



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique



UNIVERSITE ABBES LAGHROUR-KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT : ECOLOGIE & ENVIRONNEMENT

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

FILIERE : Ecologie Et Environnement

OPTION : Protection et Décontamination des Eaux et des Sols Pollués

Thème

**ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE LA QUALITE DES
EAUX DU BARRAGE DE BABAR**

Présenté par :

TELLIL Belkacem & KATTOUM Dawoud

Soutenu le : 30/05/2016

Jury de soutenance :

Président : Mr. MOUDJARI Zoubir M.A.A. Université Abbas Laghrour Khenchela

Encadreur : Mme. MEZHOUD Amel M.A.B. Université Abbas Laghrour Khenchela

Examineur : Mme LAKHDARI Soumia M.A.A. Université Abbas Laghrour Khenchela

Promotion Juin 2016

Laboratoire : Hydrogéologie, département de science de la terre, Université Mentouri 1 Constantine

remerciement

Je remercie en premier lieu dieu de m'avoir donné la force et la patience de terminer ce travail.

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation et en particulier :

Mme. Mezhoud Amel, qui a accepté de diriger ce travail, je lui exprime ici toute ma gratitude.

Mr. Moudjari Zoubir, qui a en la bienveillance d'accepter de juger ce travail et de présider le jury de soutenance.

Mme. Lakhdari Soumia, d'avoir accepté de juger ce travail.

Mes remerciements vont également à :

Mes Enseignants, et doctorants du département d'écologie et environnement, pour leur soutien moral et leur accueil chaleureux.

Mr. Rechachi Hichem pour leur soutien et leur aide durant ce travail

Mes collègues et amis pour leur soutien et leur aide durant ce travail.

Je n'oublie pas, enfin, d'exprimer ma profonde reconnaissance à :

Mes parents, mes frères et sœurs que Dieu les garde.

DEDICACE

A mon très cher Père

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu Pour vous.
Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.
Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as Consentis pour mon éducation et ma formation.*

A ma très chère mère

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les Sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance
Et même à l'âge adulte.*

À mes frères et sœurs (Toufik, Zakaria, Selma et Amira)

Affables, honorables, aimables : Vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager.

A Mme. Mezhoud Amel

qui a accepté de diriger ce travail, je lui exprime ici toute ma gratitude.

Toute la famille

Surtout ; Oncle Houcine. Tante Wassila, Boukhari.

Tous mes amis et mes voisins

*Sofiane, Hamza D, Charafeddine, Brahim, Abderrahim, Amine, Fares,
Sifedine, Mehdi, Khaled, Fayssal, Khirou.*

TELLIL Belkacem.

Dédicace :

Je dédie ce travail de ma profonde :

*A mes très chers parents qui m'ont donné un
magnifique modèle de volonté et de courage
pour finir mon étude universitaire et réaliser
ce Modeste travail, fruit de plusieurs années
d'études*

A mes chers frères et mes chères soeurs.

*A mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes
cousines et toute la famille.*

A tous mes enseignants de département.

*A mes collègues et mes amis sans exception
chaqu'un par son nom*

A tous les étudiants

A tous ceux qui m'aiment et m'estiment.

Dawoud

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

والصلاة والسلام على من بعثه الله رحمة
للعالمين محمد وعلى صحبه وأزواجه ومن تبعهم

بإحسان إلى يوم الدين أما بعد :

TABLE DES MATIERES

Introduction Générale.....	01
CHAPITRE I : GEOLOGIE	
I.1. Situation Géographique.....	02
I.2. Cadre géologie régional.....	03
I.3 Stratigraphie générale	03
I.3.1. Le Crétacé supérieur.....	03
I.3.1.1. Maestrichtien supérieur.....	03
I.3.1.2. Maestrichtien inférieur	03
I.3.1.3. Campanien	03
I.3.1.4. Santonien et Coniacien	04
I.3.2. Crétacé moyen.....	04
I.3.2.1. Turonien (moyenne et supérieur)	04
I.3.2.2. Turonien basal	04
I.3.2.3. Cénomaniens supérieur	04
I.3.2.4. Cénomaniens moyen	04
I.3.2.5. Cénomaniens inférieur	04
I.3.3. Crétacé inférieur	04
I.3.3.1. Le Barrémien	04
I.3.3.2. Albien	05
I.3.3.3. Aptien	05
I.3.4. Le Quaternaire	05

I.3.4. A. Terrasse supérieure	05
I.3.4. B. Terrasse inférieur	05
I.4. La tectonique	07
I.4.A. Les grands plis de l'Ouest	07
I.4.B. Les diapirs de l'Est et du Nord-Est	07
I.4.1. Les structures	07
I.5. La paléogéographie.....	08
I.6. La lithologie	08
I.7. Les zones perméables du bassin versant d'Oued El Arab.....	09
I.7.1. Classe des formations à perméabilité élevée	09
I.7.2. Classe des formations à perméabilité moyenne	11
I.7.3. Classe des formations à perméabilité faible à moyenne	11
I.8. Conclusion	13

CHAPITRE II : GEOMORPHOLOGIE

II.1 Introduction	14
II.1. Le milieu physique.....	14
II.2.1. Les montagnes	14
II.2.2. Les piedmonts	14
II.2.3. La plaine	14
II.2.4. Le couvert végétal	14
II.3. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de Oued El Arab.....	15
II.3.1 La surface du bassin versant	15

