DRASTIC et GOD, suivi d'une discussions des résultats obtenus.

Chapitre I :
Présentation de la zone
d'étude

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

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 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 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 :

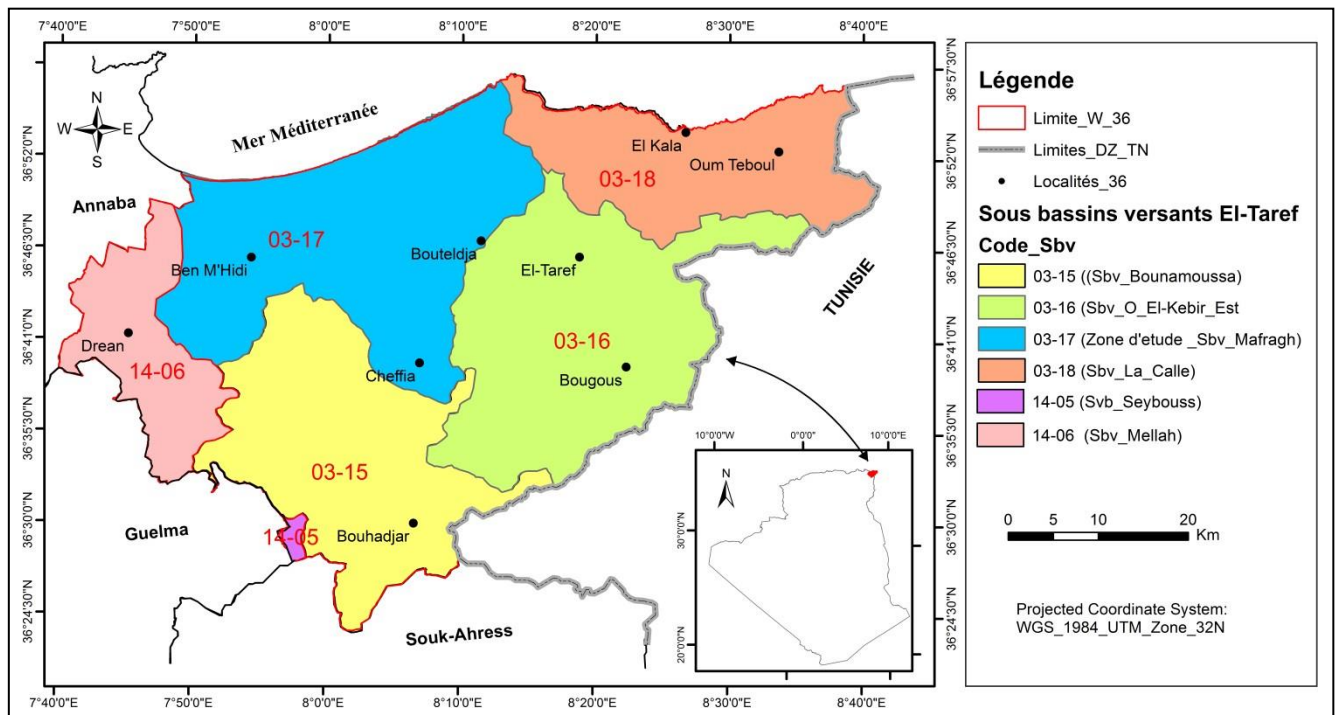


Figure I.1 : Situation du sous bassin versant de Mafragh (0317).

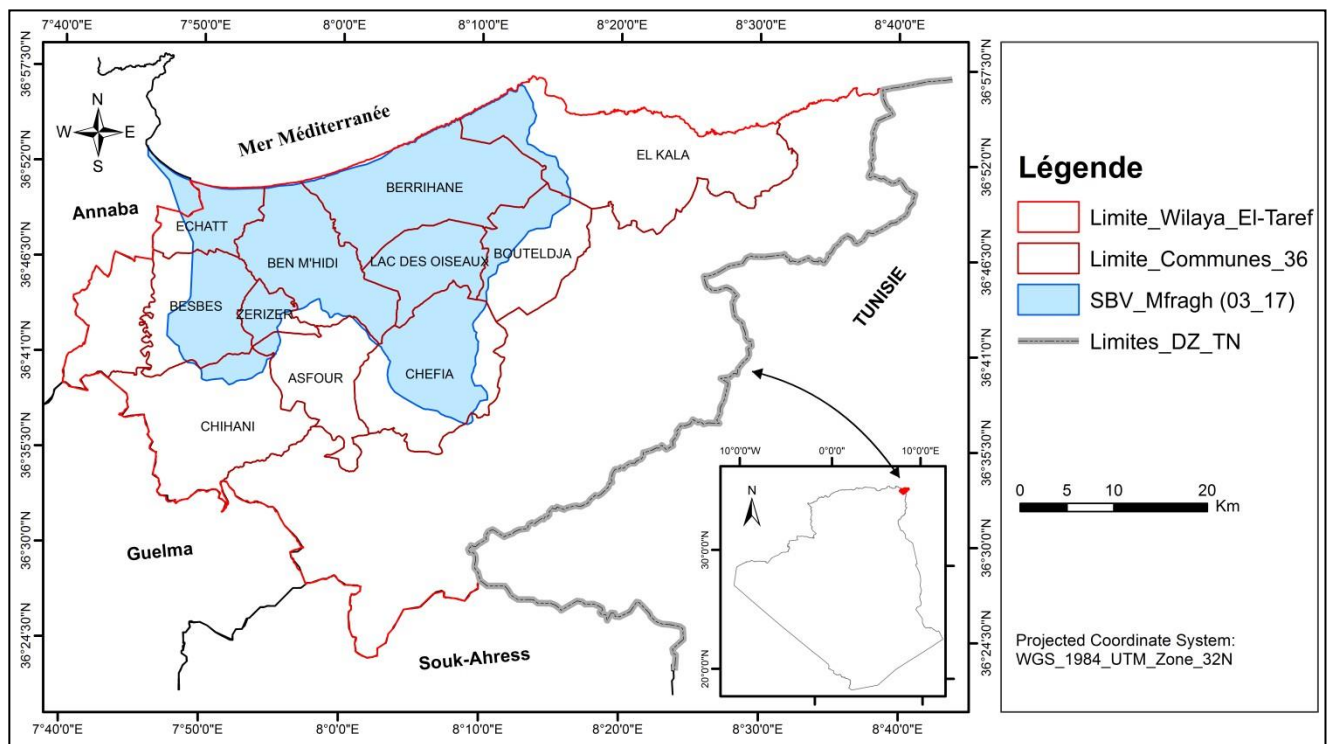


Figure I.2. : Situation administrative du sous bassin versant de Mafragh (0317).

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 grès 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 calcul 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 **802,43 Km²**, et d'un périmètre de **165,88 Km**

I.3.1.2. 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.

I.3.1.3. 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= 71.08Km** et **l = 11.28 .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

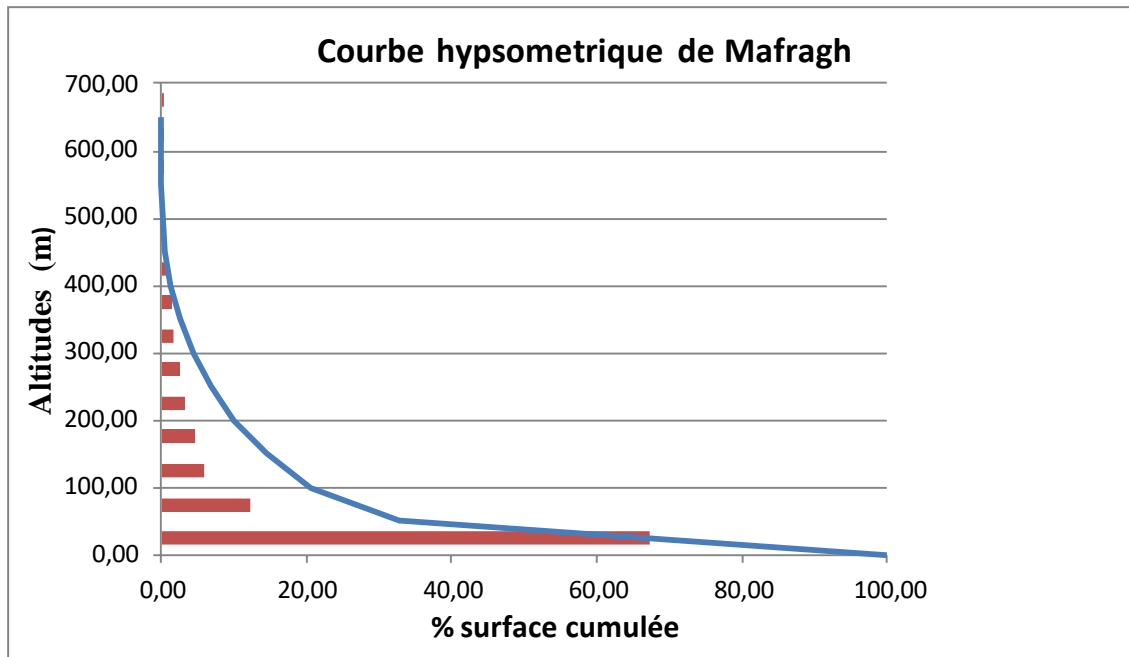


Figure I.3 : Courbe Hypsométrique et altimétrique du sous bassin de Mafragh.

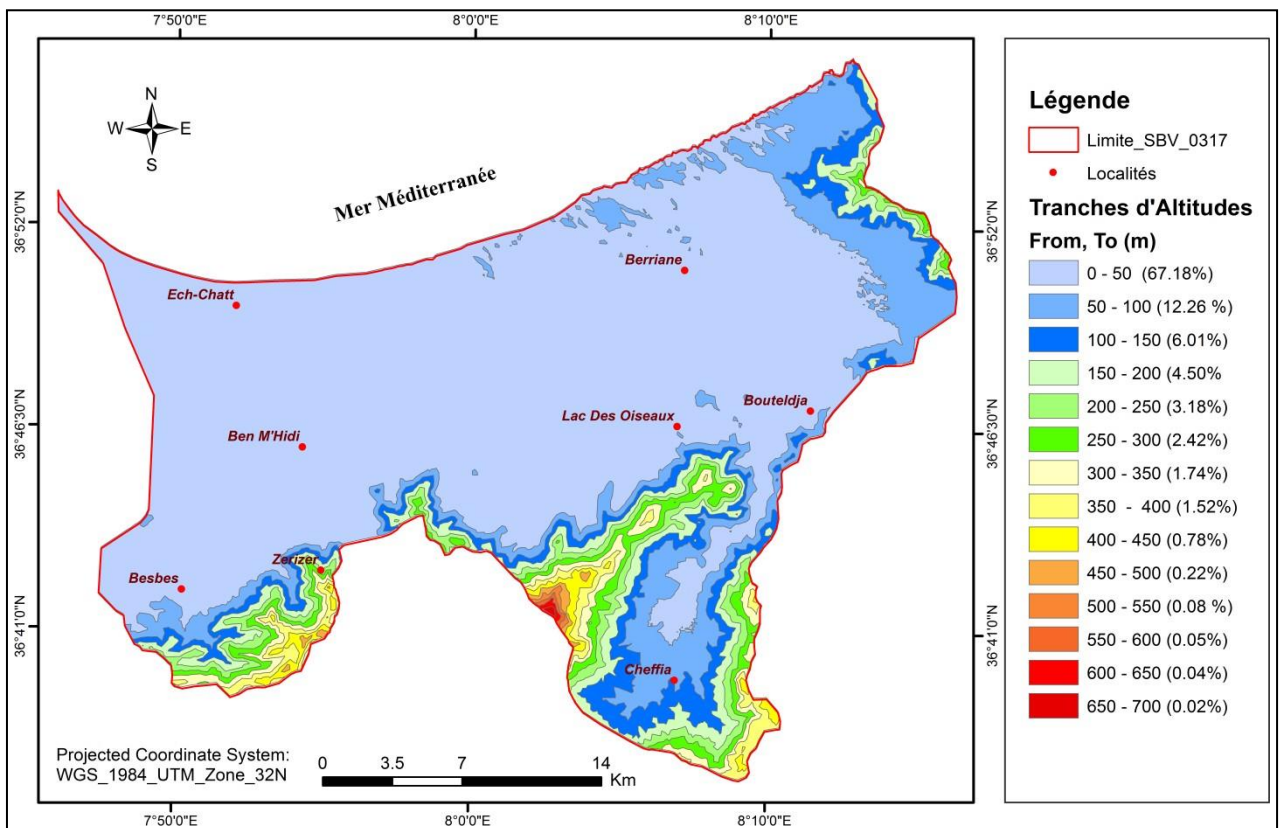


Figure I.4 : Carte hypsométrique du sous bassin versant de Mafragh

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, Zerizer 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 :

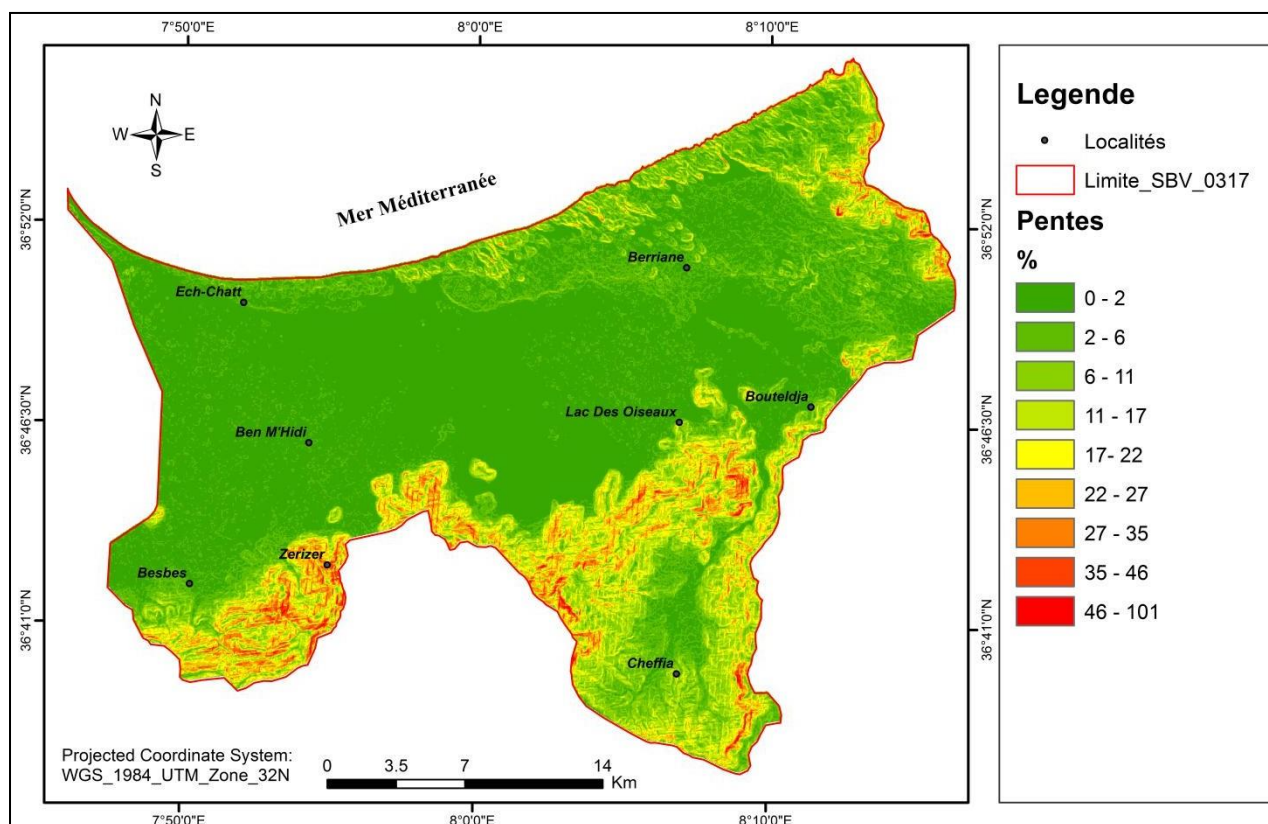


Figure I.5 : Carte des pentes du bassin versant de Mafragh

I.3.2.1. 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 =**

I.3.2.2. 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 diverse dans la mer méditerranée.

Ajoutant à son réseau hydrographique des zones humides très connues, classées dans la liste Ramsar des zones protégée, citons, le marais de M'Khada et le lac des oiseaux.

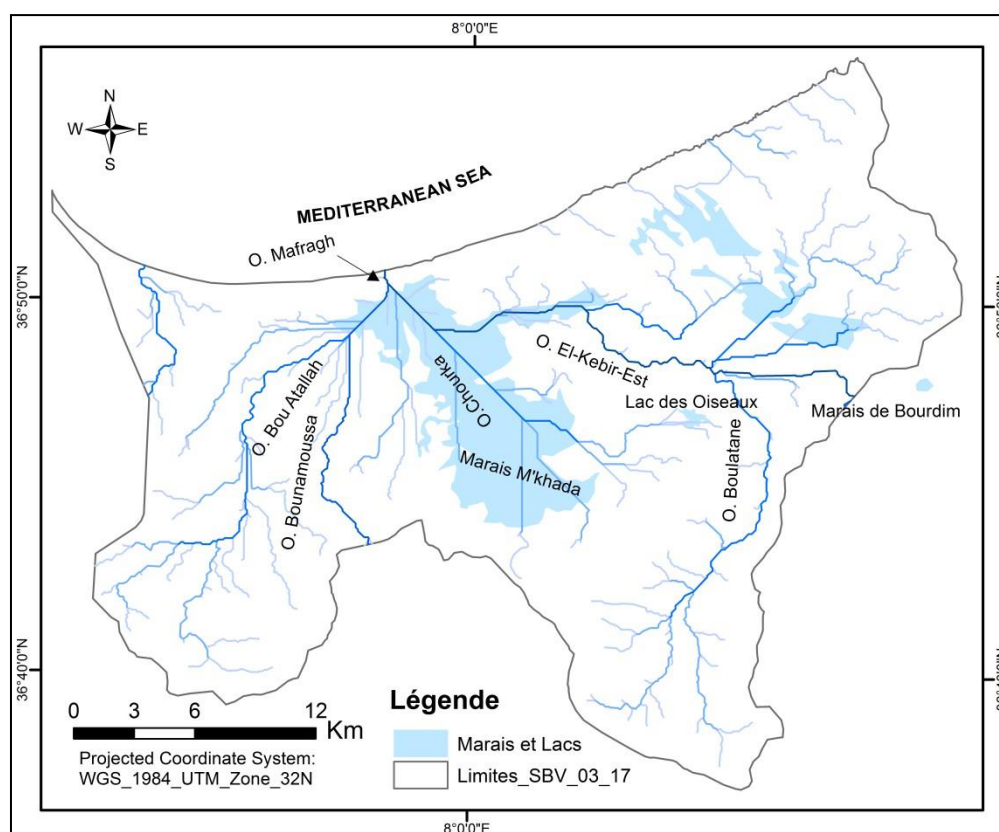


Figure I.6 : Carte des caractéristiques hydrographiques de sous bassin versant de Mafragh

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 $n + m = \max(n, m)$.

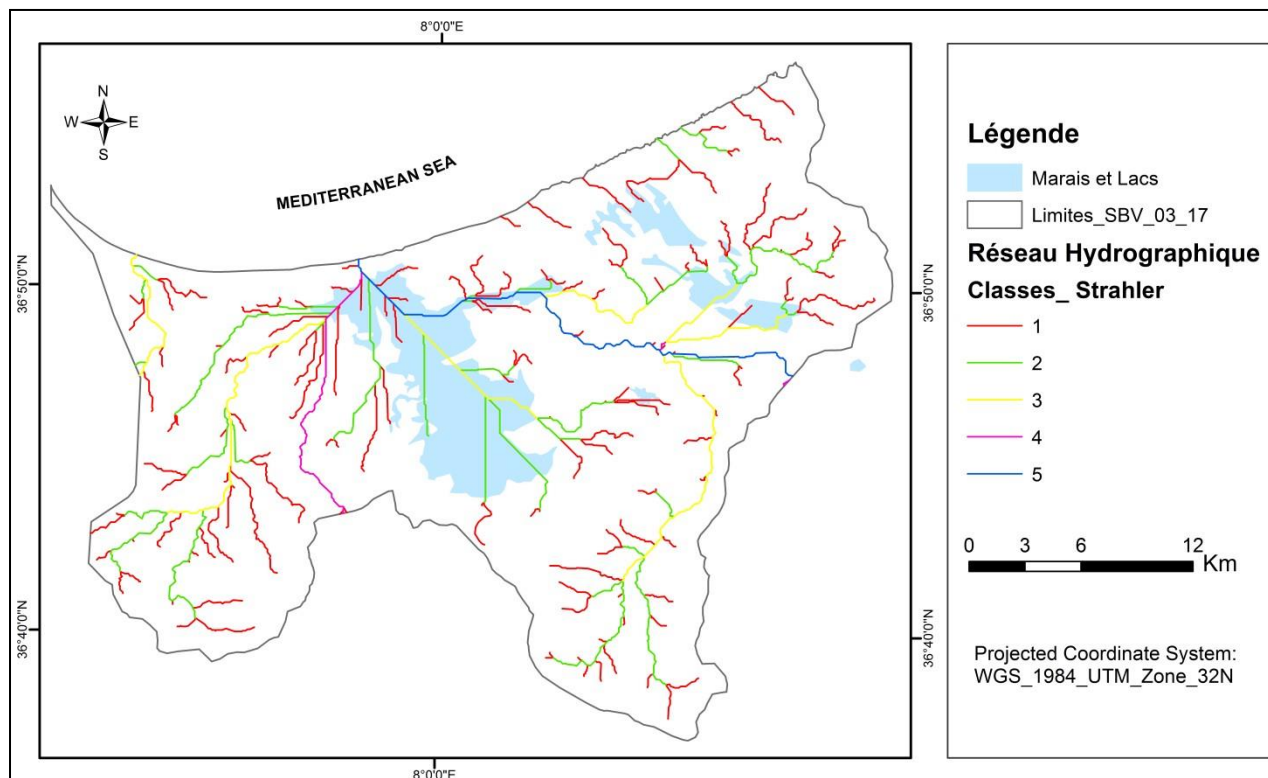


Figure I.7 : Carte de classification du réseau hydrographique de sous bassin versant de Mafragh

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

Ordre	Nombre N_i	Longueur L_i (km)	Longueur moy $l_i=L_i/N_i$ (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 :

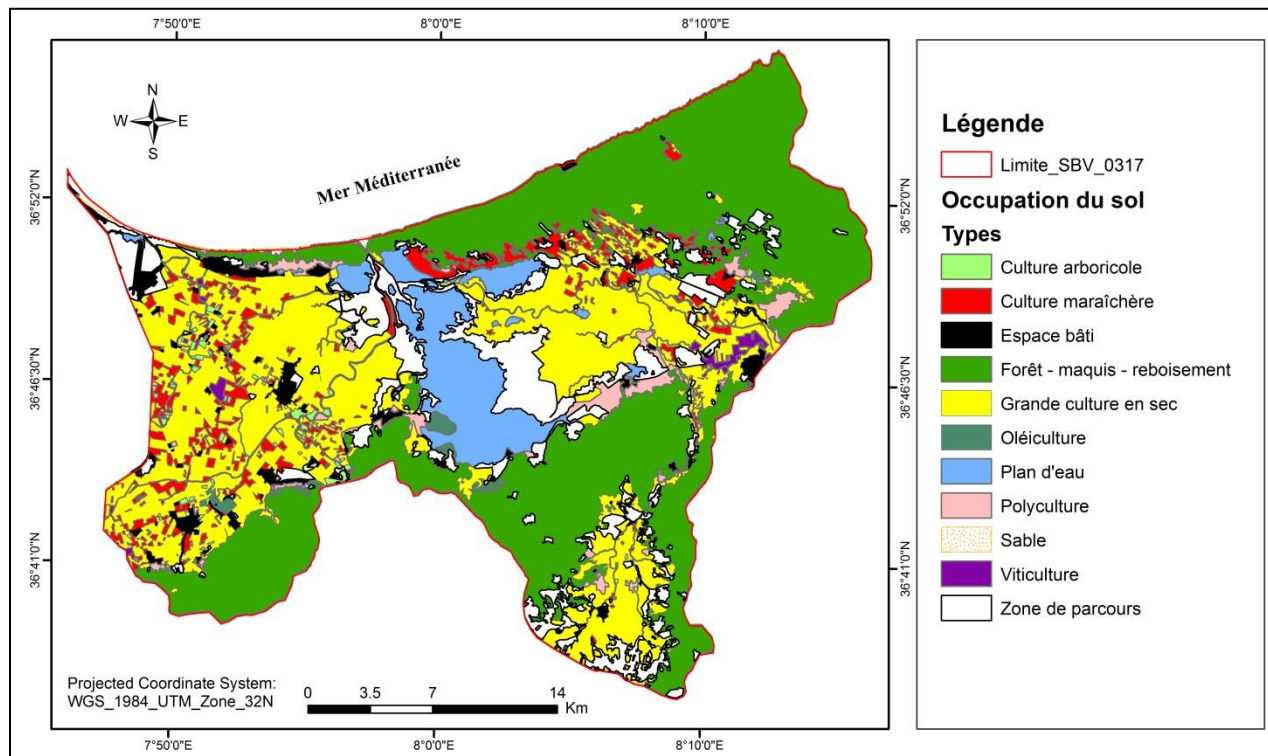


Figure I.8 : Carte d'occupation du sol (réalisée sur la base de la carte d'occupation du sol de la wilaya d'El-Tarf effectuée en 2011 par le BNEDER).