II.3.2. Le périmètre du bassin versant	15
II.3.3. Indice de compacité K_c	15
II.4. Répartition des tranches d'altitudes et Courbe hypsométrique	16
II.4.1. Les altitudes caractéristiques	16
II.4.1.1. Les altitudes minimales et maximales	16
II.4.1.2. L'altitude moyenne	16
II.3.2. Indice de pente moyenne (I_m)	18
II.3.3. Indice de pente globale (I_g)	19
II.3.4. Dénivelée spécifique (D_s)	20
II.4. Le réseau hydrographique.....	20
II.4.1.1. Densité de drainage D_d	20
II.4.1.2. Coefficient de torrentialité	22
II.4.1.3. Temps de concentration	22
II.4.1.4. Vitesse de concentration	23
II.5. Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de Oued El Arab	25
II.6. Conclusion	25

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

III.1. Introduction	27
III.2. Etude des facteurs climatiques	27
III.2.1. La température	27
III.2.2. La pluviométrie	28
III.2.3. Evaporation	29

III.2.4. L'insolation	30
III.2.5. L'humidité	31
III.2.6. Le vent	31
III.2.7. Neige	32
III.2.8. Grêle	33
III.2.9. Orage	33
III.2. 10. Indice d'aridité	34
III.3. Synthèse climatique	27
III.3.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen	27
III.3. 2. Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger	27
III.3.3. Le climagramme de quotient pluviothermique d'Emberger	35
III.3.4. Bilan hydrologique	38
III.3.4.1. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle)	38
III.3.4.2. ETR selon la formule de Turc	38
III.3.4.3. L'ETR selon la C. W. Thornthwaite	39
III.3.4.4. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)	39
III.3.4.5. D'après la formule de C. W.Thornthwaite	40
III.3.4.6. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)	40
III.3.4.7. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite	41
III.5. Conclusion	43

CHAPITRE VI : HYDROCHIMIE

IV.1. Introduction.....	44
IV.2. Carte d'inventaire des points d'eau	44
IV.3. Etude des paramètres physico-chimiques	45
IV.3 .1. Etude des paramètres physiques	45
IV.3.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)	46
IV.3.1.2. Conductivité (CE)	46
IV.3.2. Etude des paramètres chimiques	48
IV.3.2.1. Les éléments majeurs	48
IV.3.2.1.1. Les cations	48
IV.3.2.1.1.1. Calcium (Ca ²⁺)	48
IV.3.2.1.1.2. Magnésium (Mg ²⁺)	49
IV.3.2.1.1.3. Sodium (Na)	50
IV.3.2.1.1.4. Potassium (K ⁺)	51
IV.3.2.1.2. Les Anions	52
IV.3.2.1.2.1. Chlorure (Cl ⁻)	52
IV.3.2.1.2.2. Sulfates (SO ₄ ⁻)	53
IV.3.2.1.2.3. Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	54
IV.4. Les éléments indicateurs de la pollution	55
IV.4.1. La demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO ₅)	55
IV.4.2. La demande chimique en oxygène (DCO)	56
IV.4.3. Les éléments nutritifs	57
IV.4.3.1. Nitrate (NO ₃ ⁻)	57

IV.5. Détermination des principaux faciès hydro-chimiques	58
IV.5.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques	59
IV.5.1.1. Diagramme de Piper	59
IV.5.1.2. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	60
IV.6. Aptitude des eaux de surface du barrage de Babar à l'irrigation	62
IV.6.1. Salinité	63
IV.6.2. Classification de Riverside	63
IV.7. Conclusion	65
Conclusion générale	66

Liste des tableaux

Tableau n°	Titre	page
Tableau n° 1	Les formations lithologiques du bassin versant	09
Tableau n° 2	Répartitions de la perméabilité au niveau du bassin versant de Oued EL Arab	11
Tableau n° 3	Surface et périmètre du sous bassin versant de oued El Arab	15
Tableau n° 4	Récapitulatif caractéristiques du bassin versant	17
Tableau n° 5	Classification de l'ORSTROM	20
Tableau n° 6	Représentation des différentes tranches d'altitude	25
Tableau n° 7	L'ETR selon la formule de turc	39
Tableau n° 8	ETR selon la C.W Thornthwaite	39
Tableau n° 9	Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'EL HAMMA	41
Tableau n° 10	Variation de potentiel d'hydrogène (pH)	46
Tableau n° 11	Variation des concentrations du Na ⁺	47
Tableau n° 12	Variation des concentrations du calcium	48
Tableau n° 13	Variation des concentrations du Mg ⁺⁺	50
Tableau n° 14	Variation de la conductivité électrique	50
Tableau n° 15	Variation des concentrations du K ⁺	51
Tableau n° 16	Qualité de l'eau pour l'irrigation selon la conductivité électrique	53
Tableau n° 17	Variation des concentrations du SO ₄ ⁻⁻	53
Tableau n° 18	Variation des concentrations du HCO ₃ ⁻	54
Tableau n° 19	Variation des concentrations de la DBO5	55
Tableau n° 20	Variation des concentrations de la DCO	56
Tableau n° 21	Variation des concentrations du NO ₃ ⁻	57
Tableau n° 22	Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF	61
Tableau n° 23	Qualité de l'eau pour l'irrigation selon la conductivité électrique	63