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. 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 m/km², 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, Vértisols 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

Chapitre II
Hydroclimatologie

Tableau.II.1 : Caractéristiques des stations climatiques dans la zone d'études

Nom de la station	Ain Assel	Lac des Oiseaux	Cheffia	Bouteldja
S/Bassin versant	Oued Kebir Est	Mafragh	Bounamoussa	Mafragh
Code station	031601	031717	031501	031718
Coordonnées (km)	X	1 005.65	984.5	977.15
	Y	400.05	400.5	381.3
Z (m)	35	6	170	25
Période	1990/2012	1990/2012	1990/2012	1990/2010
Type	Hydrométrique	pluviométrique	pluviométrique	pluviométrique

II.2. Etude de la pluviométrie

II.2.1. La pluviométrie moyenne mensuelle :

L'étude de ce facteur est basée sur la pluviométrie des stations de Ain Assel (Station de référence), Bouteldja, Cheffia et Lac des Oiseaux, durant la période (1990 -2010). Les données sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.2 : Pluviométries moyennes mensuelles des différentes stations période (1990 -2010)

	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Ain Assel	55,29	84,96	126,07	143,58	121,00	111,23	69,43	77,00	36,98	12,66	2,95	8,63
Lac	51,41	72,43	111,01	122,75	103,06	67,12	65,18	68,15	45,58	13,87	3,18	7,93
Cheffia	49,31	70,20	98,00	124,08	125,96	90,24	77,55	81,45	54,87	14,23	2,80	11,81
Bouteldja	51,23	55,90	120,00	126,55	132,44	73,53	67,07	67,73	39,74	13,54	0,75	7,40

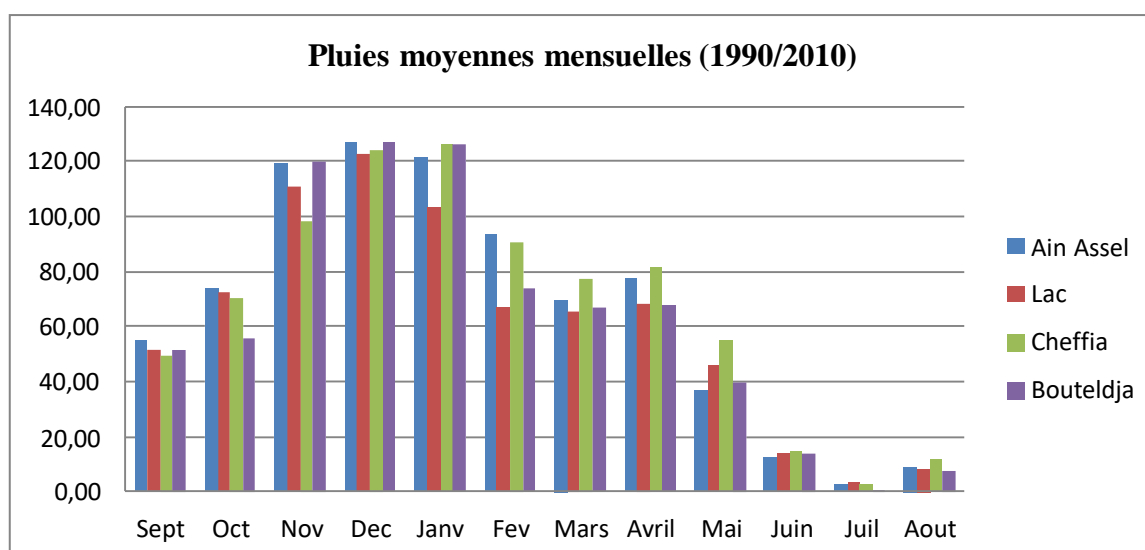


Figure II.2 : variations moyennes mensuelles de la pluviométrie de différentes stations période 1990-2010.

Les mois les plus pluvieux sont représentée par novembre, décembre janvier, Février et Mars, les mois moyennement pluvieux sont septembre, octobre et Mai et les mois faiblement pluvieux sont ; juin juillet et Aout. Et cela dans toutes les stations climatiques.

II.2.2. La pluviométrie moyenne annuelles

Tableau.II.3 : Pluviométries moyennes annuelles de la période 1990-2010.

	Ain Assel (mm)	Bouteldja (mm)	Lac (mm)	Cheffia (mm)
1990/1991	79,37	63,41	70,50	63,50
1991/1992	74,49	53,64	55,46	70,83
1992/1993	71,79	65,16	63,30	65,23
1993/1994	48,08	48,64	50,40	57,58
1994/1995	55,72	50,75	55,20	53,98
1995/1996	70,00	34,94	49,70	60,30
1996/1997	39,87	46,64	35,65	36,55
1997/1998	84,34	80,17	79,60	93,64
1998/1999	73,49	61,35	62,10	77,17
1999/2000	50,59	63,98	65,90	58,68
2000/2001	71,71	47,73	52,60	58,11
2001/2002	40,82	74,16	73,34	41,88
2002/2003	98,30	73,43	98,40	94,93
2003/2004	79,28	83,44	87,50	80,01
2004/2005	96,55	88,41	89,10	93,65
2005/2006	51,14	60,41	62,30	53,60
2006/2007	71,31	45,02	50,20	51,68
2007/2008	58,91	90,84	87,25	45,73
2008/2009	78,58	69,68	65,60	84,09
2009/2010	74,23	57,99	56,30	61,14
2010/2011	80,23	70,50	69,80	81,20

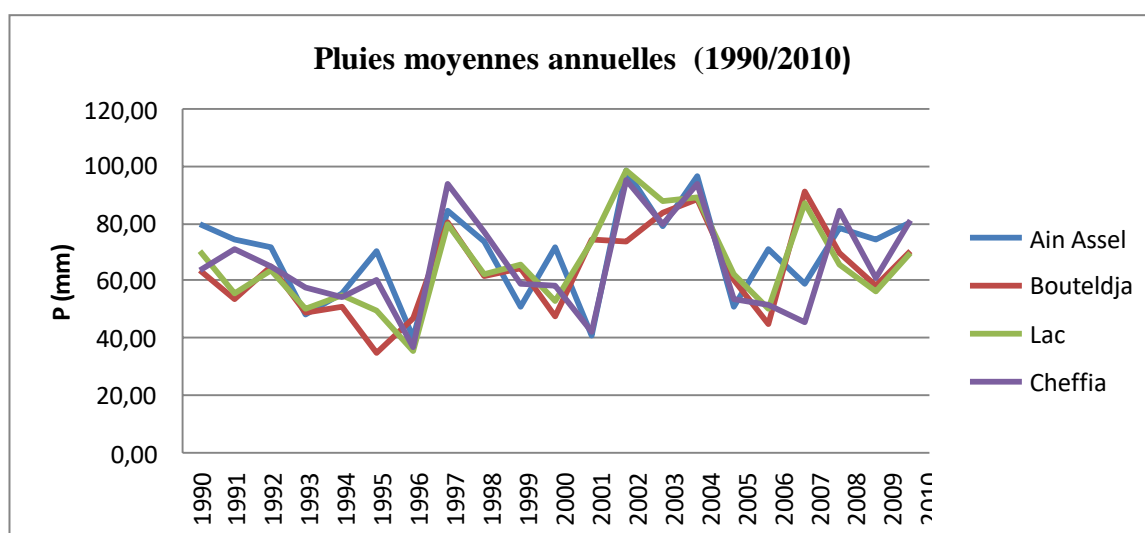


Figure.II.3 : Histogramme de la pluviométrie moyenne mensuelle en mm de la station de Bouteldja (1990/2010).

Les précipitations moyennes annuelles des stations évoluent du moins au moins avec la même tendance et l'analyse montre que l'année la plus pluvieuse est 2002, par contre l'année la moins pluvieuse est 1996.

II.3. Etude des Températures :

La température est le deuxième facteur important qui conditionne le climat d'une région donnée. Paramètre qui intervient dans l'estimation des autres paramètres hydroclimatiques essentiellement évapotranspiration mais aussi contribue en grande partie dans la modification dans le caractère physico-chimique des eaux et des polluants.

Dans le cadre de la présente étude, nous avons utilisé les données de la station de Bouteldja sur une période de 20 ans, allant de (1990 à 2010) comme mentionné dans les tableaux ci-dessous.

II.3.1. Température moyenne mensuelle

Tableau .II.4 : Température moyenne mensuelle "T" (°C) de la station de Bouteldja pour la période 1990-2010 (ANRH d'Alger).

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avril.	Mai	Juin	Juillet	Août
T (°C)	23,34	20,17	15,34	12,25	10,74	11,17	13,17	15,14	18,61	22,05	24,84	25,91

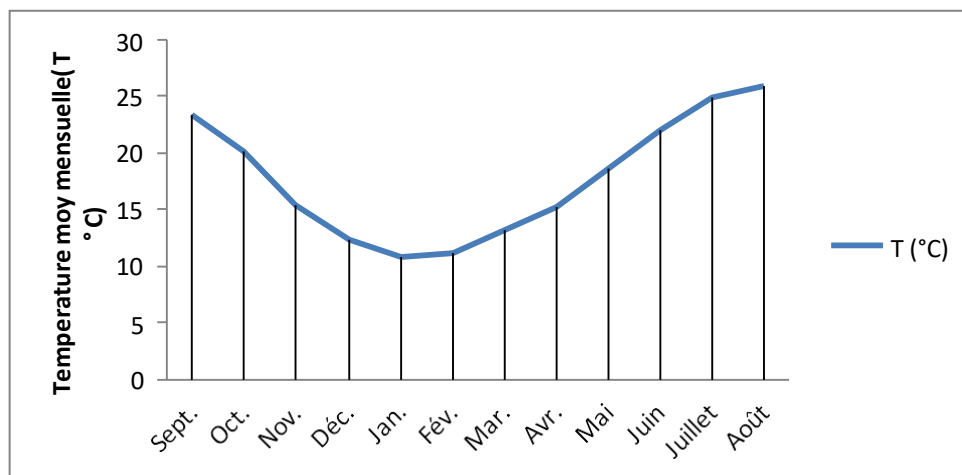


Figure. II.4 : Histogramme des Températures moyennes mensuelles en mm (1990/2010)

L'histogramme des températures moyennes mensuelles montre une différence de températures avec des mois chauds et des mois froids. Les faibles valeurs sont représentées par les mois de décembre, janvier, février et Mars avec Janvier le mois le plus froid (10.74°C). Par contre les fortes valeurs sont représentées par les mois de juin, juillet et août et septembre avec Aout le mois le plus chaud (25.91°C).

II.3.2. Températures moyenne annuelles période 1990/2010 :

Tableau.II.5 : Températures moyennes annuelles ‘T’ (°C) de la station de Bouteldja pour la période 1990-2010 (ANRH d’Alger).

Années	T (°C)	Années	T (°C)
90/91	17,25	00/01	18,06
91/92	17,19	01/02	17,48
92/93	17,85	02/03	18,50
93/94	17,74	03/04	17,62
94/95	17,93	04/05	18,13
95/96	17,59	05/06	18,26
96/97	17,36	06/07	18,30
97/98	17,25	07/08	17,79
98/99	17,57	08/09	17,49
99/00	17,67	09/10	17,50

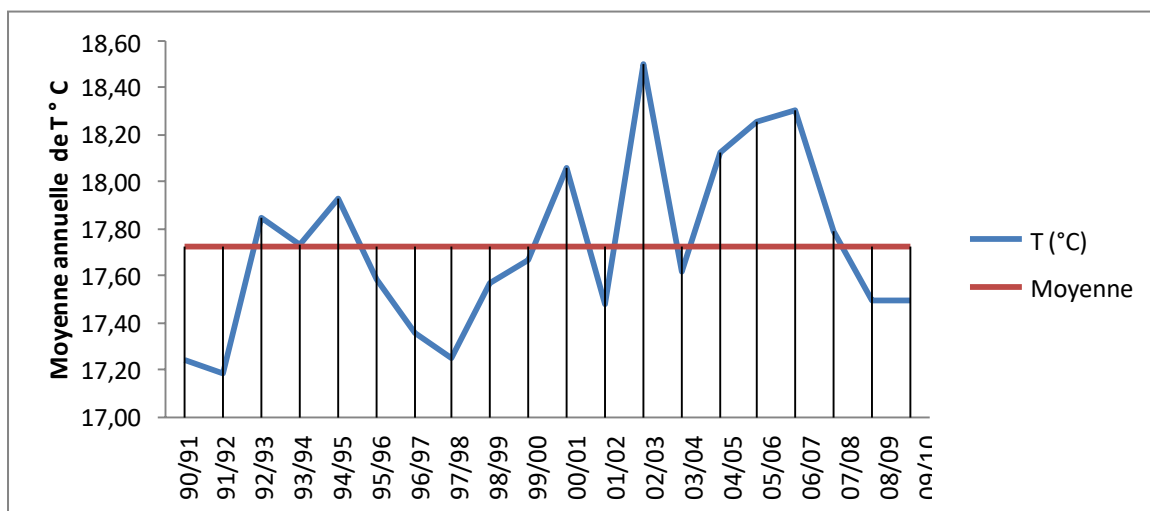


Figure. II.5: Variation des températures moyennes annuelles de la station de Bouteldja période (1990/2010).

Les températures moyennes annuelles varient d’une année à l’autre avec un taux moyen périodique de 1990 à 2010 de 17.73 °C (moyenne des moyennes annuelles). Les températures la plus élevée durant cette période marque l’année hydrologique 2002/2003 avec 18.50 °C, est la plus basse est représentée durant l’année 1991/1992 avec 17.19 °C.

II.4.. Diagramme Ombrothermique :

Une courbe Ombrothermique est la combinaison entre les facteurs pluviométriques (P) et les facteurs thermiques (T). L’avantage de ces courbes nous permet de mettre en évidence les deux périodes sèche et humide.

Un mois sec est celui dont les précipitations totales exprimées en millimètres, sont égales ou inférieures au double de la température dont la règle est :

$$P \leq 2T$$

Tableau II.6: Précipitations moyennes mensuelles et double des températures, station de Bouteldja (1990/2010).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	132,44	73,53	67,07	67,73	39,74	13,54	0,75	7,40	51,23	55,9	120	126,55
T (°C)	10,76	11,51	13,40	15,46	19,12	22,46	25,04	25,64	22,96	19,72	15,15	12,21

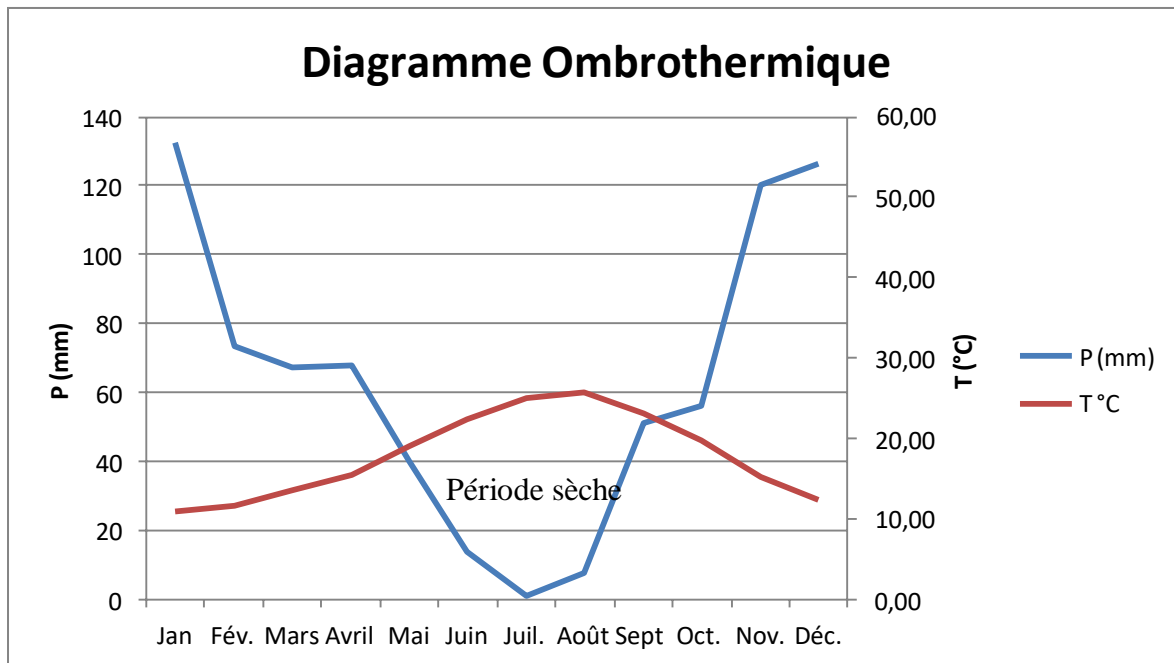


Figure II.6 : Diagramme Ombrothermique de la station de Bouteldja période 1990/2010

Ce diagramme, fait ressortir deux périodes climatiques :

- Une période sèche qui s'étend du mois Mai jusqu'au mois de septembre, elle se caractérise par l'augmentation de la température et la diminution de la précipitation.
- Une période humide qui s'étale du mois de octobre jusqu'au mois d'Avril, cette dernière se caractérise par une forte pluviométrie (précipitation importante) et une baisse de température.

II.5. Indice d'aridité :

Emmanuel DE.MARTONNE (1925) a proposé une formule climatologique, appelée indice d'aridité, qui est fonction de la température (T °C) et des précipitations (P mm) :

Avec : **A** : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles en mm

T : températures moyennes annuelles en °C.

$$A = \frac{P}{(T + 10)}$$

Selon DE.MARTONNE :

- si a est inférieur à 5 : le climat est hyperaride.
- si a est compris entre 5 et 10 : le climat est très sec.
- si a est compris entre 10 et 20 : le climat est sec.
- si a est compris entre 20 et 30 : le climat est tempéré, Subhumide.
- si a est supérieur à 30 : le climat est humide (l'écoulement est abondant).

Le tableau suivant présente les données utilisées pour calculer l'indice d'aridité de la zone d'étude ainsi que le résultat obtenu.

Tableau II.7 : Résultats du calcul de l'Indice d'aridité (DE.MARTONNE)

Station	P (mm)	T (°C)	A (mm/°C)
Bouteldja	755.88	17.73	27.26

D'après la classification DE.MARTONNE et résultat de calcul obtenu la région d'étude est caractérisée par un climat tempéré, Semi-Humide.

II.6. Estimation de l'Evapotranspiration :

On distingue ainsi l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

II.6.1 Estimation de l'Evapotranspiration Potentielle ETPc (mm) :

Pour l'évapotranspiration nous allons utiliser les formules suivantes :

II.6.1.1. Formule de Thornthwaite :

Avec :

$$ETP = 16. \left(10 \frac{T}{I}\right)^{a.k}$$

ETP : Evapotranspiration Potentielle mensuelle corrigé en mm ;

T : Température moyenne mensuelle en °C ;

K : Coefficient d'ajustement mensuel ;

I : Indice thermique annuel : somme des indices mensuelles calculées à partir de températures moyennes mensuelles selon la formule :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$$

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

Tableau.II.8 : Calcul de l'ETP par la méthode Thornthwaite (1990/2010).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
P (mm)	51.23	55.9	120	127	132	73.53	67.07	67.73	39.74	13.54	0.75	7.4
T (°C)	23.34	20.2	15.3	12.3	10.7	11.17	13.17	15.14	18.61	22.05	24.84	25.91
i	10.31	8.26	5.46	3.88	3.18	3.38	4.33	5.35	7.31	9.46	11.32	12.07
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc(mm)	108.39	77.92	41.63	26.82	21.78	22.88	37.60	51.97	83.75	115.56	146.42	148.09

II.6.1.2. Formule de Serra :

$$ETP = 16. \left(10 \frac{T}{I}\right)^{a.k}$$

Avec :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = 0.09. T^{3/2}$$

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

Tableau.II.9 : Calcul de l'ETP par la méthode de Serra (1990/2010)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
P (mm)	51.23	55.9	120	126.6	132.44	73.53	67.07	67.73	39.74	13.54	0.75	7.4
T (°C)	23.34	20.17	15.34	12.25	10.74	11.17	13.17	15.14	18.61	22.05	24.84	25.91
i	10.15	8.15	5.41	3.86	3.17	3.36	4.30	5.30	7.23	9.32	11.14	11.87
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16
ETPc (mm)	110.98	79.78	42.63	27.46	22.30	23.43	38.50	53.22	85.75	118.32	149.92	151.63

II.6.2. Estimation de l'Evapotranspiration Réelle ETR (mm) :

L'évapotranspiration réelle sera estimée avec les formules suivantes :

II.6.2.1. Formule de Turc :

Turc a établi la relation suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

- ETR :** Evapotranspiration réelle (en mm) ;
- P :** Hauteur annuelle de la pluie (en mm) ;
- t :** Température annuelle (°C).

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

Tableau.II.10 : l'ETR par la formule de TURC.