Liste des figures

Figure n°	Titre	page
Figure n° 1	Carte de situation géographique du barrage de Babar	02
Figure n° 2	Carte lithologique du bassin versant de Oued EL Arab	06
Figure n° 3	Carte géologique du bassin versant de Oued EL Arab	10
Figure n° 4	Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de Oued El Arab	13
Figure n° 5	Courbe hypsométrique de Oued El Arab	18
Figure n° 6	Réseau hydrographique du bassin versant de Oued El Arab	21
Figure n° 7	Carte des zones perméables et imperméables de Oued EL Arab	24
Figure n° 8	Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2014)	28
Figure n° 9	Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2014)	29
Figure n° 10	Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2004-2014)	30
Figure n° 11	Diagramme moyennes mensuelles de l'insolation de la période (2004-2014)	30
Figure n° 12	Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (2004-2014)	31
Figure n° 13	Diagramme des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents de la période (2004-2014)	32
Figure n° 14	Diagramme des moyennes mensuelles des neiges de la période (2004-2014)	32
Figure n° 15	Diagramme des moyennes mensuelles Grêle de la période (2004-2014)	33
Figure n° 16	Diagramme des moyennes mensuelles des orages de la période (2004-2014)	34
Figure n° 17	Abaque de l'indice d'aridité (MARTONNE)	35
Figure n° 18	Diagramme Ombrothermique (BAGNOULS-GAUSSSEN) de la zone d'étude	36
Figure n° 19	Climagramme d'EMBERGER de la zone d'étude	38
Figure n° 20	Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'El Hamma	41
Figure n° 21	Carte d'inventaire des points d'eau du barrage de Babar	45
Figure n° 22	Carte de la distribution spatiale de la conductivité électrique en ($\mu\text{S}/\text{cm}$)des eaux de barrage de Babar	47
Figure n° 23	Carte de la distribution spatiale de Ca^{++} en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	49
Figure n° 24	Carte de la distribution spatiale de Mg^{++} en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	50
Figure n° 25	Carte de la distribution spatiale de Na^+ en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	51
Figure n° 26	Carte de la distribution spatiale de K^+ en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	52

Figure n° 27	Carte de la distribution spatiale de Cl^- en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	53
Figure n° 28	Carte de la distribution spatiale de SO_4^{2-} en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	54
Figure n° 29	Carte de la distribution spatiale de HCO_3^- en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	55
Figure n° 30	Carte de la distribution spatiale de la DBO5 en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	56
Figure n° 31	Carte de la distribution spatiale de la DCO en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	57
Figure n° 32	Carte de la distribution spatiale de NO_3^- en (mg/l) des eaux de barrage de Babar	58
Figure n° 33	La représentation des échantillons du barrage de Babar sur le diagramme de Piper	60
Figure n° 34	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF des analyses des eaux de surface du barrage de Babar	62
Figure n° 35	Représentation des échantillons sur le diagramme de Riverside	64

LISTE DES ABREVIATIONS

CE : Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

DA : Déficit Agricole (mm)

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)

EX : Excédent en eau du sol (mm)

I : Infiltration de l'eau dans le sol (mm)

I_a : Indice d'aridité

K : Perméabilité (m/s)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P : Précipitations (mm)

Q2 : Quotient pluviométrique

R : Ruissellement (mm)

RFU : Réserve Facilement Utilisable (mm)

SAR : Sodium Absorption Ratio

T : Température ($^{\circ}\text{C}$)

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION

L'eau est l'un des éléments essentiels du développement durable à cause de son importance dans la vie et sans cet élément la vie serait impossible car est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique, depuis l'aube de l'humanité.

En Algérie, la demande en eau que ça soit pour l'AEP, l'agriculture ou l'industrie ne cesse de croître et devient de plus en plus difficile à la satisfaire à cause de l'accroissement de la population et l'insuffisance de l'eau. Ceci obligé les décideurs à construire des ouvrages hydrauliques pour stocker les eaux des précipitations, mais pour satisfaire les besoins des différents secteurs, il est impératif de protéger cette eau contre toutes formes de pollution (industrielle, agricole...) (Gaagai A, 2009).

L'Algérie dispose d'une grande capacité de réception avec seize grands bassins versants, comme le sous bassin versant de Oued El Arab qui appartient au bassin de Chott Melghir. Le barrage de Babar a été construit pour satisfaire la demande en eau pour alimenter les villes de Babar, Chechar, Ain Djerboua, Bouhmama et Tamza, de même que pour l'irrigation en aval du barrage. Actuellement, le barrage est utilisé uniquement pour l'irrigation pour des raisons que nous ignorons, mais probablement à cause de la pollution urbaine qui l'affecte suite aux rejets des agglomérations limitrophes (Gaagai A, 2009).

Dans cette étude nous chercherons à connaître le type de pollution qui affecte le barrage qui a une origine domestique, agricole et peut être naturelle.

Pour réaliser cette étude, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- Dans le premier chapitre nous avons abordé la géologie afin de voir l'influence de la lithologie sur la qualité des eaux de surface ;
- Dans le deuxième chapitre nous avons essayé d'étudier les caractéristiques morphologiques du bassin versant qui jouent un rôle important sur le ruissèlement et donc sur le volume d'eau stocké et sur le comportement hydrologique ;
- Dans le troisième chapitre nous avons abordé le côté hydroclimatologique qui permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant le barrage ;
- Dans le quatrième chapitre nous avons achevé notre travail par une étude hydrochimique de la qualité des eaux du barrage de Babar.