Station	P (mm)	T (°c)	L	L ²	ETR (mm/an)
Bouteldja	755.88	17.73	1021.92	1044328	628.35

II.6.2.2. Formule de COUTAGNE :

Cette méthode permet de déterminer l'ETR en fonction du paramètre (λ) qui est calculé à partir de la température moyenne annuelle, la formule de COUTAGNE est la suivante :

$$ETR = \bar{P} - T^2$$

$$= \frac{1}{0.8 + 0.1 T}$$

Avec :

- ETR :** Evapotranspiration réelle en mm
- T :** Température moyenne annuelle en mm ;
- \bar{P} :** Pluie moyenne annuelle en m.

$$\frac{1}{8} < \bar{P} < \frac{1}{2}$$

$1/8\lambda$	$< P(m) <$	$1/2\lambda$
0.32	0.75	1.29

Cette formule peut être rapprochée de l'évaporation réelle, elle est valable lorsque les Précipitations sont comprises entre 1/2 et 1/8 de λ .

Tableau II.11 : L'ETR par la formule de COUTAGNE.

Station	P (mm/an)	T (°C)	λ	ETR (mm)
Bouteldja	755.88	17.73	0.39	633.71

II.6.2.3. Le calcul de l'ETR par Méthode de Thornthwaite :

Pour le calcul de l'ETR, Thornthwaite a considéré deux cas possibles :

Si $P \geq l'ETP \rightarrow ETP = ETR$ dans ce cas on parle d'excédent de précipitations qui sera emmagasiné dans le sous-sol participant ainsi à l'augmentation des réserves en eau souterraines jusqu'à ce que ces dernières soient maximales, le surplus constitue l'excédent qui va être disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes.

Si $P < l'ETR \rightarrow$ dans ce cas l'ETR dépend de toutes les pluies mensuelles et le déficit est comblé par les réserves du sol (RFU) jusqu'à l'épuisement, ($ETR = P + RFU$).

Si la réserve facilement utilisable (RFU) contient l'eau nécessaire pour satisfaire le déficit, l'ETR est égale à l'ETP (1^{er} cas), dans le cas contraire la (RFU) est vide, l'ETR est liée aux précipitations mensuelle et le déficit constitue le déficit agricole (da) qui représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de sécheresse.

A. Bilan hydrologique en fonction de l'ETP de Thornthwaite

Tableau II.12 : Bilan de Thornthwaite en fonction de l'ETP de Thornthwaite.

Mois	P (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Da (mm)	Excédent (mm)
Sept	51,23	108,39	0	51,23	57,16	0
Oct.	55,9	77,92	0	55,9	22,02	0
Nov.	120	41,63	78,37	41,63	0	0
Déc.	126,55	26,82	100	26,82	0	78,1
Jan	132,44	21,78	100	21,78	0	110,66
Fév.	73,53	22,88	100	22,88	0	50,65
Mars	67,07	37,6	100	37,6	0	29,47
Avril	67,73	51,97	100	51,97	0	15,76
Mai	39,74	83,75	55,99	83,75	0	0
Juin	13,54	115,56	0	69,53	46,03	0
Juil.	0,75	146,42	0	0,75	145,67	0
Août	7,4	148,09	0	7,4	140,69	0
Annuel	755,88	882,81	/	471,24	411,57	284,64

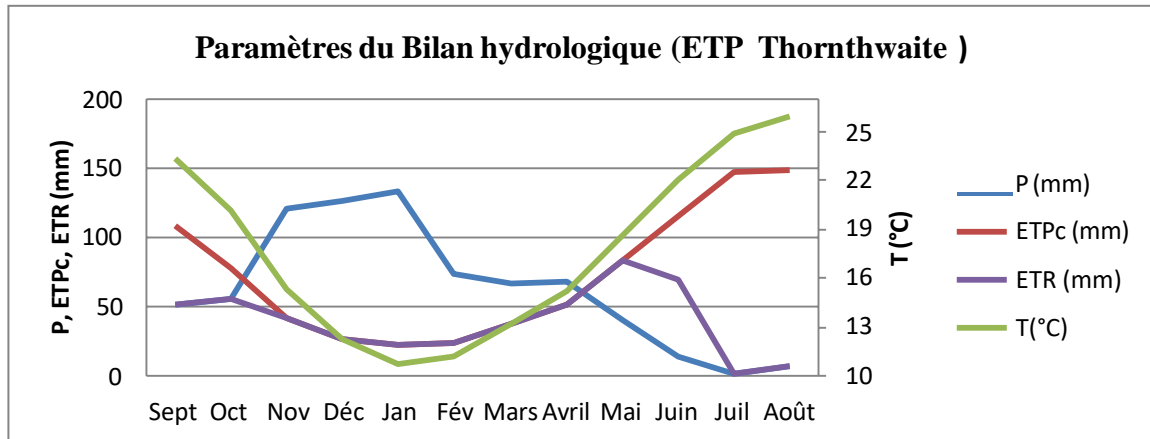


Figure II.7 : Moyennes pluriannuelles des paramètres du bilan hydrologique station Bouteldja période 1990/2010 avec ETP Thornthwaite.

B. Bilan hydrologique en fonction de l'ETP de Serra

Tableau II.13: Bilan de Thornthwaite en fonction de l'ETP de Serra.

Mois	P (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Da (mm)	Excédent (mm)
Sept	51,23	110,98	0,00	51,23	59,75	0,00
Oct.	55,90	79,78	0,00	55,90	23,88	0,00
Nov.	120,00	42,63	77,37	42,63	0,00	0,00
Déc.	126,55	27,46	100,00	27,46	0,00	76,12
Jan	132,44	22,30	100,00	22,30	0,00	110,14
Fév.	73,53	23,43	100,00	23,43	0,00	50,10
Mars	67,07	38,50	100,00	38,50	0,00	28,57
Avril	67,73	53,22	100,00	53,22	0,00	14,51
Mai	39,74	85,75	53,99	85,75	0,00	0,00
Juin	13,54	118,32	0,00	67,53	50,79	0,00
Juil.	0,75	149,92	0,00	0,75	149,17	0,00
Août	7,40	151,63	0,00	7,40	144,23	0,00
Annuel	755,88	903,92	/	476,10	427,82	279,44

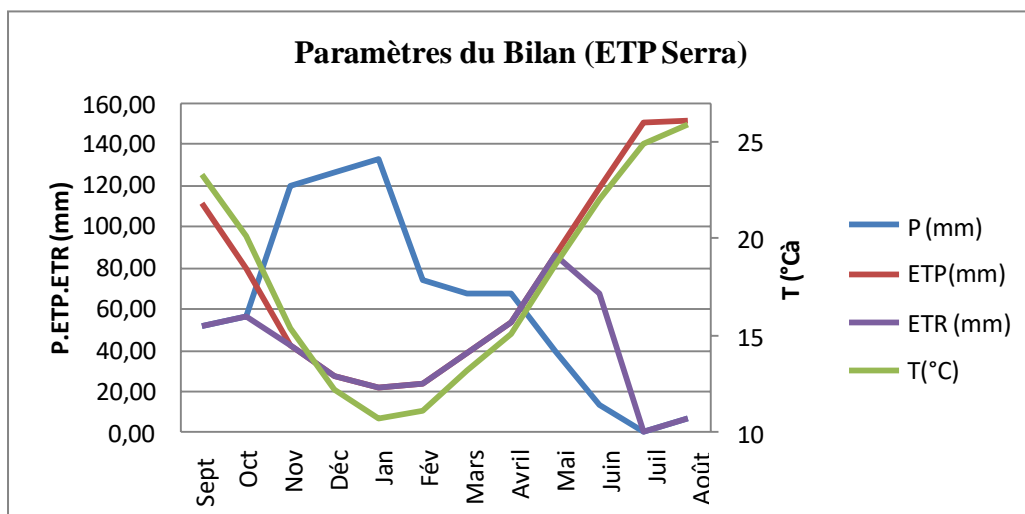


Figure II.8 : Moyennes pluriannuelles des paramètres du bilan hydrologique station Bouteldja période 1990/2010.

L'estimation des paramètres du bilan hydrologique avec les deux méthodes de Serra et Thornthwaite, confirme la période humide excédentaire de l'ordre de 279,44 mm, qui va du mois de Octobre à Avril et ainsi que la période sèche du mois de Mai à Septembre, qui est de l'ordre de 427.22 mm.

Tableau II.14 : Récapitulatif des résultats des paramètres du bilan hydrologique

Paramètres	Méthodes	Résultats	Moyennes (mm)
P (mm)		755,88	755,88
ETP (mm)	Thornthwaite	882,81	893,37
	Serra	903,92	
ETR (mm)	Thornthwaite	ETP Thornthwaite	471,24
		ETP Serra	476,10
	Turc	628.35	628.35
	Coutagne	633.71	633.71

II.7. Estimation de l'infiltration avec l'équation du bilan Hydrologique :

Avec :

- **P** : Précipitation moyennes annuelles (mm) ;
- **ETR** : Evapotranspiration Réelle (mm) ;
- **Ie** : La lame d'eau infiltrée (mm) ;
- **R** : La lame d'eau ruisselée (mm) ;

$$P = ETR + Ie + R \pm \Delta S$$

$$Ie = P - (ETR + R)$$

En note que pour une période d'observation longue, avec une succession de périodes sèches et humides, MAURICE GRISINI et al, négligent la variation de la réserve.

II.8. Estimation du Ruissèlement "R" :

On évalue la lame d'eau ruisselée à l'aide des débits journaliers mesurés dans les stations hydrométriques .La formule de TIXERON-BERKALOFF est utilisée pour les zones arides (P<300 mm) .Cependant, de nombreux auteurs l'ont adoptés pour le calcul de la lame d'eau ruisselées pour le Nord de L'Algérie. Elle est de forme suivante :

Avec :

- **R** : Lame d'eau ruisselée annuelle en mm ;
- **P** : Précipitation moyenne annuelle en mm ;
- **ETP** : Evapotranspiration annuelle en mm.

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

Tableau II.15 : Récapitulatif des résultats du bilan hydrologique

Paramètres	P	ETR	R	Ie
Unité	(mm/an)	(mm/an)	(mm/an)	(mm/an)
Station Bouteldja	755,88	473,67	180,38	101,83
		%	%	%
		62,66	23,86	13,47

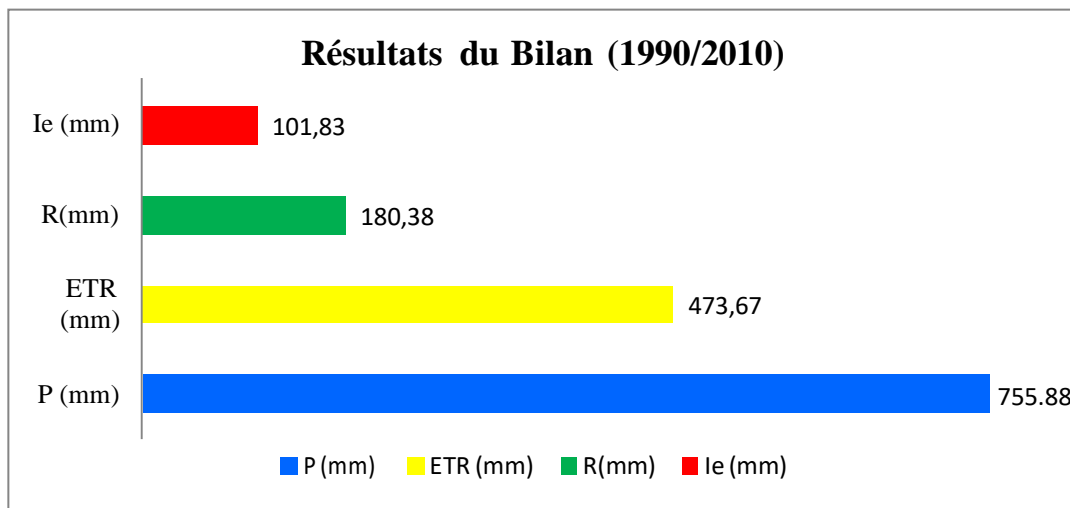


Figure II.16 : Résultats du bilan hydrologique dans la station de Bouteldja (1990/2010)

III.9. Conclusion :

Le sous bassin versant de Mafragh situé dans le bassin méditerranéen, se caractérise par un climat tempéré subhumide marqué par une pluviométrie de l'ordre de 755.88 mm, elle est irrégulière et discontinue en fonction de l'échelle annuelle et mensuelles avec une période sèche allant du mois de Mai au mois de Septembre et une autre humide allant du mois de Octobre au mois d'Avril.

Les résultats du bilan hydrologique calculés sur une période déficitaire (1990-2010) au niveau du sous bassin versant montrent que 62 % des précipitations retournent à l'atmosphère. Une quantité de ruissèlement est estimée de 23.86 % .Environ 13.47 % des pluies contribuent à la réalimentation des réservoirs aquifères particulièrement l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja.

Chapitre III :
Géologie

Chapitre III : Géologie

III.1.Introduction :

Ce chapitre porte un regard sur la géologie du sous bassin versant de Mafragh qui est intégré dans la wilaya d'El-Tarf. Avec une description détaillée de la lithostratigraphie et des importantes formations de la région et ainsi de sa structure.

Pour la réalisation de ce travail, beaucoup de travaux de nos prédécesseurs nous ont inspirés et qui sont mentionnés dans le texte mais aussi à partir des cartes géologiques et les notices correspondantes et un travail de recherche et de synthèse bibliographique des travaux majeurs réalisée dans la zone d'étude.

III.2. Situation de la zone d'étude dans les grands ensembles structuraux :

La région d'El-Tarf fait partie du tell algérien Nord orientale. Cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière Algéro-tunisienne. Plusieurs études géologiques (Joleaud.L, 1936, Hilly.J, 1963, Villa.J.M. 1980, Lahondere J.C., 1987) ont montrées que notre région d'étude est traversée par des terrains caractérisés par un ensemble de terrains sédimentaires (Figure.III.1.).

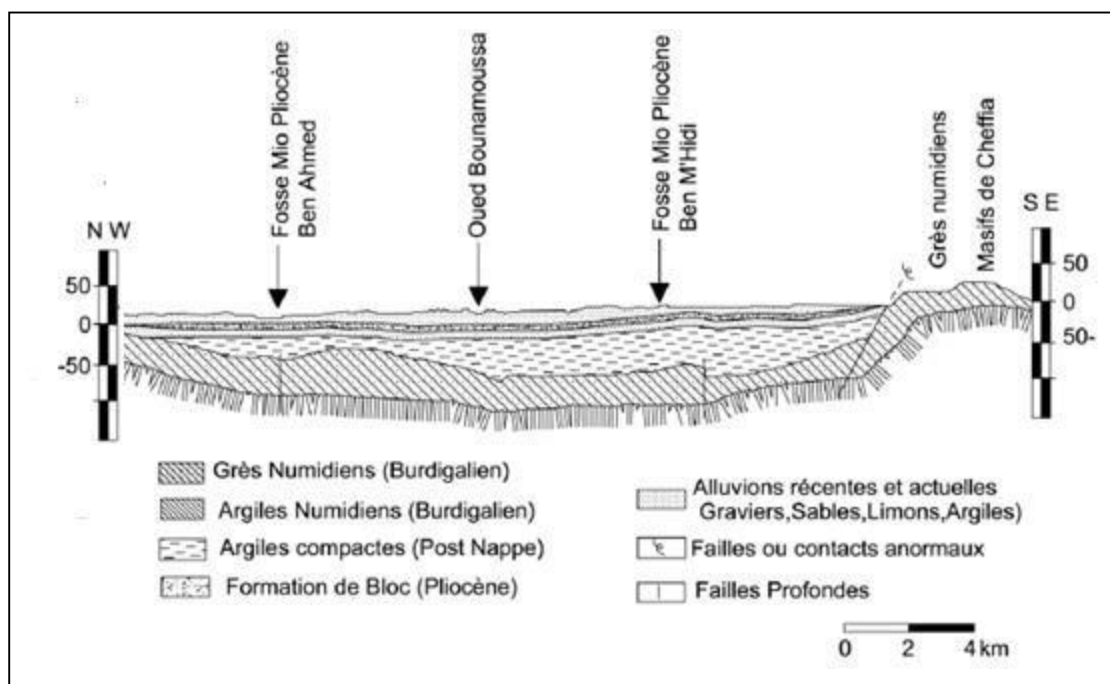


Figure.III.1: Coupe de terrains géologiques sédimentaire dans la zone d'étude
(VILL.J.M, 1980)

III.3. Description lithostratigraphique :

La stratigraphie du bassin de la Mafragh montre deux ensembles de terrains lithologiquement d'âges différents :

- un ensemble constitué d’affleurements de bordure caractérisée par des formations allant du crétacé supérieur au tertiaire.
- un ensemble constitué par des formations dunaires et alluvionnaires d’âge généralement quaternaire.

Nous décrivons successivement les principales formations allant de l’âge le plus ancien vers le plus récent (**Figure III.2 ; Figure III.3**).

II.3.1. Le mésozoïque :

On le rencontre en affleurement du niveau Sud de la région, exclusivement dans les monts de la Cheffia, il est constitué seulement par :

Le Crétacé qui comporte des calcaires dolomitiques riches en foraminifères et des débris de rudistes (**Débièche.T.H, 2002**). Et seul le Crétacé supérieur (sénonien) est représenté dans la région. Il occupe presque la totalité des monts de la Cheffia ou Il affleure et en territoire tunisien, Il est caractérisé par un faciès schisteux plus au moins argileux.

parfois il s’agit aussi d’un passage de calcaire avec alternance de marnes ou de micro-brèches épais de 5 à 10 cm. selon la répartition de quelques forages de reconnaissance répartis dans la cuvette de la Cheffia réalisés dans le cadre d’une étude géologique au droit de l’emplacement du barrage et de la galerie d’amenée, ont recoupé ces faciès.

III.3.2. Le Cénozoïque :

Cet ère est représenté par des formations géologiques qui sont pélogènes, néogènes et quaternaires sous les systèmes et séries suivant :

III.3.2.1. Paléogène

Représenté par les séries de l’écène et oligocène

A. Eocène : représenté par

1. Eocène Inferieur :

Présente des traits caractéristiques dans sa structure et sa composition lithologique à savoir silicification syngénitique, présence de roches volcaniques (Liparito-dacite). Il affleure dans les monts de la Cheffia en une série transgressive de calcaire massif à facies épineurien.

2. Eocène moyen :

Sont largement développés les marno-calcaires gris à silex (représentant les étages londonien et lutétien).

B. Oligocène :

Il comprend un groupe original de dépôts connus sous le nom de « Grés Numidiens ». Le terme numidien fut introduit par **Fischer (1989)** pour désigner les facies typiques des

roches oligocènes largement répandues au nord du continent africain. Ces formations constituent la plus grande partie d'une structure charriée importante « allochtone numidien ». Son développement régional, complique considérablement les possibilités de l'étude en profondeur vu que la série allochtone des dépôts n'est accessible à l'observation que dans les fenêtres d'érosion de la nappe.

Les formations des grés numidiens sont largement répandues dans notre zone d'étude, les traits particuliers de ces dépôts sont : la structure et la persistance de la composition lithologique. Ils servent comme un bon repère géologique. Ils sont en contact tectonique avec les argiles de l'Eocène supérieure.

Ce sont des formations constituées par des argiles surmontés par des grés numidiens avec des intercalations de petits bancs de grés quartzeux, ces grés d'âge aquitaniens d'une centaine de mètre d'épaisseur forment les reliefs des collines sur le flanc sud de la plaine d'El Tarf, limitent les alluvions des oueds.

III.3.2.2. Néogène :

Représenté par le Miocène (Pontien) qui affleure principalement au Sud de la région

Ce sont des accumulations d'assises de molasses qui font partie de la série post nappe, composée de sables et conglomérats gravelot-bocageux à lentilles de grés quartzeux et argileux de teinte brune en quasi-totalités, détruites par le processus de dénudation et conservées qu'en petites surfaces.

Les galets roulés et les blocs de dimensions jusqu'à 0.5 m, sont constitués par les grés du Numidien supérieur. La molasse du Pontien est constituée à sa base de conglomérats bien cimentés par une matière sablo-carbonatée sur une épaisseur de 300 m. Vers le sommet, on rencontre une alternance lenticulaire de conglomérats ainsi que des grés stratifiés obliquement et faiblement cimentés par du sable et d'argiles rouges

III.3.2.3. Le Quaternaire :

Il a fait l'objet dans plusieurs études particulières l'étude de (Joleaud .L ,1936) d'une manière très approfondie du fait de son importance hydrogéologique.

Ces formations sont la résultante des phénomènes hydrologiques successifs d'érosion d'altération, de transport et de dépôts qui se forment essentiellement au niveau des rives des oueds, de marais et des lacs.

Représenté par le quaternaire ancien, moyen et récent :

A. Quaternaire ancien :

Il caractérise les plaines de la région qui sont une vaste zone d'épandage de l'oued Bouna moussa et Kebir-Est. Il est marqué par un affaissement du littoral correspondant aux

alluvions sableuses rencontrées dans les terrasses moyennes alluvionnaires situées au Sud-Ouest de Bouteldja et au centre de la plaine d'El-Taref.

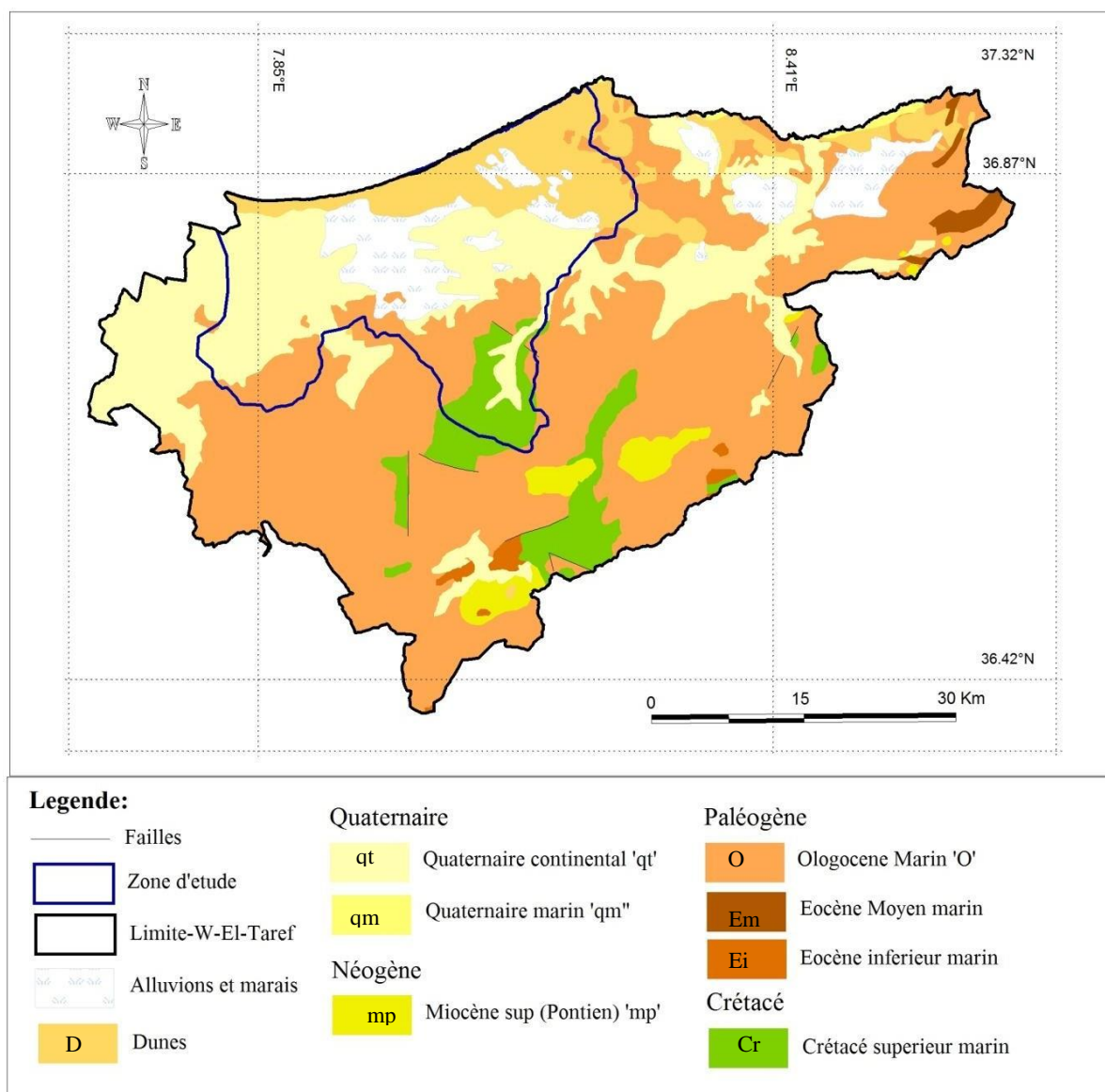


Figure III.2 : Carte géologique représentant la wilaya d'El Taref et le sous bassin Versant de Mafragh digitalisée à partir de la carte 1/500 000 de la carte géologique de l'Algérie

B. Quaternaire moyen :

Il est présent le long des versants des oueds, défini généralement par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux, en distingue :

- **Pléistocène Ancien :**

Il définit les hautes terrasses et se caractérise par des formations alluvionnaires avec des cailloux roulés et des blocs de grés numidiens enrobés ensemble dans une matrice argileuse.