CHAPITRE 01

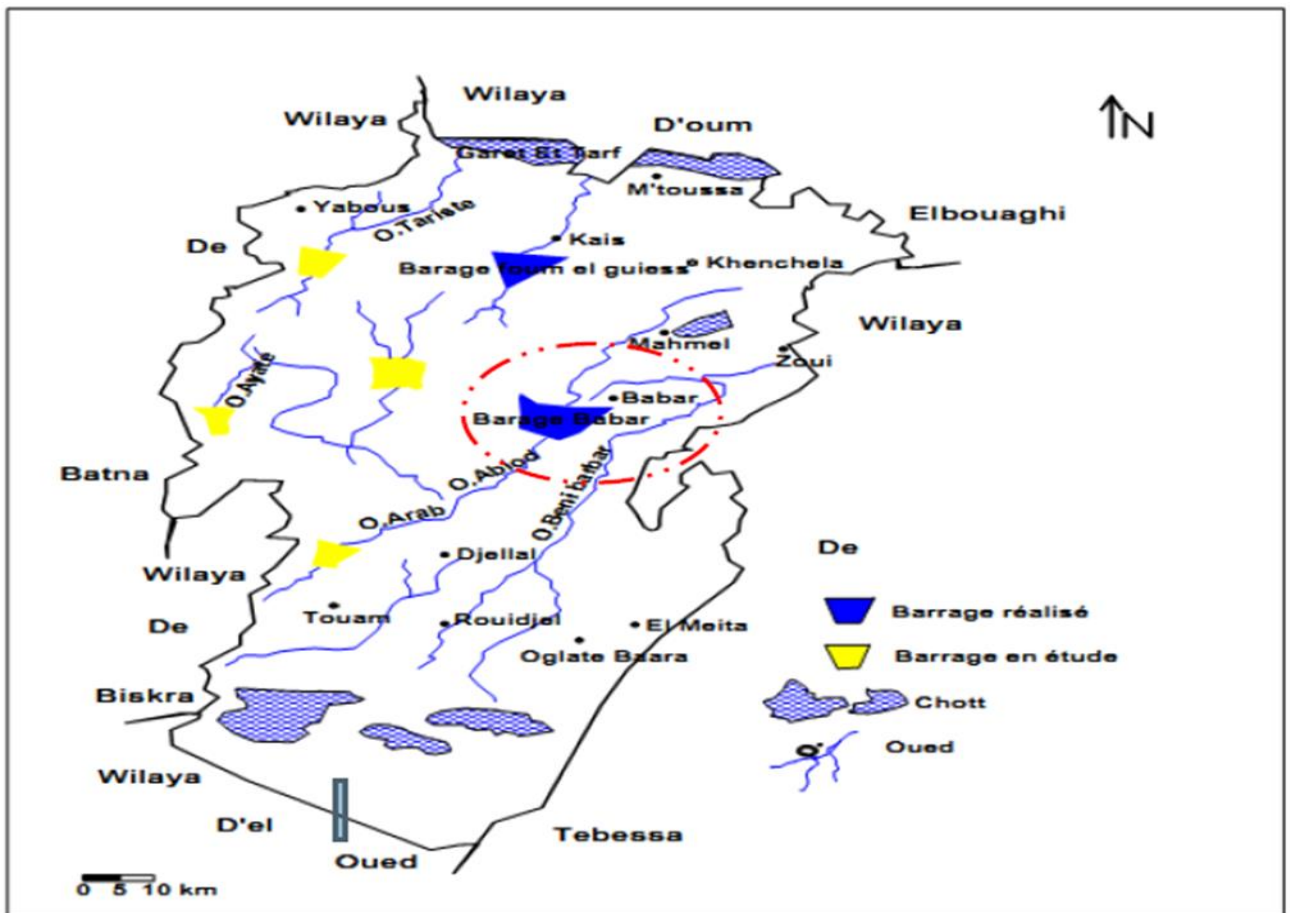
GEOLOGIE

I. Géologie

I.1. La Situation Géographique

La région étudiée est située à l'Est algérien dans les confins Est de l'Atlas saharien et précisément au niveau de la chaîne montagneuse de Djebel Djehfa appartenant aux monts de Nemamcha. (Figure 01). Le barrage a été construit sur Oued El Arab et son bassin versant à une surface de 567km^2 environ qui fait partie du grand bassin versant de Chott Melghir.

Il est délimité par : les montagnes des Aurès dont les principaux sont Dj-Chentgomma et Dj-Aidel au Nord-Ouest. Dj-Tadliste et Dj-Bougendag à l'Est et Sud-Est. La plaine de Khenchela au Nord et au Nord-Est. Entre les deux ensembles physiques des montagnes s'intercale une vaste plaine appelée haute plaine de Djahfa, qui est drainée par des Oueds secondaires (O. Temagra et O. El Htiba) qui se rejoignent pour former O. El-Arab juste avant le site du barrage



Source : Direction des ressources en eaux Khenchela

Figure 01 : Situation géographique du barrage de Babar (wilaya de Khenchela)**I.2. Cadre géologique régional**

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydrochimique. Ainsi, la lithologie, la tectonique et la structure géologique jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux se trouvant dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltré selon le type du terrain (perméable ou imperméable). R. Laffitte (1939) a remarqué que depuis le Trias, la région est formée par des dépôts épicontinentaux de faciès divers d'épaisseur variable. Dans cette période, la région présaharienne représentait une plate-forme qui se caractérisait par l'accumulation de différents sédiments.

Du point de vue tectonique, la région présaharienne se rapporte à l'Atlas tunisien séparé de l'Atlas saharien par le massif des Aurès avec un point culminant à 2328m (Gaagai A. 2009).

I.3. Stratigraphie

Les formations représentent dans la zone d'étude sont :

I.3.1. Le Crétacé supérieur**I.3.1.1. Maestrichtien supérieur**

C'est un assise constante et homogène de calcaires massifs blanchâtres grumeleux, en bancs décimétriques ou métriques, à large stratification oblique avec les empreintes d'inocérames ; Il contient des modules de silex et des tests de lamellibranches. Les principaux affleurements constituent le Djebel Tadleste et Djebel Bouzendag et aussi le sommet de Djebel Djahfa. L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95m.

I.3.1.2. Maestrichtien inférieur

Il est constitué par une alternance de marnes beiges et de calcaires ocre ou beiges avec une épaisseur de 40 m.

I.3.1.3. Campanien

Il comporte à sa base une barre de marnes crayeuses, en bancs décimétriques ou métriques. A la fin on a un passage de marnes avec une épaisseur de 65m. Au-dessus se développe 150m de marnes noires à microfaune comparable qui est bien visible dans les différentes parties du bassin versant surtout sur les limites Sud.

I.3.1.4. Santonien et Coniacien

Ils s'agissent des marnes avec à la base et au sommet quelques barres de marno-calcaires, il se trouve essentiellement sur le flanc Sud de Djebel Djehfa. Il ne dépasse pas les 100m.

I.3.2. Le Crétacé moyen

I.3.2.1. Turonien (moyenne et supérieur)

Il est formé par une alternance de marnes grises et des calcaires zoogéniques noduleux. La prédominance des intercalations calcaires crée une barre bien visible dans la morphologie au Nord-Ouest du bassin, avec une épaisseur de 150m.

I.3.2.2. Turonien basal

La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marno-calcaires blanchâtres en plaquettes fines à cassures noirâtres bitumineuses. L'épaisseur de cette formation est de 200m.

I.3.2.3. Cénomaniens supérieur

Le sommet de cet étage est formé par des calcaires sous forme d'une barre avec des cassures écailleuses ayant un aspect bitumineux et à films centimétriques de marnes gris-bleu. Au sommet, on retrouve un niveau de nodules de pyrite qui constitue un repère constant dans la région. La formation a une épaisseur de 30 m.

I.3.2.4. Cénomaniens moyen

C'est une puissante formation qui débute par 650m de marne grise accompagnée sporadiquement de micrites gris blanchâtres à fins tests de lamellibranches.

I.3.2.5. Cénomaniens inférieur

Il s'agit de marne grise accompagnée de biomicrite argileuse grise avec des niveaux de glauconies et des empreintes d'ammonites, sur une épaisseur de 100m.

I.3.3. Le Crétacé inférieur

I.3.3.1. Le Barrémien

Il affleure au Nord-Ouest du bassin versant à (Dj.Aidel) sous forme d'une petite bande locale. Sa lithologie est constituée essentiellement de matériaux détritiques (grés, calcaires, gréseux, grés quartzeux, conglomérat et marnes vertes ou rouges).

I.3.3.2. Albien

Il entoure régulièrement l'anticlinal de Khenchela en formant une ceinture plus au moins continue au-dessus de l'Aptien. Il s'agit d'une alternance de grés et de marne grise, des dolomies et d'argiles grises. La limite inférieure correspond à une surface minéralisée dans les limites Nord-Ouest du bassin à Djebel El Aidel et Tadlist avec une épaisseur totale de 160m.

I.3.3.3. Aptien

Il est formé essentiellement de bas à haut par :

- Une alternance d'oomicrite, d'oosparite et de calcaire marneux ;
- Une alternance de grés blancs et d'oosparite grises ;
- Une alternance de marne grise et d'oomicrite.

Cet étage est caractérisé par des calcaires dolomitiques fortement minéralisés (fer, azurite, malachite, barytine) largement développés au sommet des montagnes au N-W avec une épaisseur totale est de 330m.

I.3.4. Le Quaternaire

Il couvre une très vaste surface de (60%) de la surface totale du bassin avec une épaisseur assez limitée. Ceci est dû au processus d'érosion intensif qui provoque l'arrachement des formations superficielles sur les pentes raides.