- **Pléistocène Moyen :**

Correspond aux moyennes terrasses qui traversent la région d'El-Taref jusqu'à Ain-Assel et parfois les rives de l'oued Kebir-Est et qui sont constituées de cailloux roulés, de sables et de limons.

- **Pléistocène Récent :**

Correspond aux basses terrasses, aux versants des oueds et présente un granoclassement naturel défini par les galets à la base, surmontés par les graviers et à la surface se trouvent les sables et les limons.

C. Quaternaire récent :

Il correspond aux dépôts alluvionnaires, sables, cailloux et limons fins avec dominance d'argiles parfois canalisant ainsi les lits des oueds. Il caractérise les lagunes marines dans le M' Khada et au niveau du Lac des Oiseaux et aussi dans la région d'El Kala (lac Tonga, Oubéira et Mellah).

D. Quaternaire actuel :

Les alluvions sont représentées par des dépôts du lit actuel de l'Oued, généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

Le cordon dunaire représenté par un massif constitué essentiellement de sable d'origine marine. Il affleure largement entre le village de Chatt et la ville d'El-Kala (**Hani.A, 2003**).

E. Dunes :

Le massif dunaire dans la région d'étude est issu de la dégradation des massifs argilo-gréseux numidiens et gneissiques. Une grande quantité du matériel détritique fut charriée vers la mer puis dégradée en sable. Les éléments furent ensuite déplacés essentiellement par les vents vers l'intérieur et se répartissent uniformément dans les dépressions formant ainsi un matelas dunaire. Les niveaux d'argile en feuillets provenant directement du massif numidien, s'intercalent dans les niveaux sableux. (**Vila. J.M, 1980**).

Les travaux réalisés dans la région (**Khérici, 1985 ; Ramdani . A, 1996**) permettent de distinguer :

- Des sables blancs ou jaunes clairs généralement perméables, situés au centre du massif dunaire.
- Des sables plus perméables que les précédents.
- Des sables dont les grains sont enrobés d'une fine pellicule d'argile et de ce fait moins perméables que les bancs localisés surtout en bordure des reliefs gréseux.

- Des sables rouges, localisés à l'ouest et au sud-ouest, plus perméables que les précédents.
- Des vases sablo-limoneuses déposées au fond des marigots de couleur noire en relation avec la décomposition des végétaux.

Les analyses granulométriques effectuées dans le massif dunaire DE Bouteldja montrent une granulométrie fine à moyenne dont 75 à 85% de grains ont un diamètre de 0.15 à 0.5 mm.

D'après (**Ramdani .A, 1996**), les essais de perméabilité effectués par SOLETANCHE dans la région de Bouglès sur quelques sondages montrent que les sables rouges à fraction argileuse sont caractérisés par une perméabilité de 10^{-6} m/s. Par contre les sables jaunes foncés ont une perméabilité de l'ordre de 10^{-4} m/s et constituent donc un très bon réservoir aquifère (**Hani .A, 2003**).

III.4. Etude Structurale :

D'après les travaux de (**Villa .J.M, 1977, Strojexport, 1975 et Toubal .A.C. 1998**), le sous bassin de Mafragh fait partie de deux grandes unités structurales soigneusement décrites :

1- Les Monts de la Cheffia : occupent la partie sud de la région d'étude, constitués de formations grès-argileuses, on peut les assimiler à une ride tectonique, marquée par les anticlinaux parfois faillés à noyaux argileux.

2- La Plaine d'Annaba : qui occupe la plaine de Bounamoussa située dans la wilya d'El-Taref et une partie dans la région d'Annaba qui a subits deux événements tectoniques

- **Le premier** s'est produit durant le miocène inférieur jusqu'au miocène supérieur.
Les mouvements tectoniques provoquent l'enfoncement progressif des grés numidiens (conséquence de la deuxième phase alpine), par la suite, une formation continentale d'âge Plio-Quaternaire s'est déclenchée grâce à un remplissage par les matériaux détritiques.
Pendant le miocène inférieur, l'ensemble de la région a été soumise à des phénomènes orogéniques. Un isolement complet du massif de l'Edough, la plaine ainsi, se trouve au centre d'un bassin limité au nord par l'anticlinal du massif de l'Edough et au sud par un anticlinal principal de la chaîne numidique.
- **Le deuxième** : est à partir du pliocène et pendant le quaternaire, un effondrement déclenché des processus de formation et de comblement de la plaine sublittoral, cet effondrement est marqué par l'existence de deux fosses :
 - fosses de Ben Ahmed d'orientation, SUD- NORD
 - fosses de Ben-M'hidi orientée SW-NE.

L'ensemble de ce dispositif est affecté par des failles à forts pendages (60 à 80) de direction :

- NE-SW contact par faille entre les oueds Seybouse et Bounamoussa.
- NW-SE la faille de Cap Rosa, les failles de Bouteldja- El-Tarf.

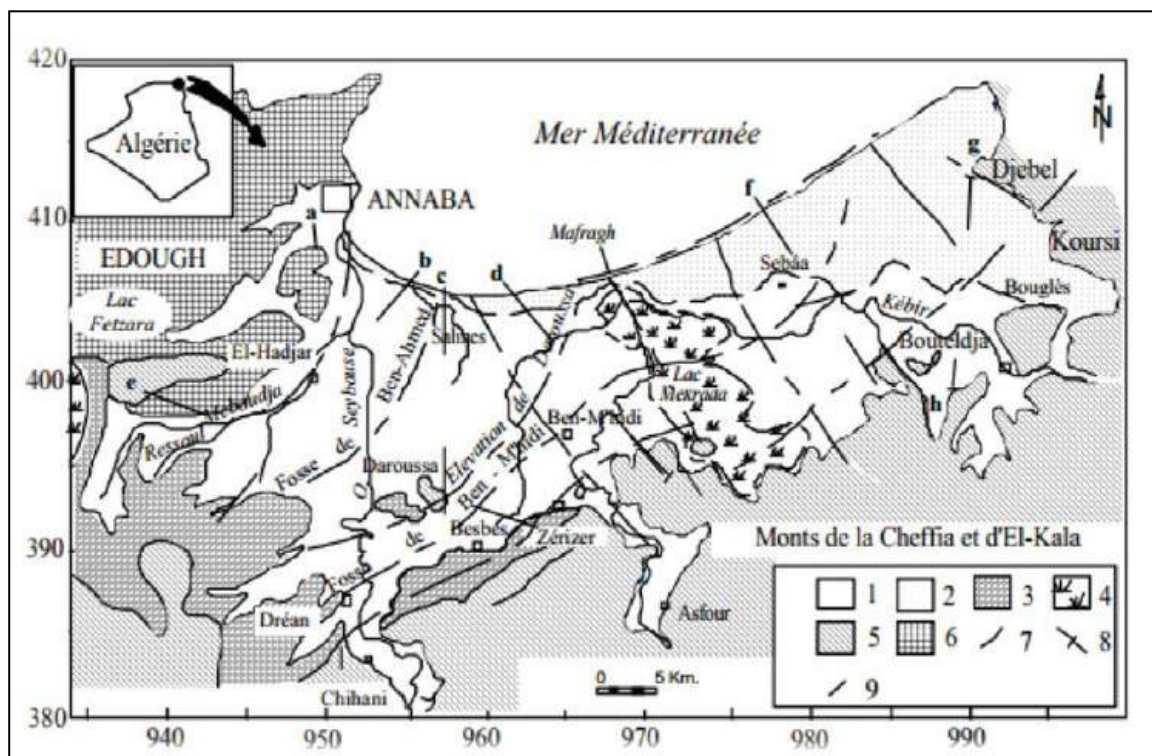


Figure III.3 : Carte structurale de la plaine d'Annaba (Strojexport, 1975, Toubal A.C 1998)

Avec : 1-Alluvions récentes et actuelles, 2-Dunes, 3-Alluvions anciennes, 4-Marécage ou lac, 5-Grès et argile numidiens, 6-Formations métamorphiques, Faille, 8-Axe des fosses, 9-Tracé de coupe.

III.5. Conclusion :

La zone d'étude fait partie du tell algérien Nord orientale. Cet ensemble s'étend de la région de Constantine jusqu' à la frontière Algéro-tunisienne.

Il est représenté par des formations géologie simple mais un cadre structurale très compliquée. Caractérisé par des terrains uniquement sédimentaires d'âge Méso-cénozoïque formée par les systèmes Céracé paléogène, néogène et quaternaire actuel.

L'effet de la tectonique marquée par la deuxième phase alpine durant le miocène inférieur jusqu'au Miocène supérieur et une autre phase à partir du pliocène et pendant le quaternaire avec un effondrement qui déclenche des processus de formation des deux fosses : fosse de Ben Ahmed d'orientation Sud-Nord et la fosse de Ben M'hidi orientée SW-NE avec le comblement de la plaine sublittoral.

Chapitre IV :
Hydrogéologie

Chapitre IV : Hydrogéologie

IV.1. Introduction :

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.

IV.2. 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

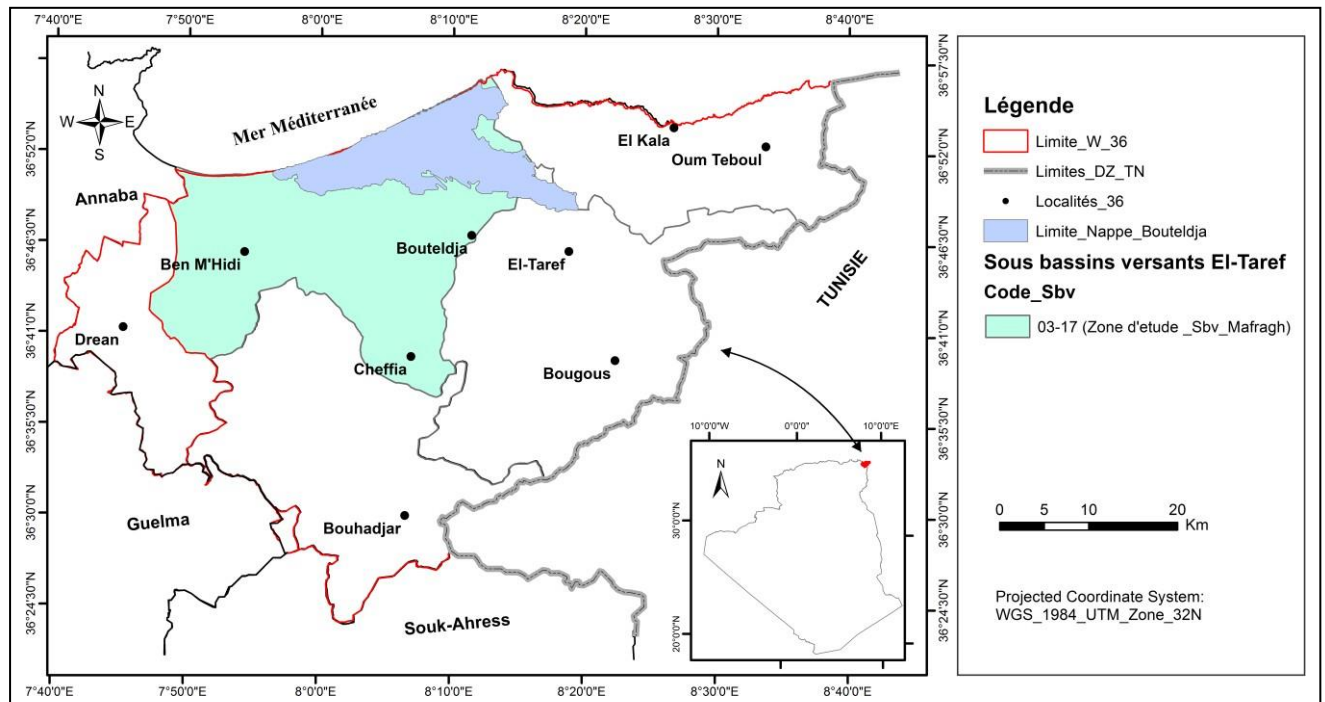


Figure IV.1 : Localisation de l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja.

IV.3. Description hydrogéologiques de l'aquifère du massif dunaire

IV.3. 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 épaisissements très importants des alluvions notamment à l'aplomb des thalwegs reconnus par la prospection géophysique

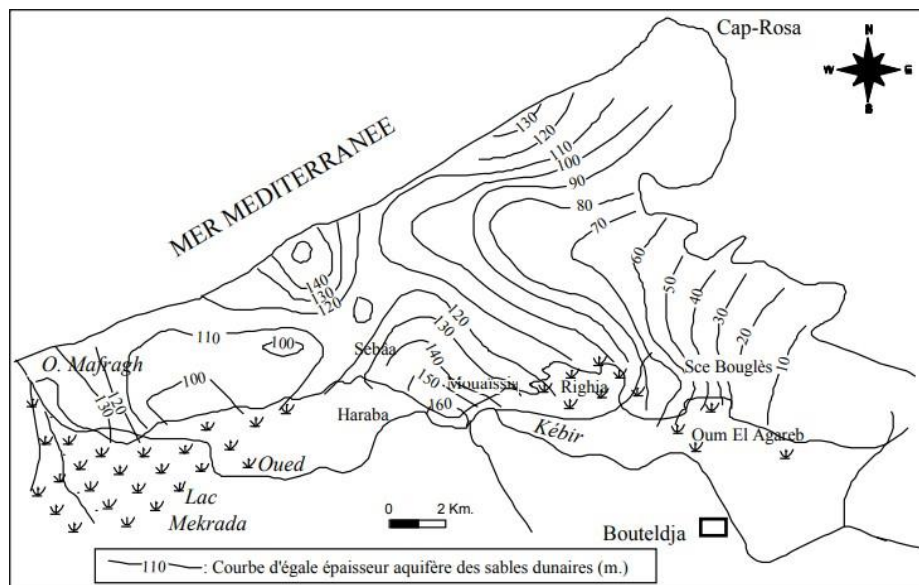


Figure.IV.2 : carte des isopaches des sables dunaires **Hani. A, (2003 ; 2011).**

IV.3.2. Nature des formations hydrogéologiques :

IV.3.2.1. 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 fluvatile 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).

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

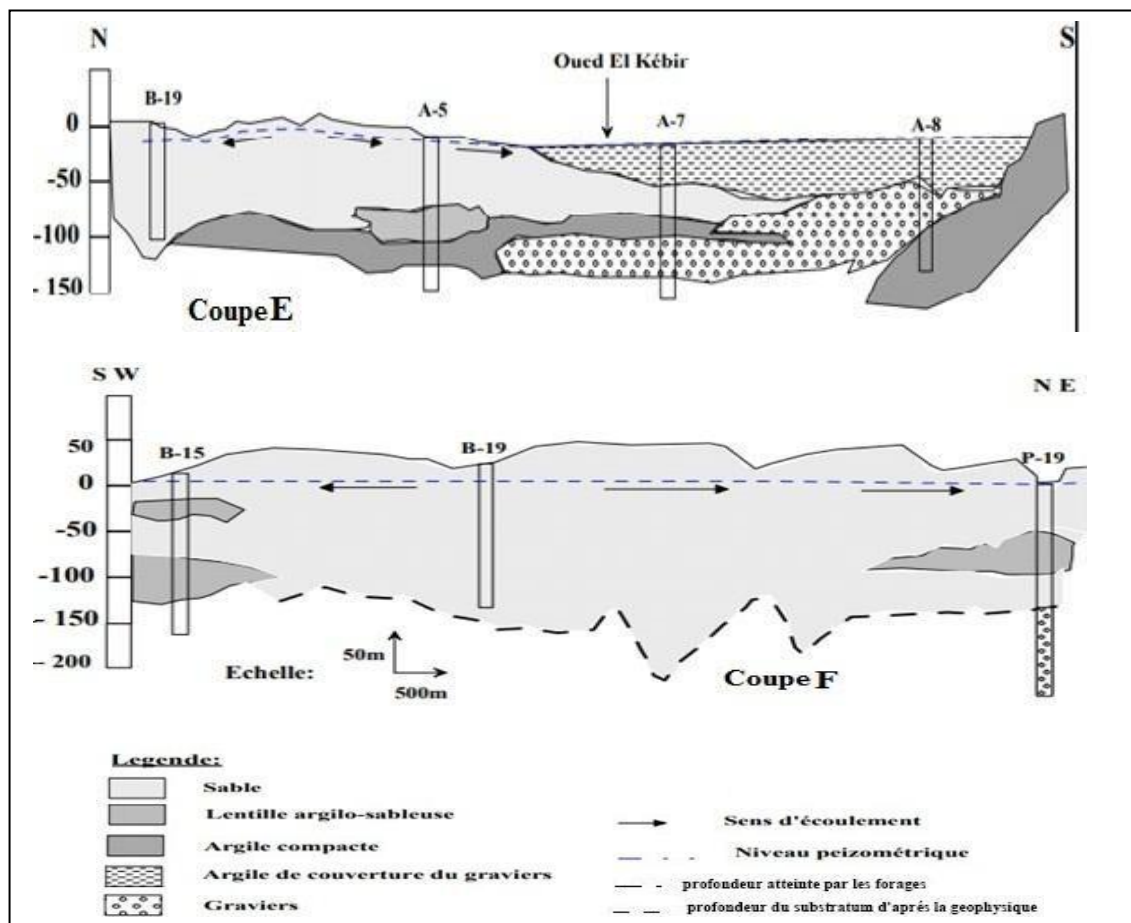


Figure.IV.3 : Coupe hydrogéologique dans l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja d'après (GAUD .B, 1975)

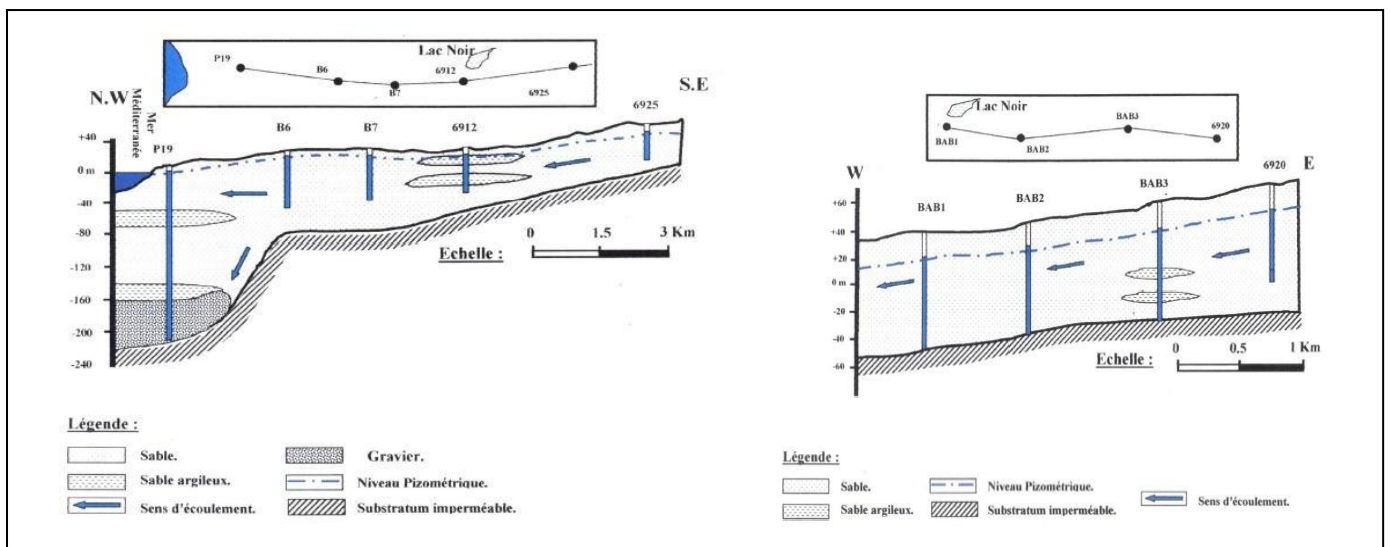


Figure.IV.4. Coupes hydrogéologiques schématiques dans l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja (Haid.N ,2008)

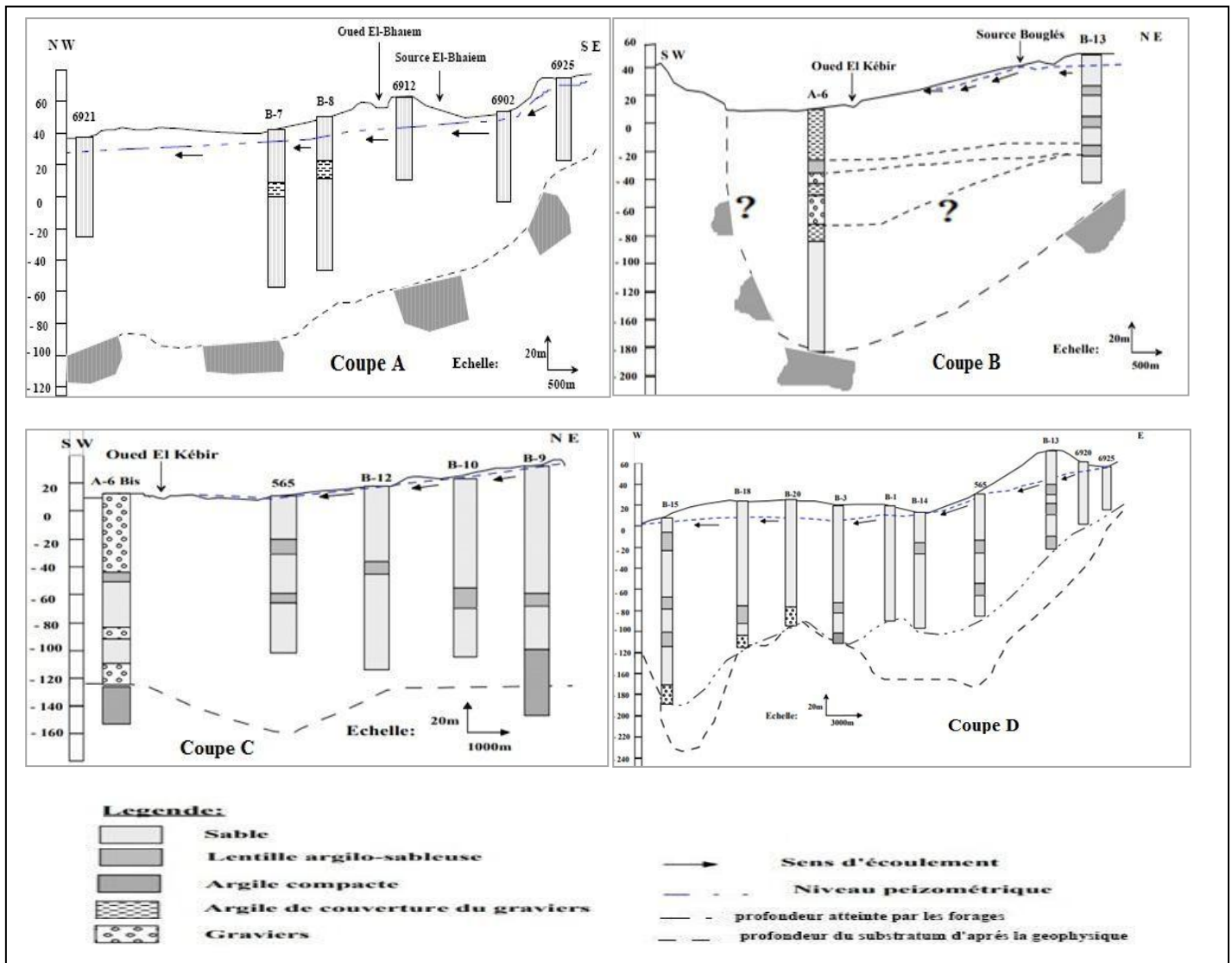


Figure IV.5 : Coupe schématique hydrogéologique corrélatives d'après les coupes des forages et la géophysique D'après (Nouacer. R. 1993).

IV.3.2.2. 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.

IV.4. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe aquifère de Bouteldja :

IV.4. 1. La piézométrie :

Les données piézométriques fournies par l'ANRH sont incomplètes et éparpillées 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.

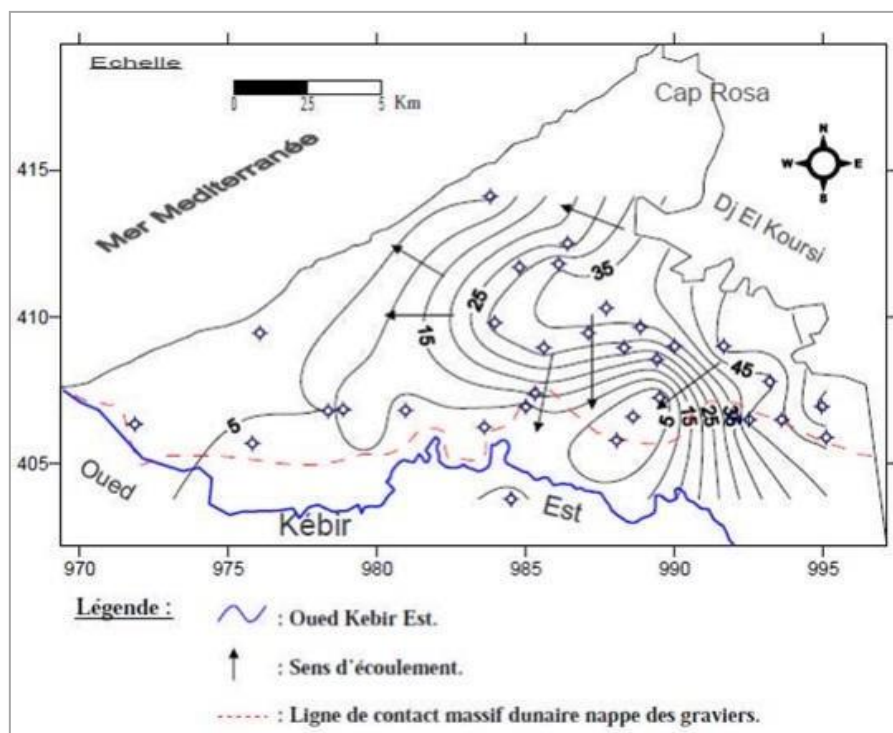


Figure.IV.6. Carte piézométrique de la nappe du massif dunaire de Bouteldja en 1982 (Kherici N. 1985).

IV.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 (inferieurs 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.

IV.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.

IV.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'emmagasinement pourraient être plus faibles (Saadelli .B, 2007)

IV.5. Les zone d'alimentation La nappe des sables dunaires de Bouteldja :

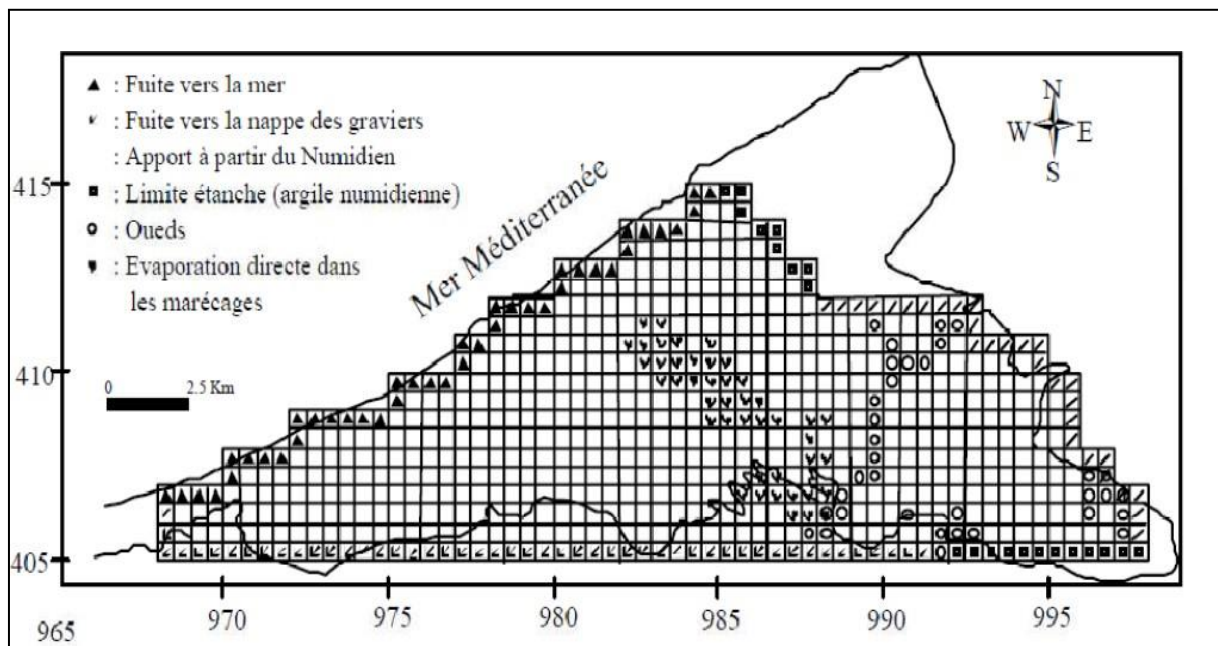


Figure IV.7 : Schéma des conditions aux limites de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja, (Gaud.B, 1975) et (Hani.A, 2003).

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).

IV.6. Conclusion :

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 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 $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, tandis que la perméabilité varie entre $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ et $1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ 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 V :
Hydrochimie et pollution

Chapitre V : Hydrochimie et pollution

V.1. 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 (2010 et 2004) des basses eaux qui correspondents au mois de septembre et des hautes eaux qui correspondents au mois de Mai (2004-2010).

V.2. 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.

V.2.1. 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^{++} 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)**

V.2.2. 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.

V.2.3. 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)**.

V.3. Qualité des eaux souterraines

V.3.1. 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 µs/cm à 285 µs/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.

V.3.2. 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.

V3.2.1. Période 2004 des hautes eaux et des basses eaux (Figure.V.1-2) :

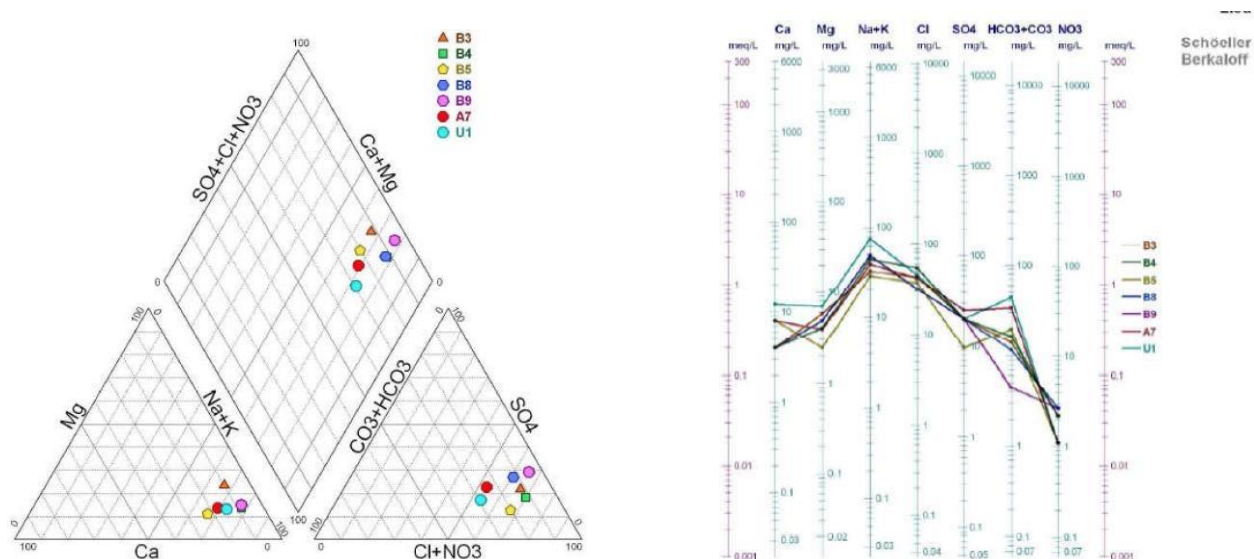


Figure.V.1. Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2004)

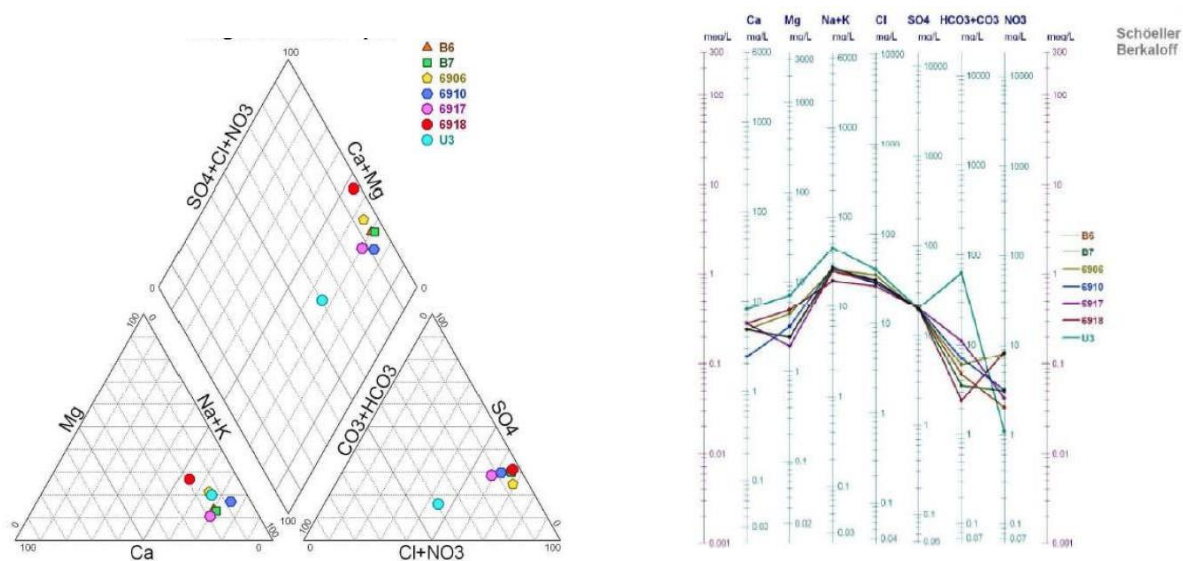


Figure.V.2. Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des basses eaux (Septembre 2004)

V3.2.2. Période 2010 des hautes et des basses eaux (Figure V.3-4) :

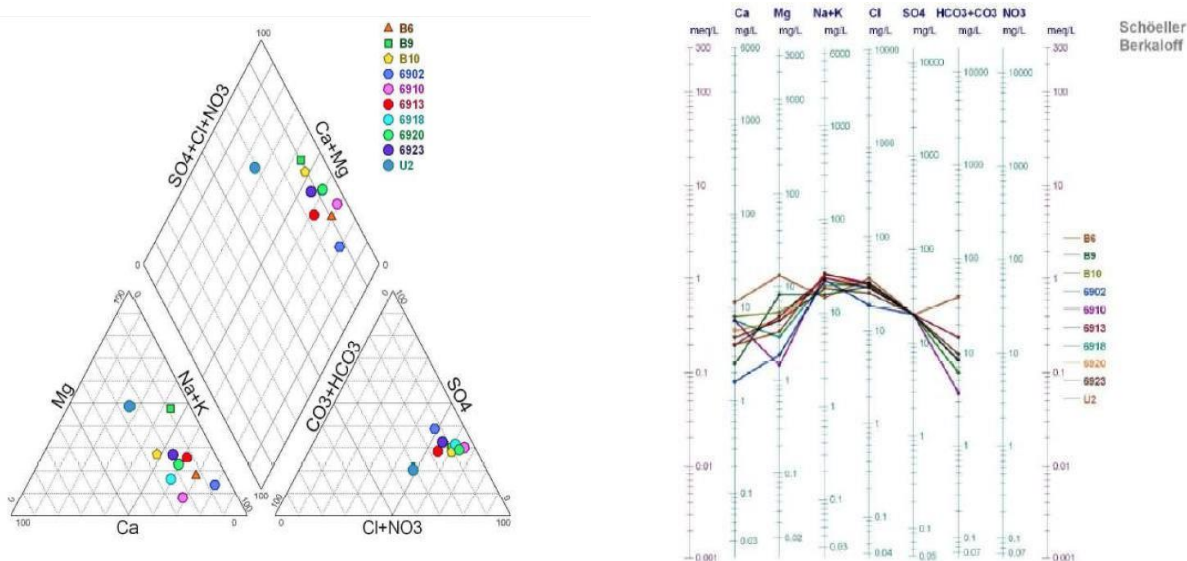


Figure.V.3. Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des hautes eaux (Mai 2010).

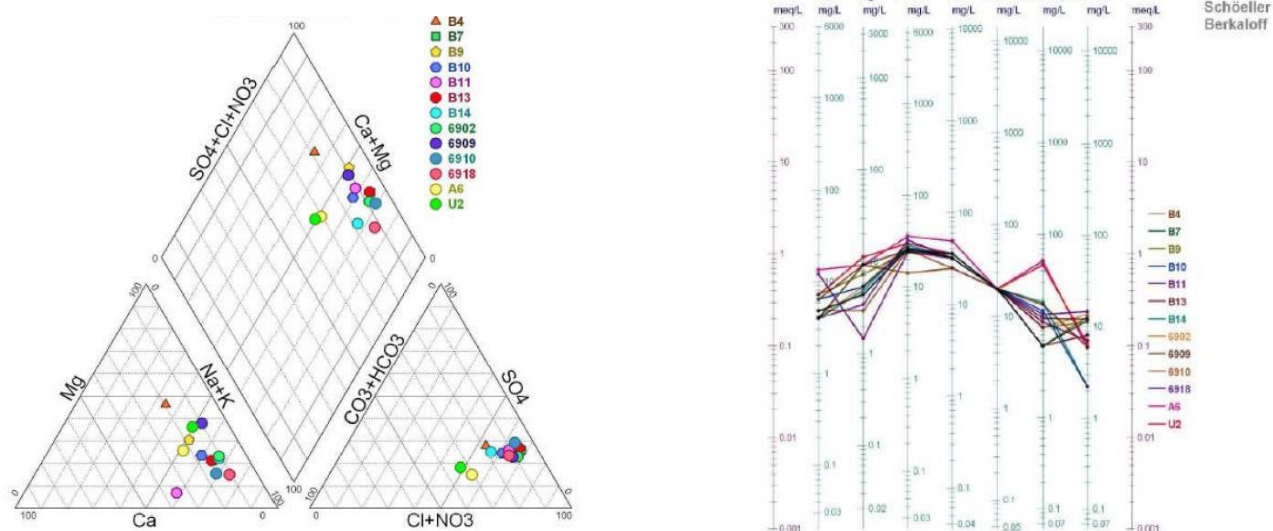


Figure.V.4. Diagramme de Piper et de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja période des basses eaux (Septembre 2010).

V.4. 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.	$r\%Cl^- > r\%SO_4^- > r\%HCO_3^-$, $r\%(Na^+ + K^+) > r\%Mg^{2+} > r\%Ca^{2+}$	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. 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.

V.5. 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 pratiquée et qui causent des dégâts considérables sur les eaux souterraines. Ces activités sont combinées à l'avancée du bises salée mais aussi aux effets de la nature lithologiques de aquifère et des sols et aux changements climatiques en ascension progressive durant spécialement les dernières années.

Les principaux secteurs qui polluent dans notre zone d'étude sont : les activités industrielles d'activité urbaines avec les rejets solides et liquides domestiques, les transports, le tourisme et aussi l'agriculture.

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+ Ain Khiar + 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 (PO_4^{3-}) et Sulfates (SO_4^{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 de Annaba.

V.6. 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

Chapitre VI :
Vulnérabilité à la pollution et
son application dans la nappe
de Bouteldja

VI.1. Introduction :

L'exploitation intensive de la nappe du massif dunaire de Bouteldja conjuguée aux activités industrielles et agricoles qui causent sa pollution et la dégradation dans sa qualité mais aussi sa quantité, nous a menée vers la nécessité d'étudier sa vulnérabilité à la pollution avec l'utilisation des méthodes d'indexation et pondération DRASTIC et GOD et de discuter ainsi les résultats des deux méthodes pour déterminer les zones de la nappe les plus susceptibles d'être atteintes.

L'évaluation de la vulnérabilité à la pollution est basée sur l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) et les modèles géostatistiques.

VI.2. Définition et théorie de la vulnérabilité à la pollution :

Le concept de la vulnérabilité des eaux sous terraines a été introduit par (**Margat et al, 1968**), il se base sur le fait que les écosystèmes compris entre la surface terrestre et les aquifères protègent naturellement les eaux souterraines contre la pollution d'origine humaine, animale ou naturelle.

C'est une notion est complexe en raison du nombre de facteurs qu'elle fait intervenir et de l'importance qui peut être attribuée à chacun d'eux.

D'après, (**Lallemand Barres A. 1994**), décrivait que «la vulnérabilité de l'eau Souterraine à la pollution s'exprime par la sensibilité de nappe aux différents agents pollueurs exposés à la surface du sol, il ajoute que c'est le degré de l'accessibilité des polluants à la nappe »

(**Bauton.O et J.P.Villeneuve, 1987**), indiquent que le concept de la vulnérabilité peut être considéré à trois niveaux différents :

- 1- Migration des évolutions du polluant dans le système aquifère,
- 2- Effet du contaminant (le polluant) sur la qualité de l'eau.
- 3- Evaluation du risque de pénétration de polluant,

Le premier niveau est apporté au terme de la « **vulnérabilité intrinsèque** » des eaux souterraines, utilisée dans les cas où seules les caractéristiques naturelles des écosystèmes sont appréhendées, et c'est dans ce champ que notre étude s'appliquerait.

Le deuxième niveau est apporté alors au terme de « **Vulnérabilité spécifique** » des eaux souterraines, utilisé lorsque la nature du polluant et son scénario d'entrée dans le système sont considérés.

Le troisième niveau se rapporte au « **Risque** », tient compte des scénarios possibles et de la probabilité d'occurrence des événements polluants et les conséquences spatio-temporelle sur les eaux souterraines et l'environnement.

VI.3. Cartographie de la Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines

Ils existent plusieurs méthodes d'estimation de la vulnérabilité à pollution qui vont des méthodes statistiques et des méthodes de processus de simulation aux méthodes de superposition à index. C'est à ces dernière méthode que intéresse notre cadre d'étude de vulnérabilité intrinsèque et d'après (Yahiaoui .S, 2009, 2015) elle repose sur la combinaison de différentes cartes thématiques par affectation d'indice numérique, avec l'utilisation des systèmes d'information géographiques (SIG).

VI.3.1. Méthode d'estimation de la vulnérabilité par méthode de superposition à index :

Dans notre étude nous allons utiliser deux méthodes de superposition à index :

- La méthode DRASTIC
- La méthode GOD

VI.3.1.1. La Méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC est d'origine américaine, développée par NWWA (National Water Well Association), entre 1983 et 1987 comme base pour l'évaluation du potentiel des eaux souterraines. Elle est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité, qui sont la synthèse des connaissances lithologique, pédologique et hydrogéologique d'une région.

VI.3.1.1.A. Condition et limites de son application (Aller et Al. 1987).

- Elle s'applique à des unités de surface supérieure à 40 hectares,
- La source de pollution potentielle est localisée à la surface du sol,
- Les polluants sont entraînés depuis la surface du sol jusqu'à l'aquifère par l'infiltration efficace,
- Dans le cas où la source de pollution est située en profondeur dans le sol, la méthode reste valable à condition de modifier les paramètres affectés par la position de la source de pollution.

VI.3.1.1.B. Paramètres de la méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985 et aller et al. en 1987, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (Schnebelen et Al, 2002).

La méthode DRASTIC est en fait constitue un ensemble d'acronymes de sept (07) paramètres pris en compte dans cette méthode qui sont :

- **D** : Depth to Groundwater (profondeur de la nappe) ;
- **R** : Recharge (Recharge de la nappe) ;
- **A** : Aquifer media (Nature de lithologique de Zone saturée) ;
- **S** : Soil media (Nature du sol) ;
- **T** : topographie (Topographie, pente en %) ;
- **I** : impact of the Vadose zone (Nature de la zone non saturée) ;
- **C** : Conductivity (Conductivité hydraulique et ou la Perméabilité de l'aquifère).