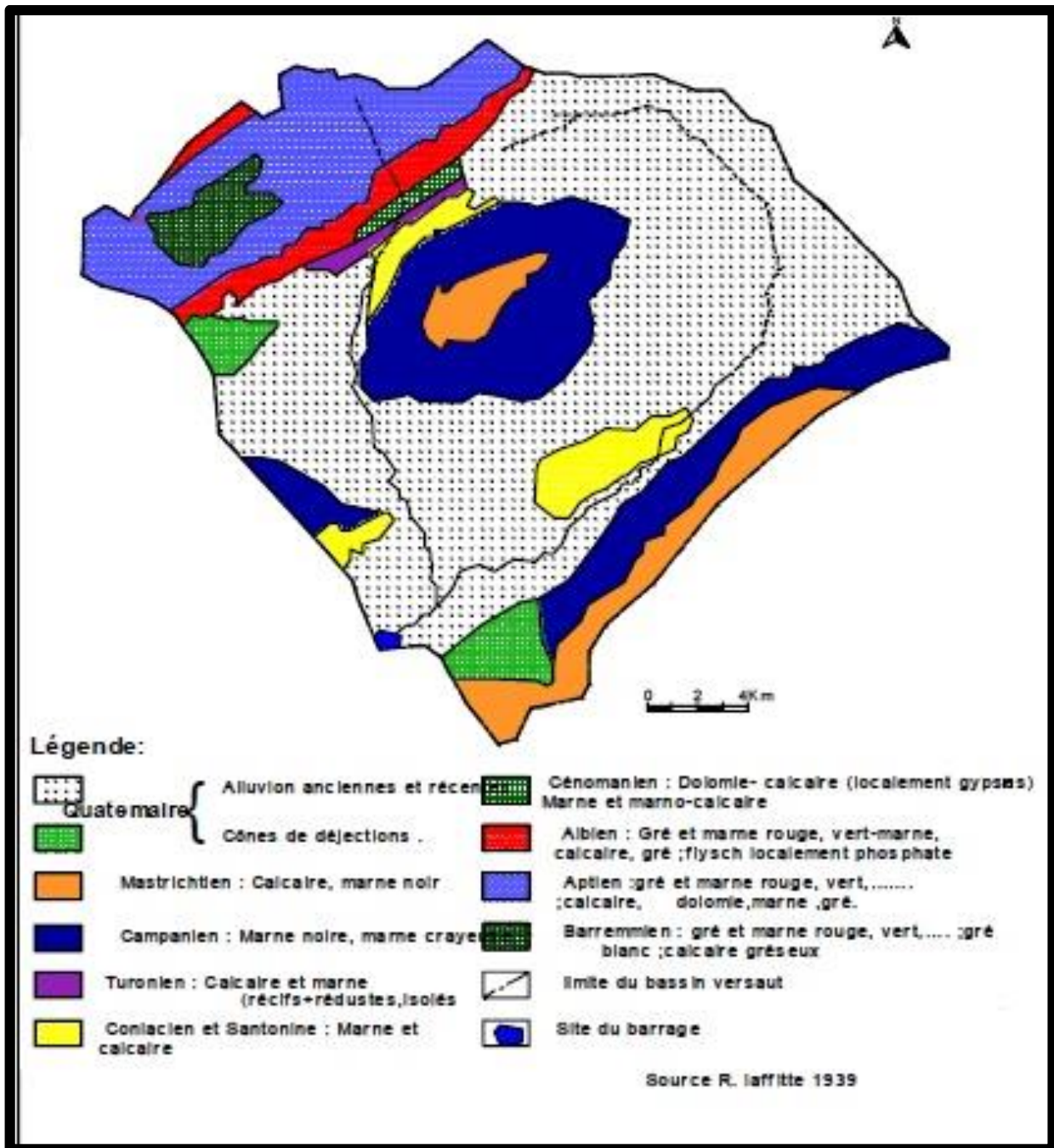
Le Quaternaire se développe sur les pentes douces entre les deux chaînes de montagne qui limitent le bassin versant par le Nord-Ouest et le Sud-Est. En général, il est représenté par des alluvions qui forment deux terrasses : inférieure et supérieure

A. Terrasse supérieure

Les alluvions de la terrasse supérieure sont limitées et sont représentées par des terrains argileux et graveleux. Leur épaisseur totale ne dépasse pas les 5 m.

B. Terrasse inférieure

Les alluvions de la terrasse moyenne sont représentées en grande partie par des terrains argileux et plus rarement par des galets, des graviers, des limons sableux et argileux. L'épaisseur de ces dépôts est en générale de 5 à 7 m. Dans les dépressions, l'épaisseur de cette formation peut atteindre 8 à 10m.



Source : R laffitte, 1939

Figure 02 : La géologie du bassin versant de Oued EL Arab

I.4. La tectonique

Du point de vue tectonique la région se rapporte à l'Atlas tunisien séparé de l'Atlas saharien par le massif des Aurès avec le plus haut sommet à 2328 m où la direction des grands plis change du NE au NNE.

A partir de la carte géologique de Khenchela, on peut remarquer une opposition entre deux secteurs :

- A l'Ouest de la région étudié le style tectonique ressemble à celui des Aurès ;
- A l'Est de la région, l'organisation plissée perd sa prédominance et les structures sont compliquées par la présence de diapirs triasiques (Gaagai A, 2009).

I.4.1. Les structures

A. Les grands plis de l'Ouest

Du Nord-Ouest au Sud-Est se succèdent :

- l'anticlinal de Djebel Chelia dont la voûte est visible à l'Est, un peu au Sud-Est du Djebel Tirkabine, précisons qu'il ne s'agit pas d'une terminaison périclinale. Cet anticlinal paraît effondré et son extrémité Sud-Est est affecté par des accidents cassants orientés selon une direction NW-SE qui peuvent être d'anciens coulissements alpins ;
- le synclinal de Djebel Aurès qui s'enfonce sous le Miocène gréseux sans terminaison périclinale visible ;
- l'anticlinal de Khenchela, puissamment fracturé par des failles directionnelles ou sensiblement E-W (Gaagai A, 2009).