Tableau.VI.1 : Quelques propriétés de chaque paramètre et son poids. (Yahiaoui, S, 2015)

Paramètres		Propriétés
D	Profondeur de la nappe	Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met du temps pour atteindre la surface piézométrique
R	Recharge annuelle	Véhicule principal du transport du contaminant. plus cette recharge est grande, plus le risque de contamination est élevé
A	Milieu aquifère	Caractérisé par la granulométrie des terrains saturés. plus la granulométrie est fine, plus le piégeage du polluant est grand.
S	Type de sol	Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.
T	Topographie	Plus la pente des terrains est faible, plus les eaux sont stagnantes par conséquent la contamination des eaux souterraines est importante.
I	Zone non saturée	Son impact est déterminé à partir de la texture des terrains. la percolation du polluant jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette texture est favorable (graviers, sables grossiers).
C	Conductivité hydraulique	Plus ce paramètre est grand, plus le transfert du polluant est rapide

VI.3.1.2. La méthode GOD (Foster, et al, 1987).

Cette méthode a été développée par (Foster, et al, 1987). Elle matérialise la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

Comme la méthode précédente constituée de trois (03) acronymes qui représentent les paramètres de la méthode et ils sont :

- **G** : Groundwater occurrence : Type de nappe.
- **O** : Overall aquifer class : caractéristique de l'aquifère en termes de facteurs lithologiques et de perméabilité de la zone non saturée.
- **D** : Depth to groundwater table : Profondeur de la nappe.

VI.4. Méthodologie d'application des méthodes de la vulnérabilité :

VI.4.1. Acquisition des données :

Plusieurs bases de données ont été réalisées pour effectuer cette étude de vulnérabilité, le tableau suivants récapitule l'essentiels de ces données :

Tableau IV.2 : Principales sources d'acquisition de données utilisées.

Paramètres		Principales sources d'information
D	Profondeur de la nappe pour DRASTIC et GOD	- Carte piézométrique - Données des logs de sondages mécaniques exécutés dans la région - Modèle Numérique de terrain (MNT) - Cartes topographiques.
R	Recharge nette	- Calcul du bilan hydrique.
A et G	Nature de lithologique de la Zone saturée + Type de l'aquifère pour DRASTIC et GOD	- Données des logs de sondages mécaniques exécutés dans la région. - Coupes hydrogéologiques - Etudes électriques - Travaux hydrogéologique
S	Nature du sol	- Cartes pédologiques Echelle 1/500 000
T	Topographie	- Modèle numérique de terrain MNT - Carte topographique
I et O	Impact de la ZNS pour DRASTIC et GOD	- Coupes lithologiques de forages (A. Claire 1952-1956 à nos jours). - Coupes hydrogéologiques - Etudes électriques
C	Conductivité hydraulique	- Les essais de pompage - Travaux hydrogéologique - Travaux géophysiques

VI.4.2. Application de la Méthode DRASTIC par le système de cotation (Annexe) :

Pour chacun des paramètres DRASTIC, une cote 'c' est attribuée sur une échelle entière allant de 1 (le moins important) à 10 (le plus important).

On désigne aussi une valeur numérique à chaque paramètre de 1 à 5 qui correspondra au poids 'p' et qui augmente selon l'importance du paramètre dans l'estimation de la vulnérabilité, c'est-à-dire, selon son influence sur la vulnérabilité de la nappe. Ensuite des indices de chaque paramètre DRASTIC sont calculés, qui permettent de calculer aussi indice de vulnérabilité finale 'IV' par superposition avec l'utilisation de la formule suivante :

$$IV-DRASTIC = (D_p * D_c) + (R_p * R_c) + (A_p * A_c) + (S_p * S_c) + (T_p * T_c) + (I_p * I_c) + (C_p * C_c)$$

VI.4.2.1. Etapes de réalisation (Figure VI.1)

L'organigramme suivant résume les étapes de la réalisation des cartes de vulnérabilité à la pollution par la méthode DRASTIC

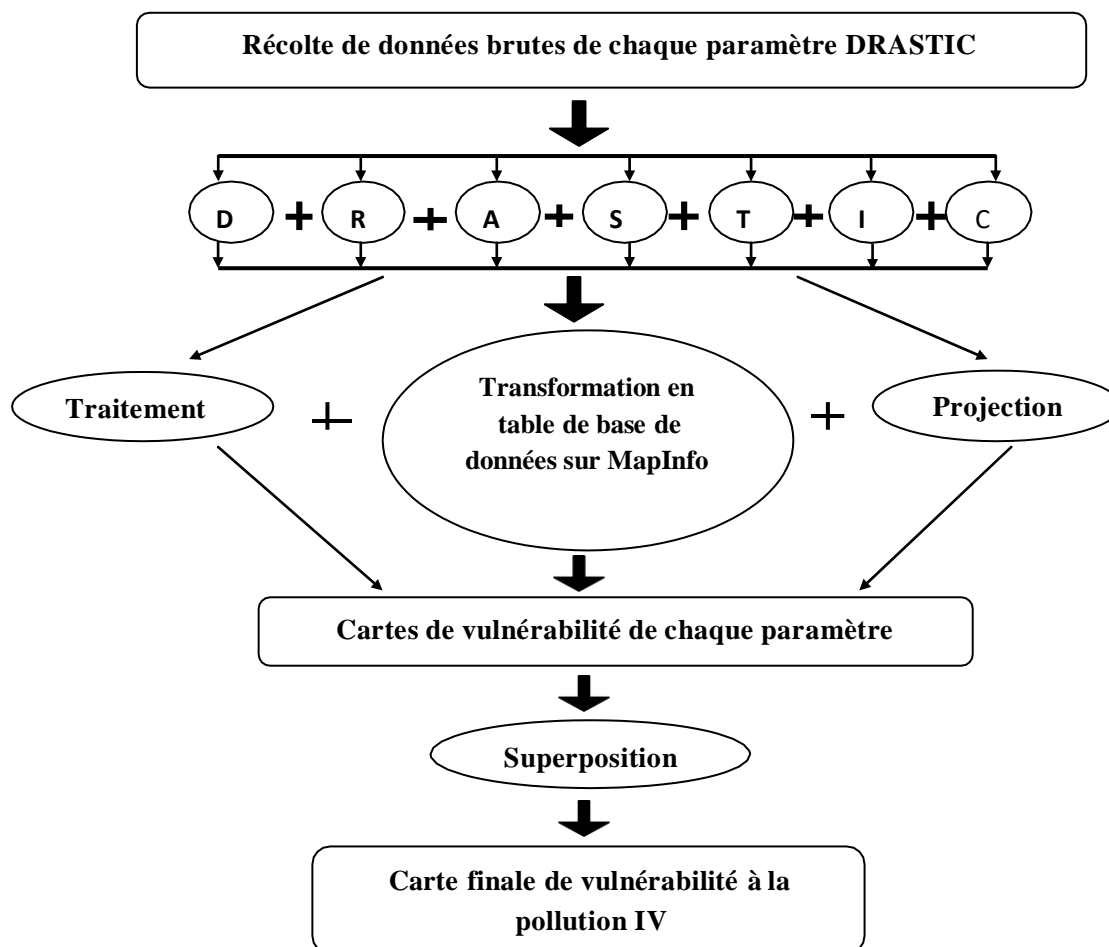


Figure IV.1. : Etape de la cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines par la méthode DRASTIC (Yahiaoui .S, 2009, 2015).

VI.4.2.2. Echelle de vulnérabilité DRASTIC : (Tableau IV.3)

Tableau IV.3 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (Sinan.M et Al, 2003).

Indice IV	Degrés de vulnérabilité
27- 50	Très faible
50 - 75	Faible
75 - 110	Moyen
110- - 140	Élevé
140 - 166	Très élevé

VI.4.3. Application de la méthode GOD (Foster, et al, 1987). :

Elle présente aussi un système de cotation (Annexe) qui permet de réaliser la base de données et de calculer l'indice de vulnérabilité (I-GOD) selon l'équation suivante :

$$I-GOD = Ca * Cl * Cd$$

Dont : Ca = cote du type d'aquifère ;

Cl = cote de la lithologie,

Cd = cote de la profondeur de la nappe.

La vulnérabilité à la pollution augmente avec l'indice et la classification qui se fait en cinq catégories, allant de 0 à 1.

VI.4.3.1. Echelle de vulnérabilité GOD : (Tableau IV.4)

Tableau IV.4 : Les classes de vulnérabilité et les indices correspondants (Aubre et Al., 1990)

Classe I-GOD	Vulnérabilité
0	Aucune
0-0,1	Très faible
0,1-0,3	Faible
0,3-0,5	Modérée
0,5-0,7	Forte
0,7-1	Extrême

VI.5. Résultats et interprétation de l'étude de vulnérabilité la pollution des eaux de la nappe de Bouteldja

La réalisation a été le fruit d'une confection d'une importante base de données, combinée aux outils du système d'information géographique et les systèmes de modèles géostatistiques sous ArcGis 10.4 et MapInfo 8.0.

VI.5.1 Cartes thématiques de la méthode DRASTIC :

VI.5.1.1. Carte du paramètre D, Profondeur de la nappe : (Figure IV.2):

Nous avons obtenue sept (07) classes de profondeur de la nappe :

Classe 1 : représente les grandes profondeurs qui sont supérieures à 31 m qui correspondent à l'indice ID = 5, localisée dans la partie Sud-Est et aussi au des forages situées au Nord proche de la méditerranée.

Classe 2 : représente quelques forages seulement avec des profondeurs entre 23 m et 31 m avec un indice ID=10.

Classe 3 : localisée dans la partie sud et centrale pour des profondeurs allant de 15 – 23 m et un indice ID = 15.

Classe 4 : occupe la majeure partie de la nappe avec des profondeurs allant de 9 -15 m et un indice ID = 25.

Classe 5 : cette classe est aussi importante dans la nappe occupe des profondeurs de 4.5 – 9 m pour une indice ID = 35.

Classe 6 : importante en zone Ouest de la nappe et au centre avec des profondeurs de 1.5 – 4.5 m et l'indice ID = 45.

Classe 7 : cette classe occupe quelques forages avec des valeurs de profondeur de 0- 1.5 m et un ID =50.

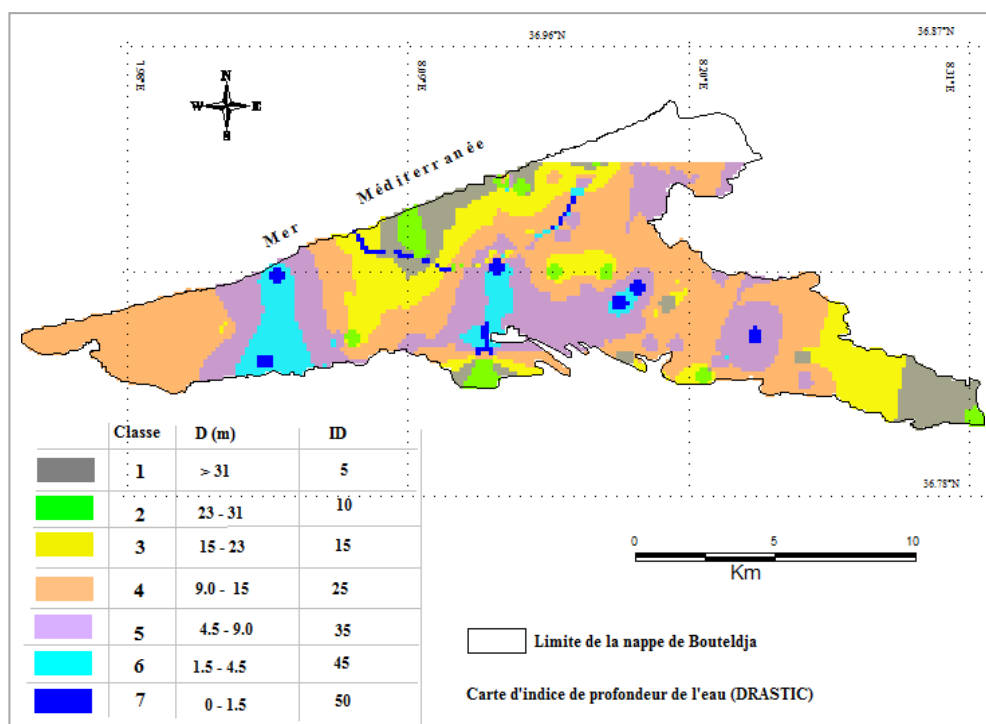


Figure IV.2: Carte du paramètre D, profondeur de la nappe Bouteldja

VI.5.1.2. Carte du paramètre R, Recharge de la nappe : (Figure IV.3) :

On a obtenu une classe :

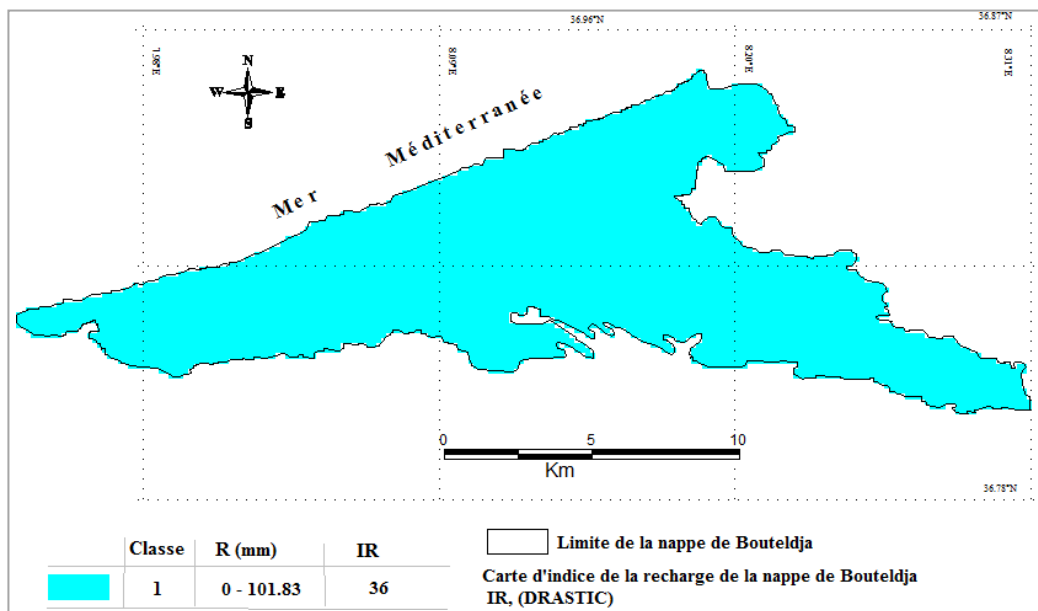


Figure IV.3: Carte du paramètre R, recharge de la nappe Bouteldja

Classe 1 : la recharge est calculée par le bilan hydrologique avec une valeur de 101.83 mm dans la station pluviométrique de Bouteldja, qui correspond à un indice IR =36.

VI.5.1.3. Carte du paramètre A, nature de la ZS de la nappe : (Figure IV.4):

On a obtenu trois classes :

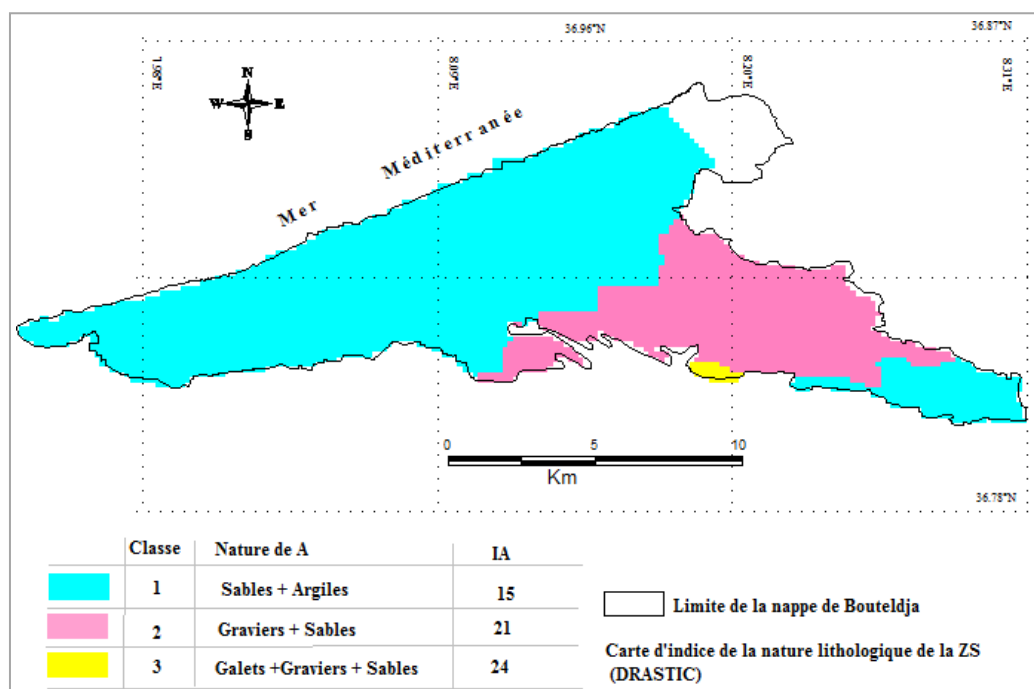


Figure IV.4: Carte du paramètre A, nature de la ZS de la nappe Bouteldja

Classe 1 : occupe une zone importante dans la nappe, au Nord et au Sud-Est qui correspond à des formations des sables et parfois on rencontre des argiles, avec un indice IA = 15.

Classe 2 : représente des sables et des graviers pour un indice IA = 21.

Classe 3 : une petite partie au Sud-Ouest de la nappe est occupée par une formation de mélange entre les galets, graviers et sables, avec un indice IA = 24.

VI.5.1.4. Carte du paramètre S, nature Sol : (Figure IV.5):

On a obtenu trois classes :

Classe 1 : caractérisée par un sol sableux et occupe la majeure partie de la surface de Bouteldja avec un indice de IS = 18.

Classe 2 : occupe une petite partie au centre, pour un indice IS = 8.

Classe 3 : représente les limons sableux et occupe plusieurs zones pour un indice IS = 6.

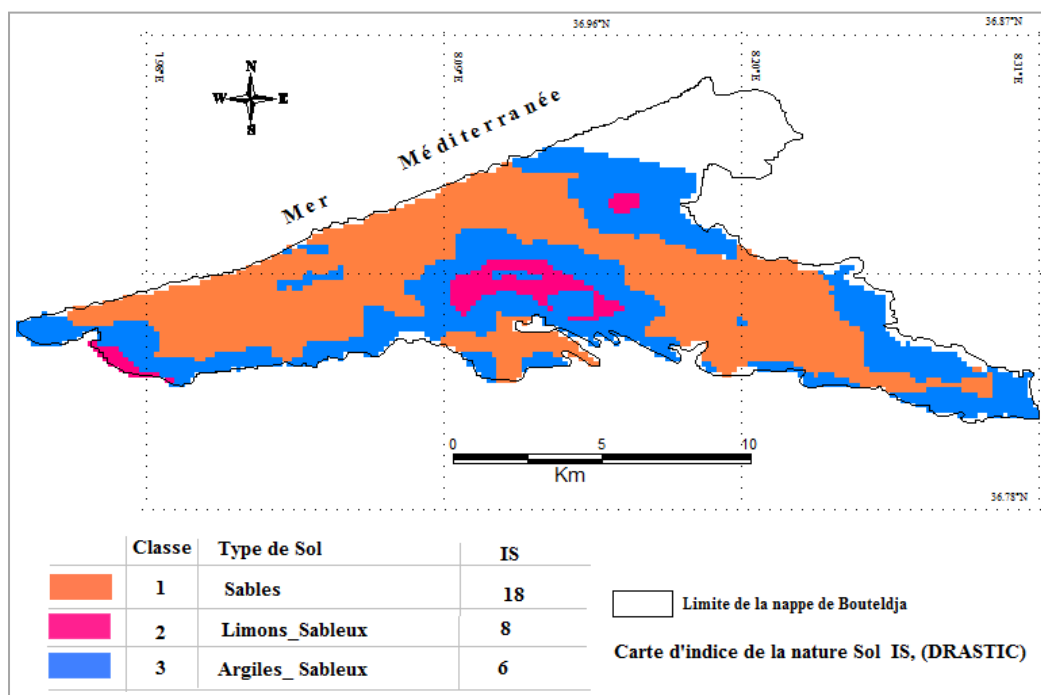


Figure IV.5 : Carte du paramètre S, nature Sol de Bouteldja

VI.5.1.5. Carte du paramètre T, pente % de Bouteldja : (Figure IV.6):

On a obtenu cinq classes :

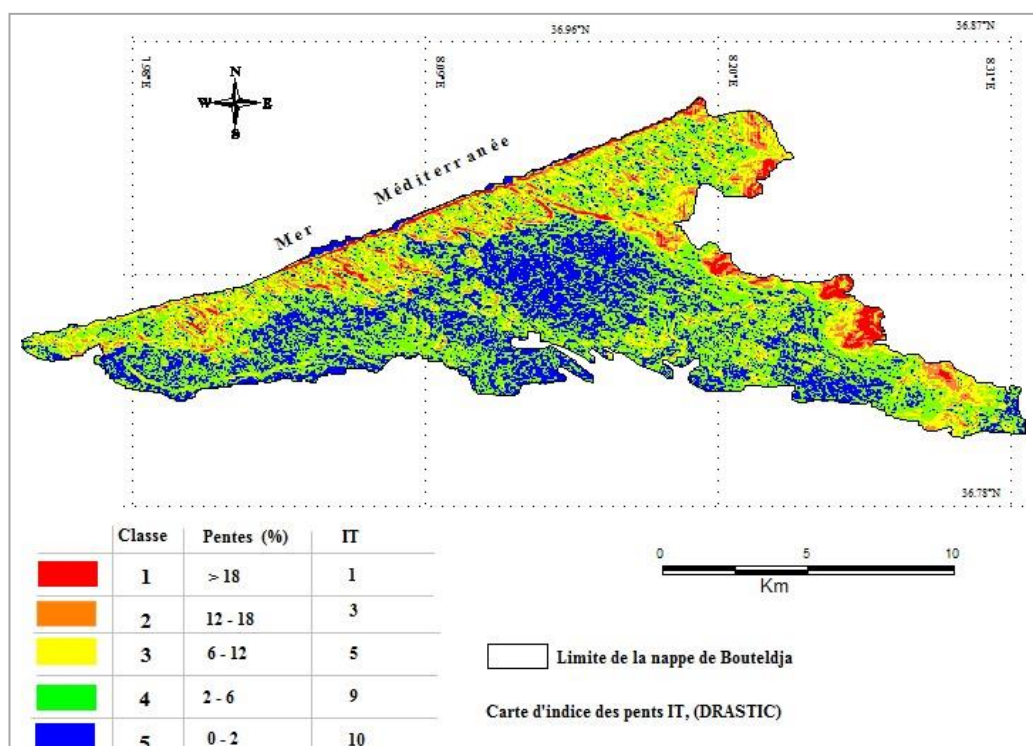


Figure IV.6 : Carte du paramètre T, pente (%) de Bouteldja

Classe 1 : les pentes importantes supérieures > 18 % du massif dunaire sont situées à l'Est de la Bouteldja ; indice IT = 1.

Classe 2 : ce sont des pentes entre 12 à 18 % avec IT = 3, occupent l'Est et le Nord

Classe 3 : des pentes allant de 6- 12 % pour un indice IT = 5, occupent la partie Nord et Est

Classe 4 : elles vont de 2 – 6 %, pour un IT = 9, occupent une importante zone.

Classe 5 : elles occupent la majeure partie de la zone d'étude, varient de 0 -2 % pour un IT = 10.

VI.5.1.6. Carte du paramètre I, nature de la ZNS de la nappe : (Figure IV.7):

On a obtenu cinq classes :

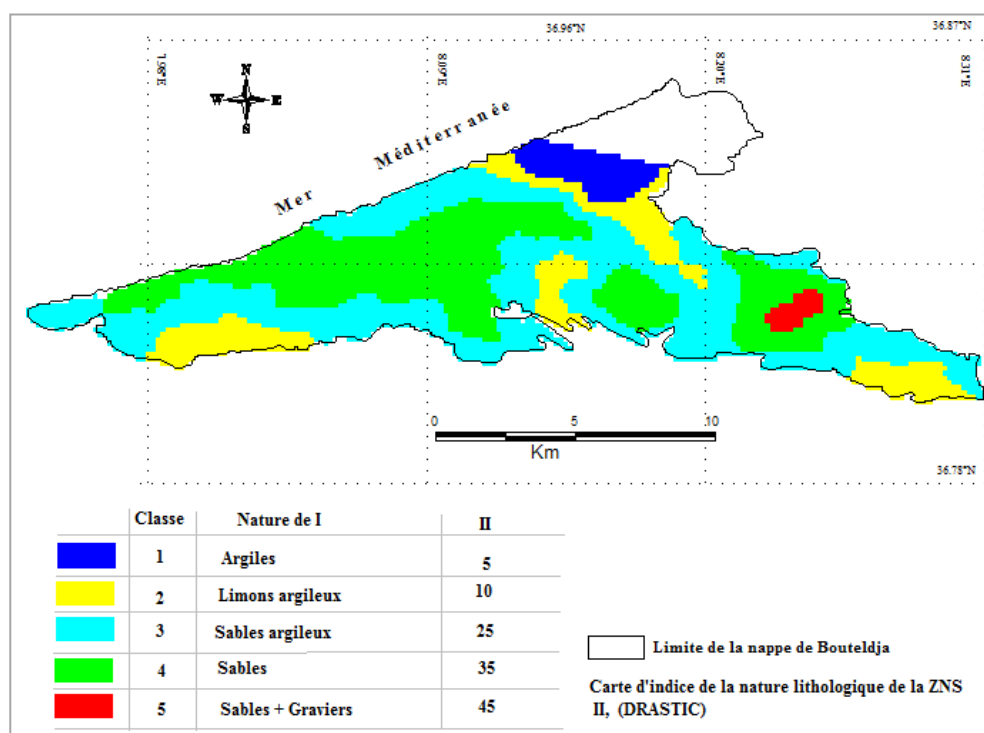


Figure IV.7 : Carte du paramètre I, nature de la ZNS de la nappe Bouteldja.

Classe 1 : des argiles qui occupent la partie Nord-Est, avec II = 5.

Classe 2 : ce sont des limons argileux dans certaine partie Nord, Sud et Ouest, II =10.

Classe 3 : occupe une bonne partie de la zone, représentée par des sables plus au moins argileux, II = 25.

Classe 4 : ce sont des sable localisés dans la partie centrale et aussi Sud, II = 35.

Classe 5 : c'est des sables graveleux situés dans la zone Sud, II = 45.

VI.5.1.7. Carte du paramètre C, Conductivité hydraulique : (Figure IV.8):

On a obtenu deux classes :

Classe 1 : occupe toute la partie Nord-Ouest pour des conductivités variant entre $4,72.10^{-7}$ à $4,72.10^{-5}$ (m/s), pour un IC = 3.

Classe 2 : occupe toute la partie Est de la nappe de Bouteldja avec des conductivités de $3,304.10^{-4} - 4,720.10^{-4}$ (m/s).

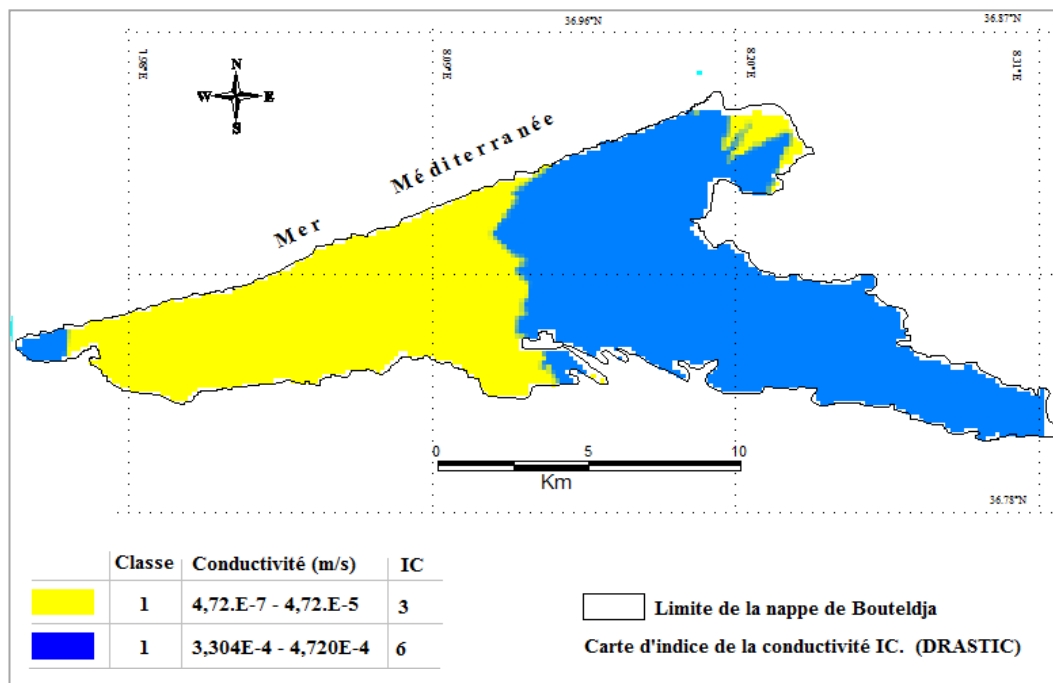


Figure IV.8 : Carte du paramètre C, Conductivité hydraulique

VI.5.2. Cartes thématiques de la méthode GOD :

VI.5.2.1. Carte du paramètre G, Type d'aquifère : (Figure IV.9):

On a obtenu une classe :

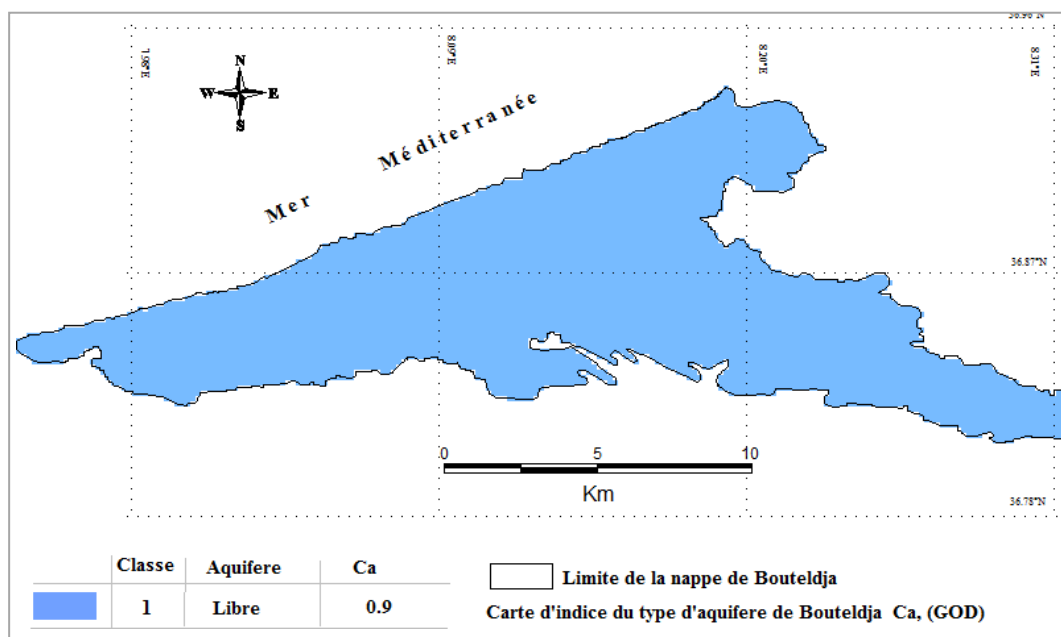


Figure IV.9 : Carte d'indice du type d'aquifère de la nappe

Classe 1 : l'aquifère de Bouteldja et a nappe libre pour une indice $Ca = 0.9$.

VI.5.2.2. Carte du paramètre O, Nature de la ZNS de la nappe : (Figure IV.10):

On a obtenu deux classes :

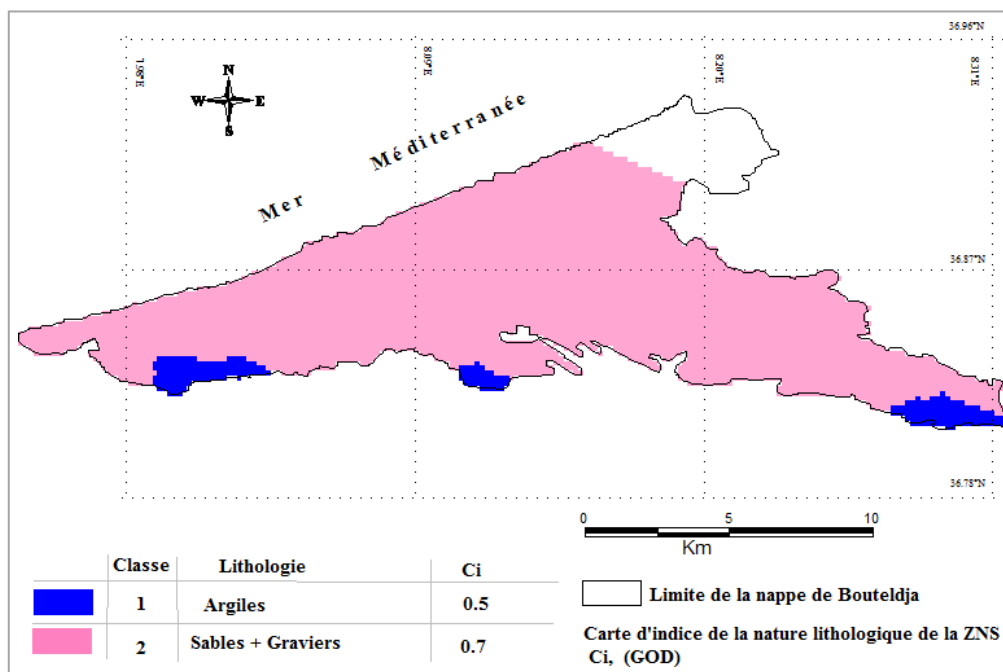


Figure IV.10 : Carte d'indice du la nature de la ZNS de d'aquifère de la nappe Bouteldja

Classe 1 : occupe les limites de la nappes en de petite zone d'Argiles avec un indice $C_i = 0.5$.

Classe 2 : cette classe occupe la majeurs partie de la nappe représentée par des sables avec quelques graviers pour une un indice $C_i = 0.7$.

VI.5.2.3. Carte du paramètre D, Profondeur de l'eau : (Figure IV.11):

On a obtenu cinq classes :

Classe 1 : de profondeur de 50 – 100 m avec un $C_d = 0.5$.

Classe 2 : des valeurs de 20 – 50 m, $C_d = 0.6$.

Classe 3 : de profondeurs e 10 a 20 m qui occupe la majeure partie de la nappe pour un $C_d = 0.7$.

Classe 4 : profondeurs de 5 – 10 m, $C_d = 0.8$.

Classe 5 : profondeurs de 0 – 2 m pour un $C_d = 1$.

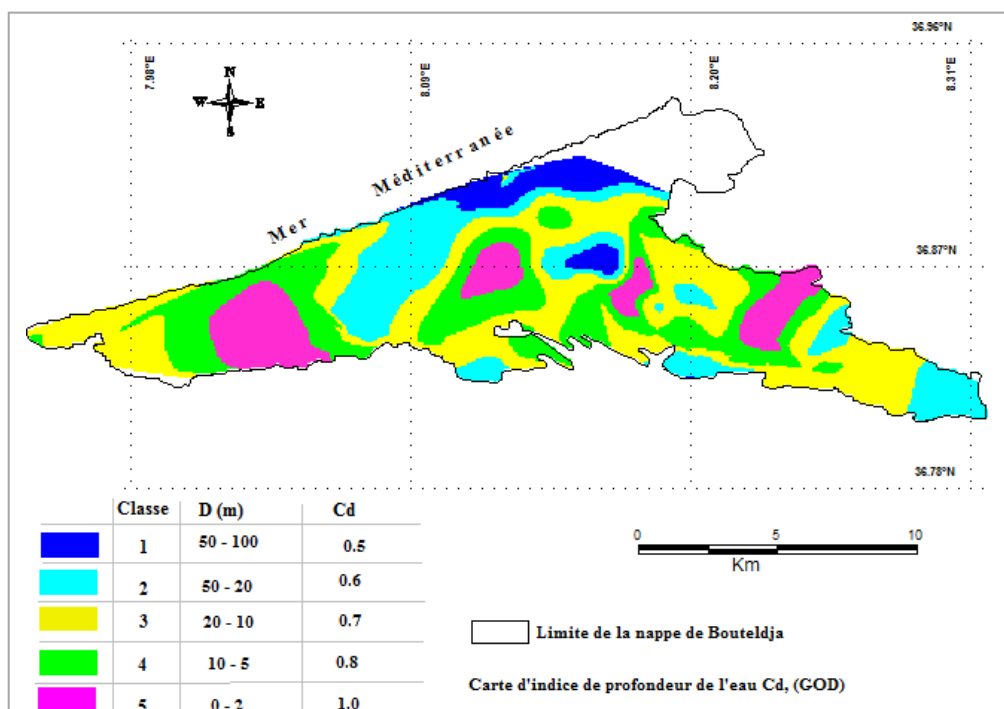


Figure IV.11 : Carte d'indice de la profondeur de la nappe Bouteldja

VL6. Cartes finales de vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bouteldja, méthode DRASTIC et GOD :

VL6.1. Carte finale de vulnérabilité par la méthode DRASTIC :

La carte finale de la vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bouteldja est Obtenue avec la superposition des sept (07) cartes thématiques des paramètres DRASTIC avec un résultat de trois classes de zones de vulnérabilité :

Classe 1 : correspond à la vulnérabilité moyenne, elle occupe plusieurs partie de la nappe. L'indice total de vulnérabilité ' $82 < IV < 110$ '.

Classe 2 : elle est de vulnérabilité élevée et occupe les parties Nord-Ouest et les parties centrale de la nappe. L'indice total de vulnérabilité IV est compris entre ' $110 < IV < 140$ '.

Classe 3 : caractérisée par une vulnérabilité très élevée occupe la partie Nord proche de la mer méditerranéenne ainsi dans la partie centrale et Sud-Est. L'indice total de vulnérabilité est compris entre ' $IV > 140$ ', dans notre cas IV atteint approximativement ' $IV \approx 195$ '.

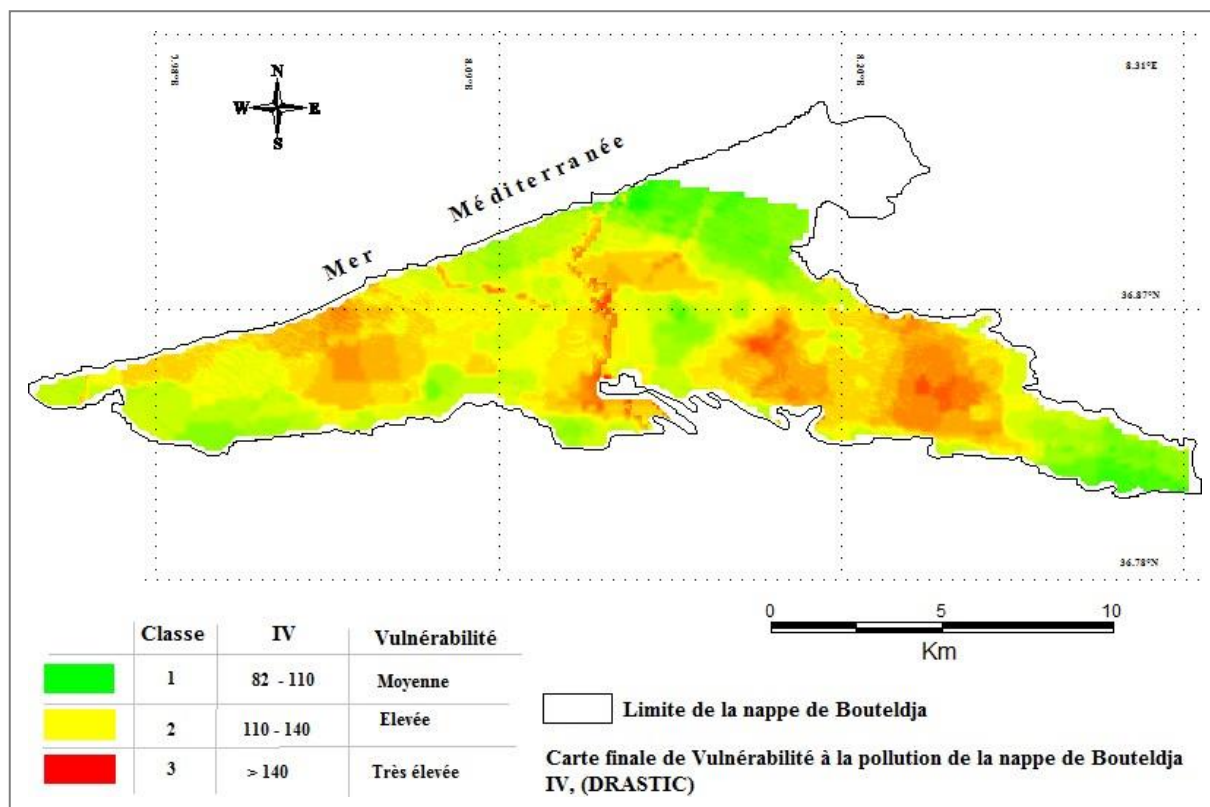


Figure IV.12: Carte finale de vulnérabilité à la pollution de la nappe du massif dunaire de Bouteldja obtenue par la méthode DRASTIC.

VI.6.2. Carte finale de vulnérabilité par la méthode GOD :

La carte finale de la vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bouteldja est Obtenue avec la superposition des trois (03) cartes thématiques des paramètres GOD avec un résultat de deux classes de zones vulnérables :

Classe 1 : correspond à la vulnérabilité moyenne, elle occupe la partie Ouest et la partie centrale de la nappe. L'indice total de vulnérabilité ' $0.3 < I-GOD < 0.5$ '.

Classe 2 : elle est de vulnérabilité élevée et occupe les parties Nord-Est et les parties Sud et Sud-Ouest de la nappe. L'indice total de vulnérabilité IV est compris entre ' $0.5 < IV < 0.7$ '.

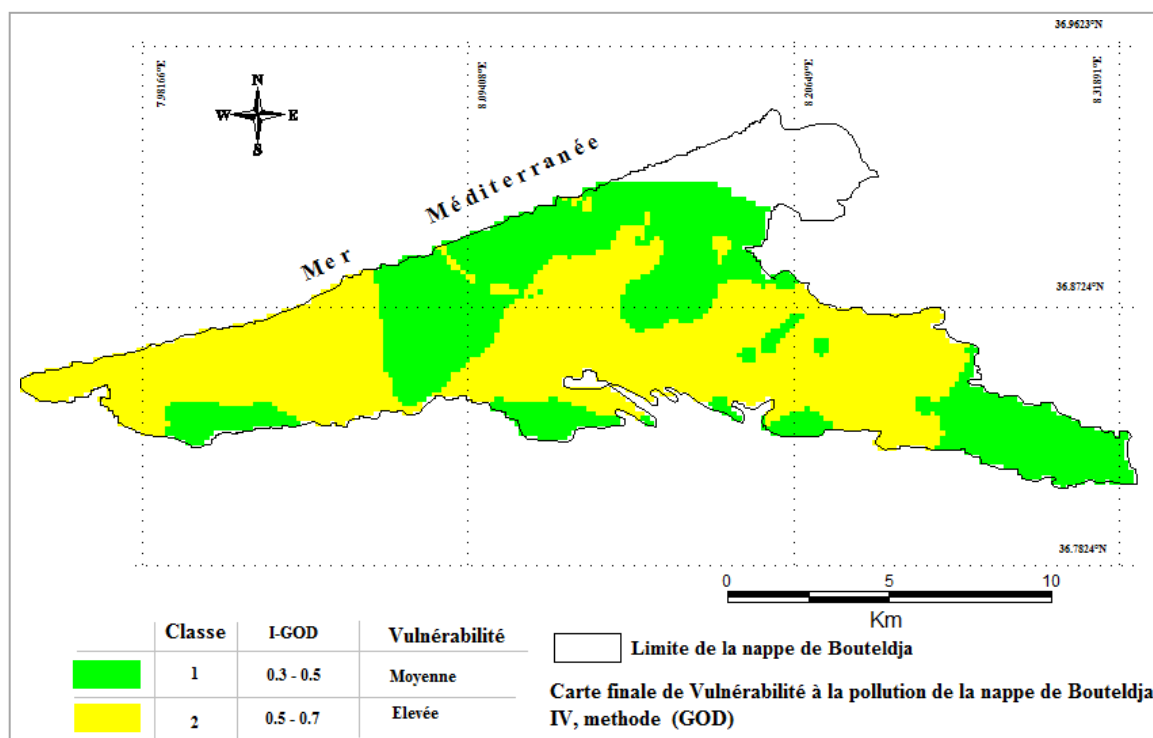


Figure IV.13 : Carte finale de vulnérabilité à la pollution de la nappe du massif dunaire de Bouteldja obtenue par la méthode GOD.

VI.7. Conclusion et discussion des résultantes :

La carte de vulnérabilité à la pollution de la méthode DRASTIC est obtenue avec la superposition de sept (07) paramètres par contre dans la méthode GOD, la carte est obtenue par la superposition des carte de trois (03) paramètres.

Les résultats de la méthode DRASTIC font ressortir trois classes de vulnérabilité à la pollution par contre la méthode GOD fait ressortir seulement deux classes de vulnérabilité à la pollution.

L'évaluation des vulnérabilités à la pollution de la nappe du massif dunaire de Bouteldja, obtenue par les deux méthodes montre des similitudes pour les classes moyennes de vulnérabilité à la pollution qui affectent presque les mêmes zones avec les mêmes proportions.

Nous pouvons remarquer des tendances approximatives en ce qui concerne les classes élevées de vulnérabilités à la pollution

Toutefois, la méthode DRASTIC fait ressortir une classe de vulnérabilité très élevée qui occupe une importante surface de la nappe, contrairement à la méthode GOD.