B. Les diapirs de l'Est et du Nord-Est

Ce sont des zones en forme d'anticlinal. Il s'agit :

- Du diapir de Khenchela qui a une forme très allongée. Le Trias recoupe des terrains allant du Cénomaniens inférieur au Coniacien ;
- Du diapir de Djebel El-Kroume et Knif qui possèdent une forme plus complexe qui peut être induite par la présence des corps récifaux et des compartiments bousculés par la phase Alpine. Le Trias découpe des terrains allant de l'Albien au Maestrichtien supérieur ;

- Du diapir d'El-Mahmal qui est le plus développé malgré le recouvrement Quaternaire qui empêche d'évaluer son tracé et ses dimensions. Le Trias n'est en contact qu'avec le Crétacé supérieur. Entre ces diapirs, les terrains ont gardé une disposition Subtabulaire ou faiblement synclinale comme Djebel Djehfa (Gaagai A. 2009).

I.5. La Paléogéographie

Les premiers mouvements enregistrés dans la sédimentation, si l'on accepte une lacune de l'Aptien inférieur, sont liés au diapirisme Sénonien. Les nombreux éléments triasiques remaniés avec des débris de quelques formations, montrent que le Trias était déjà organisé en diapir affleurant à cette époque.

Les formations rouges de l'Aquitano-Burdigalien montrent qu'il faut attendre la phase atlastique pour avoir une première phase tectonique véritable qui a engagé les grands plis anticlinaux Auresiens.

Le microphone pélagique oligocène remaniée dans le Miocène marin montre que cette période correspond à une sédimentation de mer ouverte.

Les formations rouges de l'anticlinal de Khenchela correspondent à la phase Eocène supérieure. Il est probable que la genèse des plis Atlastiques a dû accentuer le diapirisme triasique ancien.

La présence du Miocène marin discordant sur les diapirs montre qu'à partir de cette époque, leur fonctionnement est achevé. Cette discordance générale sur toutes les structures est le seul héritage de la phase alpine (Gaagai A, 2009).

I.6. La lithologie

Du point de vue lithologique on peut classer les formations en quatre catégories (Tableau 01 et Figure 03) :

- Les marnes qui prédominent avec une stratification moyenne à forte. Ces marnes évoluent du vert clair au vert foncé et grise avec des teneurs variables de calcaire. Les marnes faiblement déformées s'alternent avec des couches calcaires à épaisseur variable ce qui leur donne le caractère de flysch.
- Les grés se présentent sous forme de petites taches qui affleurent surtout au Nord-Ouest de bassin et au Sud.

- Les calcaires fissurés se manifestent au Sud-Est, et au Nord-Ouest sous forme de bande qui s'étend de l'extrémité Sud vers l'extrémité Est.
- Les formations du Quaternaire occupent une surface très vaste, elles se développent entre les deux chaînes de montagne qui limitent le bassin. Elles sont constituées essentiellement de marnes, de graviers, d'argiles, de sables et de limons (Gaagai A. 2009).

Tableau 01 : Les formations lithologiques du bassin versant de Oued El Arab

Formations	Perméabilité	Surface (km ²)	Surface (%)
Marnes	Imperméable	75	13
Grés	Perméable	15	03
Calcaires fissurés	Perméable	56	10
Marno-calcaires	Perméable	40	07
Alluvions	Perméable	381	67

Source : Gaagai A, 2009.

I.7. La perméabilité du bassin versant de Oued El Arab

La diversité lithologie et tectonique du bassin versant de Oued El Arab conditionnent le ruissellement et la capacité de rétention. Il en résulte donc une dynamique variable de lessivage des roches et une diversité de la nature des éléments chimiques contenus dans les eaux de ruissellement et dans les aquifères du bassin versant de Oued El Arab. Ainsi, l'exploitation de l'ensemble des données géologiques de notre bassin versant a permis de distinguer trois classes de formations ayant des perméabilités différentes (Tableau 02, figure 04).

I.7.1. Classe des formations à perméabilité élevée

Cette classe représente 13 % de la superficie totale du bassin versant, elle est constituée par des calcaires fissurés et des grés. Elles se situent au Sud-Est et au Nord-Ouest du bassin versant sous forme de bandes parallèles aux chaînes de montagne formant les limites du bassin versant.

I.7.2. Classe des formations à perméabilité moyenne

Elle est formée essentiellement par des dépôts quaternaires qui occupent la majorité de la surface du bassin versant surtout au centre. Elle représente 67% de la surface totale du bassin versant.

I.7.3. Classe des formations à perméabilité faible à moyenne

Elle est constituée par des formations marno-calcaires et des marnes à moyennes, elle représente 20% de la surface totale du bassin, et se manifestent au Nord-Ouest et Sud-Est du bassin versant et au sommet de Dj-Djahfa

Tableau 02 : Répartitions de la perméabilité au niveau du bassin versant de Oued EL Arab.

Classes de perméabilités	Lithologie	Surface (%)
Perméabilité Élevée	Grés, calcaires fissurés	13
Perméabilité Moyenne	Alluvions	67
Perméabilité Faible à Moyenne	Marno-calcaires, marnes	20

Source : Gaagai A, 2009.

I.8. CONCLUSION

Les formations prédominantes sont celle du Quaternaire avec une épaisseur assez limitée ; ce qui explique que la zone d'étude a une perméabilité moyenne mais l'action de l'érosion reste importante sur la majorité de la surface du bassin. Cette action est surtout active sur les fortes pentes dépourvues de végétation.