Les zones de vulnérabilité de classe élevée et très élevée, correspondent aux zones de caractéristiques des Sols et des formations de la zone Vadose qui sont perméables qui permettent la facilitation de la percolation des polluants vers la nappe. En plus ces zones matérialisent sur les terrains les zone d'agglomérations, d'activités et ainsi que des zones de captage des eaux de la nappe avec sa surexploitation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre zone d'étude appartient au système aquifère Annaba–Bouteldja inclus dans l'hydro système du sous bassin versant de l'Oued Mafragh qui appartient à la grande zone hydrographique Côtier Constantinois-est codé d'après l'ANRH sous le numéro (03-17).

Elle est soumise à un climat méditerranéen tempéré, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse et humide allant de mois d'octobre jusqu'au mois d'avril et l'autre sèche, allant du mois de mai au mois de septembre. Elle reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 775.88 mm, sous une température moyenne annuelle de l'ordre de 17.73 °C. Le bilan hydrologique de la zone d'étude montre : une évapotranspiration réelle représentant 65,06% des précipitations, une quantité de ruissellement estimé de 23.86% et environ 13.47% des pluies contribuent à la réalimentation des réservoirs en particuliers celui du massif dunaire de Bouteldja.

Les formations géologiques de la région sont caractérisées par des affleurements tertiaires (les formations argilo-gréseux du Numidien) et des formations quaternaires (dunes, sables, alluvions) dominant la partie avale Nord–est et Nord–ouest.

La nappe du massif dunaire de Bouteldja est un important réservoir souterrain dont l'infiltration est favorisée par de la nature du sol et de la zone non saturée. Il est contenue dans les sables éoliens, qui sont localement argileux qui provoque une grande dispersion des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

En ce qui concerne la qualité, les eaux de la nappe du massif dunaire de Bouteldja se caractérisent par un faciès chloruré sodique influencé en grande partie par, les eaux de la mer méditerranée, les eaux superficielles des précipitations et le lessivage des formations lithologiques. Elle offre une eau douce de bonne qualité pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation,

Cependant, la nappe du massif dunaire est intensivement exploitée et même surexploitée pour répondre aux besoins de l'irrigation et l'AEP des deux wilayas : Annaba et El Tarf, ce qui contribue à la dégradation quantitative et qualitative de ses eaux. Et aussi bien touchée par toutes les activités anthropiques pratiquées dans cette zone de la nappe. Ces activités touchent avec l'explosion démographique principalement les secteurs de l'agriculture, de l'industrie, de l'urbanisme, avec de quantité de rejets considérables de déchets liquides et solides dans le milieu, sans aucun traitement. Ainsi l'approche de la vulnérabilité à la pollution des nappes constitue un outil efficace pour limiter et contrôler les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines, permettant donc de prendre des mesures adaptées pour sa protection et préservation.

La démarche de notre objectif est basée sur, la vulnérabilité intrinsèque et la percolation verticale des polluants, principes qui conditionnent les deux méthodes d'indexation et de pondération

DRASTIC et GOD que nous avons choisi d'utiliser. Combiner aux outils des systèmes d'information géographiques (SIG) et les modèles géostatistiques sous ArcGis et MapInfo.

L'application des deux méthodes DRASTIC et GOD décèle des zones de la nappe les plus exposées aux pollutions. La première méthode mis en évidence trois classes de zones de vulnérabilité, qui va de moyenne, qui occupe la plupart de la nappe, élevée dans les parties centrales, a une vulnérabilité très élevée au Sud-est, au Nord et au centre de la nappe avec un indice de vulnérabilité qui peut atteindre par endroit approximativement un $IV \approx 195$.

La deuxième méthode mis en évidence deux classes de vulnérabilité, moyenne dans la partie Ouest et centrale et élevée, dans la les zones Nord et Sud-ouest.

Les méthodes DRASTIC et GOD font ressortir, des zones semblables qui peuvent être atteinte par des

Pollutions de surface mais seulement différente dans leurs proportions, en ce qui concerne les vulnérabilités moyennes et élevées. Ces zones correspondent aux : champs de captage et d'exploitation des forages, périmètre d'irrigations, zones d'agglomération et aux zones d'activités industrielles.

Recommandations :

A la lumière des résultats obtenus dans cette étude, il s'avère que les eaux de la plaine du massif dunaire présente, par endroit un degré de vulnérabilité inquiétant qui, exige des actions pour une meilleure gestion, protection et préservation de cette nappe et nous préconisons les quelques recommandations suivantes :

- Réalisation des périmètres de protection aux abords des puits et des forages surexploités.
- Arrêt de pompage dans les forages qui causent la surexploitation.
- Recourir à l'utilisation des eaux superficielles pour remplacer les eaux souterraines.
- Réaliser et implanter un réseau de surveillance de la nappe, dans sa qualité et sa quantité.
- Réaliser les réseaux d'assainissement dans les villes mais aussi dans les villages et assurer un entretien continu.
- Implanter des systèmes d'épuration et de recyclage des eaux usées.
- Bannir les rejets des déchets solides et remplacer les centres d'enfouissement par les stations de recyclage.
- Remplacer les engrais chimiques par les engrais naturels et Bio.
- Intégrée dans les lieux publics et les écoles, la notion de préservation et d'économie de l'eau par la sensibilisation.
- L'application des lois concernant la pollution comme celle du pollueur/payeur
- Etablissement une base de données fiable, dans un fichier national numérisé pour les eaux superficielles et souterraines comprenant toutes les informations nécessaires.

*Références
bibliographiques*

Références Bibliographiques :

- 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 Hamma 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.

- Fischer,1989:** *Response to disaster : fact versus fiction & its perpetuation. the sociology of disaster*, 2nd edition, Langham, Maryland, university press of America, 225 p.
- Foster, et Al, 1987:** Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: van duyvenbooden w, van weakening hg (eds) proceedings and information in vulnerability of soil and ground-water to pollutants, vol 38. tno committee on hydrological research, the hague, pp 69–86
- Gaud.B, 1975 :** Etude hydrogéologique du système de Annaba-Bouteldja .système des connaissances et recherche des conditions de modalisation " rapport ANRH (inédit), ANNABA, 2 vol .230p . 10 planches
- Haied.N., 2008 :** Impact des eaux de réalimentation sur la qualité des eaux souterraine a la nappe libre de la massif dunaire de Bouteldja (N-S Algérien) "thèse de magister, université de Badji Mokhtar –Annaba .155p.
- Hani .A., 2003 :** Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen", thèse de doctorat d'état, es. sciences, université d'Annaba, 213p.
- Hilly .J, 1962 :** Etude géologique du massif de l'Edough et du cap de fer (est constantinois) bull n°:19 cartes géologiques Algérie, Alger 339".
- Hilly.J, 1963 :** Etude géologique du massif de l'Edough et du cap de fer (Est – constantinois). thèse, fac. sciences Nancy 1957, n° 125, 408 p.
- Joleaud. L, 1936 :** Etude géologique de la région de Bône et de la cale bull " sev. carte goel.de d'Algérie .2° série, 12 .200p .
- Joleaud. L, 1939 :** Etude géologique de la région de Bône et la Calle. Service géologique coloniale. Bibliothèque de l'ASGA.
- Khérici, 1985 :** Aquifère sableux de bords de mer, hydrodynamique .exemple de la nappe de Bouteldja (Nord –Est Algérien) "thèse de docteur 3eme cycle, USTL, Montpellier .202p
- Laborde.J.P, 2000 :** Eléments d'hydrologie de surface. université de Nice Sophia Antipolis. France .204p
- Lahondere. J .C, 1987 :** Les séries ultra-telliennes d'Algérie. nord oriental et les formations environnantes dans le carte structurale " thèse de doctorat ès-SCI. université Paul. Sabatier, Toulouse, France .238p .
- Lallemand Barres. A, 1994 :** Normalisation des critères d'établissement des cartes de vulnérabilité aux pollutions. Etude documentaire préliminaire. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), rapport R7928, France, 22 p.

- Nouacer .R, 1993 :** Essai de synthèse des caractéristiques hydrogéologiques et hydro-chimiques de la nappe du massif dunaire de Bouteldja», thèse de magister, IST, université d'Annaba, 119p.
- Ramdani .A, 1996 :** hydrogéologie et modalisation de la nappe dunaire de Bouteldja "thèse de magister sous la direction de Hani a, université de Annaba. 138p.
- Saadali.B, 2007 :** Etat de la qualité des eaux des sources issues du massif dunaire de Bouteldja " thèse de magister, université de Badji Mokhtar –Annaba .110p
- Schnebelen et Al 2002 :** Cartographie de la vulnérabilité des nappes de grande –terre et de marie –galante (Guadeloupe).Article scientifique.
- Sinan.M, et al, 2003 :** Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc. 2nd fig. régional conférence, .Marrakech, Maroc.
- Strojexport, 1975 :** Prospection géophysique de la plaine de Annaba", réinterprétation, rapport A.N.R.H., (inédit) Annaba, Algérie, (1975)", 30p.
- Toubal .A. C, 1983 :** Etude hydrogéologique du massif dunaire de Bouteldja", thèse de 3^{ème} cycle", université Bab Ezzouar Alger, 500p.
- Toubal A.C, 1998 :** Approche géophysique des problèmes d'hydrodynamique et d'invasion marine souterraine .exemple des plaines d'Annaba, et de la Mitidja et de baie d'Alger "thèse de doctorat d'état, USTHB –Alger .226p
- Villa .J.M, 1980 :** La chaine alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens " thèse doctorat en science, université de pierre et marie-crie –paris vi, France .pp58-68.
- Yahiaoui. S, 2009 :** Vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale de la basse Soummam. mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie, FSTGAT, USTHB.130p.
- Yahiaoui. S, 2015 :** vulnérabilité protection des nappes du chott chergui face aux différentes formes de pollution. thèse de magister. université des sciences et de la technologie Houari Boumediene 135p.

Annexe

Chapitre II : Hydroclimatologie

Moyennes de la pluviométrie en mm de la station de Bouteldja après comblement de lacunes. (Source : ANRH d'Alger)

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Août
90/91	2.30	29.50	108.00	190.00	92.00	82.00	102.00	54.00	96.80	4.00	0.30	0.00
91/92	52.00	100.00	67.00	29.00	128.50	87.70	66.40	53.30	57.70	0.50	0.00	1.60
92/93	0.60	60.20	239.80	118.10	134.20	106.10	4.90	104.80	9.40	2.80	0.00	1.00
93/94	4.90	0.00	22.40	115.20	225.90	90.10	60.10	46.50	0.00	0.80	0.00	17.80
94/95	49.80	48.50	18.30	113.10	207.60	19.20	85.00	46.10	4.50	16.90	0.00	0.00
95/96	75.00	10.00	74.00	25.00	109.30	30.60	10.30	42.80	11.30	20.40	4.00	6.60
96/97	3.40	73.90	31.70	92.20	125.20	70.30	33.20	42.40	48.60	15.50	0.00	23.30
97/98	107.70	104.70	165.00	189.70	160.00	79.70	42.80	46.60	58.00	0.70	0.00	7.10
98/99	73.80	54.40	249.90	68.90	63.50	25.50	42.20	28.60	108.80	11.60	0.00	9.00
99/00	16.90	36.40	233.00	128.60	131.00	109.70	32.80	45.70	30.70	0.00	0.00	2.90
00/01	35.20	151.30	39.20	120.20	17.30	59.50	66.70	40.80	9.10	0.00	5.30	28.10
01/02	40.40	3.80	114.40	90.60	283.20	114.70	27.70	164.40	50.70	0.00	0.00	0.00
02/03	41.90	46.60	310.10	179.60	65.80	13.10	73.60	73.70	18.20	58.50	0.00	0.00
03/04	107.50	42.40	42.30	227.80	149.50	146.50	64.80	184.90	16.30	17.80	0.90	0.60
04/05	152.10	38.80	301.20	193.60	125.60	100.60	71.50	25.20	32.10	0.00	0.60	19.60
05/06	6.80	4.10	56.50	173.90	56.70	67.80	254.80	60.30	15.10	27.40	0.00	1.50
06/07	39.10	27.70	54.80	180.50	16.00	16.70	95.40	49.10	53.80	7.10	0.00	0.00
07/08	42.70	103.40	83.30	104.20	205.00	173.10	96.80	179.80	84.50	0.00	0.40	16.90
08/09	102.50	71.60	118.20	137.40	176.20	38.80	55.20	32.80	44.60	43.40	3.40	12.00
09/10	70.00	110.60	70.90	53.40	176.20	38.80	55.20	32.80	44.60	43.40	0.00	0.00
Moyenne	51.23	55.90	120.00	126.55	132.44	73.53	67.07	67.73	39.74	13.54	0.75	7.40

Températures moyennes (°C) de la station de Bouteldja pour la période 1990-2010
(Source : ANRH d'Alger).

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juillet	Août	Moyenne
90/91	25.16	21.81	15.69	10.18	10.07	9.95	14.48	13.61	15.13	21.16	24.72	25.01	17.25
91/92	25.56	20.25	14.83	10.06	9.46	10.55	12.43	15.41	17.78	20.71	23.84	25.41	17.19
92/93	24.16	22.36	15.49	11.99	9.52	9.91	12.16	15.11	18.33	21.82	24.5	28.86	17.85
93/94	23.1	19.76	14.42	11.66	10.31	13.16	13.81	13.31	19.08	20.84	24.51	28.86	17.74
94/95	23.91	21.36	15.76	15.26	10.56	12.56	11.93	13.91	18.96	21.16	24.58	25.2	17.93
95/96	23.91	20.16	16.71	14.19	12.86	10.16	13.26	14.56	17.67	19.6	22.6	25.41	17.59
96/97	21.35	17.41	15.34	13.31	12.21	12.01	11.26	14.01	19.01	22.7	24.25	25.47	17.36
97/98	22.3	18.01	14.86	12.26	11.21	11.66	12.76	15.76	18.14	22.26	23.95	23.82	17.25
98/99	23.21	18.41	16.33	10.88	11.01	9.2	13.3	14.61	19.48	22.6	24.68	27.17	17.57
99/00	24.77	21.85	14.15	11.68	8.58	11.02	12.65	15.46	19.31	21.43	25.79	25.38	17.67
00/01	23.62	19.51	15.4	12.52	12.17	10.93	16.52	14.17	18.23	22.83	25.45	25.41	18.06
01/02	22.69	21.82	15.14	11.41	9.58	11.27	13.57	15.46	18.31	22.24	24.01	24.28	17.48
02/03	22.06	18.59	14.89	13.66	11.19	10.91	13.22	17.12	18.88	25.4	27.61	28.45	18.5
03/04	23.75	19.04	16.08	14.67	11.39	11.4	12.38	13.93	17.2	21.19	24.1	26.35	17.62

04/05	23.39	22.1	15.18	12.36	9.26	9.68	13.18	16.36	19.89	23.7	25.78	26.65	18.13
05/06	22.77	20.78	16.02	11.34	10.26	11.15	14.66	17.25	20.38	23.99	25.47	25.03	18.26
06/07	22.41	22.33	16.51	12.14	11.88	12.83	13.34	17.01	19.96	22.12	24.62	24.47	18.3
07/08	23.35	19.66	14.08	11.77	11.36	11.71	12.72	16.35	19.74	21.98	25.88	24.91	17.79
08/09	22.91	19.97	14.32	10.76	10.82	10.59	12.33	14.08	19.36	22.34	25.69	26.75	17.49
09/10	22.45	18.19	15.67	12.98	11.02	12.73	13.43	15.34	17.32	20.84	24.79	25.22	17.5
Moyenne	23.34	20.17	15.34	12.25	10.74	11.17	13.17	15.14	18.61	22.05	24.84	25.91	17.73

Chapitre IV : Hydrogéologie.

Caractéristiques Hydrodynamiques de quelques forages inventoriés dans le massif dunaire de Bouteldja. (DRE El-Taref, 2011).

Forage	Coordonnées		T (m ² /s)	Epaisseur Mouillé (m)	K (m/s)	S(%)
	X	Y				
B1	881.800	410.800	5.6 10 ⁻³	154.4	3.60 10 ⁻⁷	/
B3	980.950	406.820	3.0 10 ⁻³	138.4	2.10 10 ⁻⁵	/
B4	980.100	406.000	1.0 10 ⁻³	102.85	9.72 10 ⁻⁶	/
B6	986.100	411.800	0.9 10 ⁻³	191.55	4.69 10 ⁻⁶	1.4
B5	983.600	406.250	1.0 10 ⁻³	120.33	8.30 10 ⁻⁶	1.7
B7	987.700	410.300	2.0 10 ⁻³	110.40	1.80 10 ⁻⁵	19
B8	988.850	409.650	1.11 10 ⁻³	119.92	9.70 10 ⁻⁶	11
B9	989.400	408.550	2.5 10 ⁻³	146.98	1.70 10 ⁻⁵	16
B10	984.350	407.900	1.0 10 ⁻²	138.02	7.24 10 ⁻⁵	24
B11	989.500	407.250	1.4 10 ⁻³	137.15	1.00 10 ⁻⁵	22
B12	988.600	406.600	3.0 10 ⁻³	81.82	3.60 10 ⁻⁵	2
B13	992.000	406.600	0.9 10 ⁻³	147.05	6.12 10 ⁻⁶	/
B14	985.000	406.950	2.99 10 ⁻⁴	127.18	7.86 10 ⁻⁷	/
B17	985.300	407.400	2.7 10 ⁻⁴	138.19	1.90 10 ⁻⁵	/
B18	975.800	405.700	1.4 10 ⁻³	104.36	1.30 10 ⁻⁵	/
B20	978.350	406.800	3.2 10 ⁻³	151.52	2.10 10 ⁻⁵	12
6902	993.200	407.800	1.4 10 ⁻³	131.98	1.0 10 ⁻⁵	13
6906	987.100	409.450	1.3 10 ⁻²	84.87	1.5 10 ⁻⁴	3
6907	985.900	410.200	3.0 10 ⁻³	137.8	2.1 10 ⁻⁵	/
6909	985.600	408.950	5.0 10 ⁻³	130.19	3.8 10 ⁻⁵	12
6910	988.300	408.950	4.0 10 ⁻³	140.34	2.8 10 ⁻⁵	15
6911	986.400	412.500	3.0 10 ⁻³	96.18	3.1 10 ⁻⁵	0.17
6912	990.000	409.000	4.0 10 ⁻³	127.18	3.1 10 ⁻⁵	/
6917	990.400	407.300	7.1 10 ⁻³	70.5	1.0 10 ⁻⁴	/
6918	991.500	405.950	1.0 10 ⁻²	136.52	7.32 10 ⁻⁵	0.12
6919	991.650	409.000	4.0 10 ⁻³	101.43	3.90 10 ⁻⁵	0.15
6920	993.600	406.500	6.0 10 ⁻⁴	61.46	9.70 10 ⁻⁶	0.17
6921	984.780	411.690	5.0 10 ⁻³	124.25	4.0 10 ⁻⁵	0.13
6923	995.100	405.900	6.0 10 ⁻³	54.61	1.09 10 ⁻⁴	/
6925	994.950	406.950	1.3 10 ⁻²	36.98	3.50 10 ⁻⁴	/
P19	983.800	414.100	2.0 10 ⁻³	110.02	1.80 10 ⁻⁵	0.21
565	988.050	405.800	1.4 10 ⁻³	106.16	1.30 10 ⁻⁵	/
A5	978.850	406.850	2.1 10 ⁻³	133.87	1.50 10 ⁻⁵	/

Chapitre VI : Vulnérabilité à la pollution et son application dans

La nappe de Bouteldja

Note GOD

Notes du type d'aquifère :

Type d'aquifère	Note
Aucun aurifère	0
Aquifère confiné er artésien	0.1
Aquifère confiné et non artésien	0.2
Aquifère semi-confiné	0.3
Aquifère avec couverture de surface assez perméable	0.4-0.6
Aquifère non confiné	0.7-1

Notes de la lithologie de la ZNS :

Nature Lithologique	Note
Sol résiduel	0.4
Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin	0.5
Sable éolien, siltite, tuf, roche ignée et métamorphique fracturée	0.6
Sable et gravier, grès, tuf	0.7
Gravier (colluvions)	0.8
Calcaire	0.9
Calcaire fracturé ou Karstique	1

Notes de la profondeur de la nappe/sol :

Profondeur (m)	Note
0-2	1
2-5	0.9
5-10	0.8
10-20	0.7
20-50	0.6
50-100	0.5
>100	0.4

Table 1 : Paramètre DRASTIC		
POIDS		
Paramètres	Poids (général)	Poids (Pesticides)
D. Profondeur de la nappe	5	3
R. Recharge annuelle	4	4
A. Milieu aquifère	3	3
S. Type de sol	2	5
T. Topographie	1	3
I. Impact de la zone non saturée	5	4
C. Conductivité hydraulique	3	2

Table 2 : Profondeur de la nappe	
PROFONDEUR DE LA NAPPE D (m)	
INTERVALLE	COTE
0 – 1,5	10
1,5 – 4,5	9
4,5 - 9	7
9 - 15	5
15 - 23	3
23 – 31	2
31 +	1
Poids : 5	Poids pour Pesticides : 5

Paramètres DRASTIC.

Table 3 : Recharge Nette R	
RECHARGE NETTE (cm)	
ITERVALLE	COTE
0 – 5	1
5 – 10	3
10 – 18	6
18 – 25	8
25 +	9
Poids : 4	Poids pour Pesticides : 4

Table 4 : Milieu Aquifère. A		
MILIEU AQUIFERE		
Nature du milieu aquifère	COTE	Cote type
Schiste massif	1 – 3	2
Roches métamorphiques/ignées	2 – 5	3
Roches métamorphiques/ignées altérées	3 – 5	4
Lits de grès, calcaire et argile schisteuse	5 – 9	6
Grès massif	4 – 9	6
Calcaire massif	4 – 9	6
Sable et gravier	6 – 9	8
Basalte	2 – 10	9
Calcaire karstique	9 - 10	10
Poids : 3	Poids pour Pesticides : 3	

Table 5 : Type de Sol S	
TYPE DE SOL	
NATURE DU SOL	COTE
Sol mince	10
Gravier	10
Sable	9
Argile fissurée	7
Terre grasse sableuse	6
Terre grasse	5
Terre limoneuse	4
Terre argileuse	3
Argile non fissurée	1
Poids : 2	Poids pour Pesticides : 5

Table 6 : Topographie T	
TOPOGRAPHIE (%)	
INTERVALLE	COTE
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
18 +	1
Poids : 1	Poids pour Pesticides : 3

Table 7 : Zone non Saturée I		
IMPACT DE LA ZONE NON-SATUREE		
Nature de la zone non saturée	COTE	Cote type
Limon / Argile	1 - 2	1
Argile schisteuse	2 - 5	3
Calcaire	2 - 7	6
Grès	4 - 8	6
Lits de grès, calcaire et argile schisteuse	4 - 8	6
Sable et gravier avec limon et argile	4 - 8	6
Roches métamorphiques/ignées	2 - 8	4
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	8 - 10	10
Poids : 5	Poids pour Pesticides : 4	

Table 8 : Conductivité Hydraulique⁰	
CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE	
RANG	COTE
INTERVALLE (m/s)	
$4,72.10^{-7} - 4,72.10^{-5}$	1
$4,72.10^{-5} - 1,416.10^{-4}$	2
$1,416.10^{-4} - 3,304.10^{-4}$	4
$3,304.10^{-4} - 4,720.10^{-4}$	6
$4,720.10^{-4} - 9,44.10^{-4}$	8
$>9,44.10^{-4}$	10