CHAPITRE 02

GÉOMORPHOLOGIE

II.1. Introduction

L'étude des caractéristiques morphologiques associée à une analyse hydrologique d'un bassin versant constitue une plate-forme très importante pour la compréhension du comportement hydrologique.

II.2. Le milieu physique

II.2.1. Les montagnes

Ces reliefs on les retrouve au Nord-Ouest sur le massif des Aurès représentés par : DJ-Aidel (2092m), Dj-Chentgomma (2115m), Dj-Bezez (2141m) et à l'Est dans les massifs de Nememcha représentés par Dj –Bouzendag (1390m), Dj-Sguiguine (1453m), Dj-Tedliste (1507m). Au centre du bassin, on retrouve les massifs de Djebel Djahfa (1707m). L'ensemble ne constitue que 14% de la surface totale du bassin versant (Gaagai A, 2009).

II.2.2. Les piedmonts

C'est une zone de translation entre les montagnes et la plaine ; ils se situent au Sud-Est et au Nord-Ouest entre les altitudes 1200m-1400m avec une pente moyenne de 9%. Ces zones sont occupées par les forêts et ne représentent que 17% de la surface totale du bassin versant (Gaagai A, 2009).

II.2.3. La plaine

Elle occupe la grande partie du bassin avec 60% de la surface totale du bassin versant. Elle se situe entre les deux chaînes montagneuses du bassin versant sur des altitudes inférieures à 1200m. Ces zones sont occupées par des céréalicultures (orge, blé) et drainées par Oued El Htiba à l'Est et Oued Temagra à l'Ouest (Gaagai A, 2009).

II.2.4. Le couvert végétal

Le bassin versant de Oued El Arab est caractérisé par un couvert végétal moyen à faible. Il ne dépasse pas les 12% de la surface totale ce qui favorise l'action d'érosion. Le couvert végétal est bien conservé sur les monts qui portent des forêts de pins, de chênes verts et du cèdre. Les zones basses sont couvertes par des steppes à Halfa quand elles ne sont pas livrées à la culture des céréales.

II.3. Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de Oued El Arab

Les caractéristiques morphométriques du sous bassin versant de Oued El Arab ont été déterminés à partir de la carte topographique (1/200000) de Khenchela

II.3.1 La surface du bassin versant

La superficie a été mesurée par un Planimètre, elle est égale à 567km² environ. (Tableau 03).

II.3.2. Le périmètre du bassin versant

Le périmètre du bassin versant peut-être mesuré directement sur la carte topographique au moyen d'un Curvimètre. Elle a été estimée à 95km. (Tableau 03)

Tableau 03 : surface et périmètre de sous bassin versant d'oued El Arab

Superficie (km ²)	Périmètre (km)
567	95

II.3.3. Indice de compacité K_c

Cet indice est obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{3,14 * S}}$$

Avec :

P : Périmètre du B.V, P=95km

S : Surface du bassin versant

$$K_c = \frac{95}{2\sqrt{3,14 * 567}} \longrightarrow K_c = 1,12$$

Si :

$K_c \leq 1$ \longrightarrow Bassin versant de forme circulaire.

$K_c = 1,12$ \longrightarrow Bassin versant de forme carrée.

$K_c > 1,12$ \longrightarrow Bassin versant allongé.

Dans notre cas $K_c = 1,12$ donc le bassin versant de Oued El Arab à une forme carrée.

II.4. Répartition de l'altitude et Courbe hypsométrique

Les fréquences altimétriques sont présentées dans le tableau (4) et par la courbe hypsométrique de la figure (5) Ces représentations montrent l'importance et la distribution de chaque tranche d'altitude dans notre bassin. Ceci a permis de dire que 70.6% de la surface du bassin se situent entre les cotes (900 et 1400), alors que 13.14 de la surface totale se trouvent à une altitude supérieure à 1400 m.

II.4.1. Les altitudes caractéristiques

II.4.1.1. Les altitudes minimales et maximales

Elles sont obtenues à partir des cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale représente le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Ces données deviennent importantes lors des développements de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. Ces caractéristiques sont respectivement égales à :

$$H_{\max} = 2326\text{m}$$

$$H_{\min} = 900\text{m}$$

II.4.1.2. L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir en divisant le volume montagneux (V) par la surface du bassin versant (S) ;

$$H_{\text{moy}} = \frac{V}{S}$$

Le volume V est obtenu comme suit :

$$V = \frac{S_i(H_1 + H_2)}{2}$$

Si : Surface partielle en km² entre deux courbes de niveau.

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i \cdot h_i}{S}$$

H_{moy}=1190m

L'application des formules précédentes a permis de dresser le tableau 4.

Tableau 04 : Répartition de l'altitude en fonction de la surface

Altitude (m)	Surfaces partielles		Surfaces cumulées	
	Km ²	%	Km ²	%
2000	1.00	0.18	1.00	0.18
2000-1900	5.70	1.00	6.70	1.18
1900-1800	9.80	1.73	16.50	2.91
1800-1700	11.70	2.06	28.20	4.97
1700-1600	14.20	2.50	42.40	7.47
1600-1500	15.20	2.68	57.60	10.20
1500-1400	18.50	3.26	76.10	13.14
1400-1300	44.72	5.61	107.90	19.00
1300-1200	80.00	14.20	188.70	33.20
1200-1100	140.40	24.80	329.10	58.00
1100-1000	196.00	34.60	525.10	92.60
1000-900	41.90	7.38	567.00	100.00

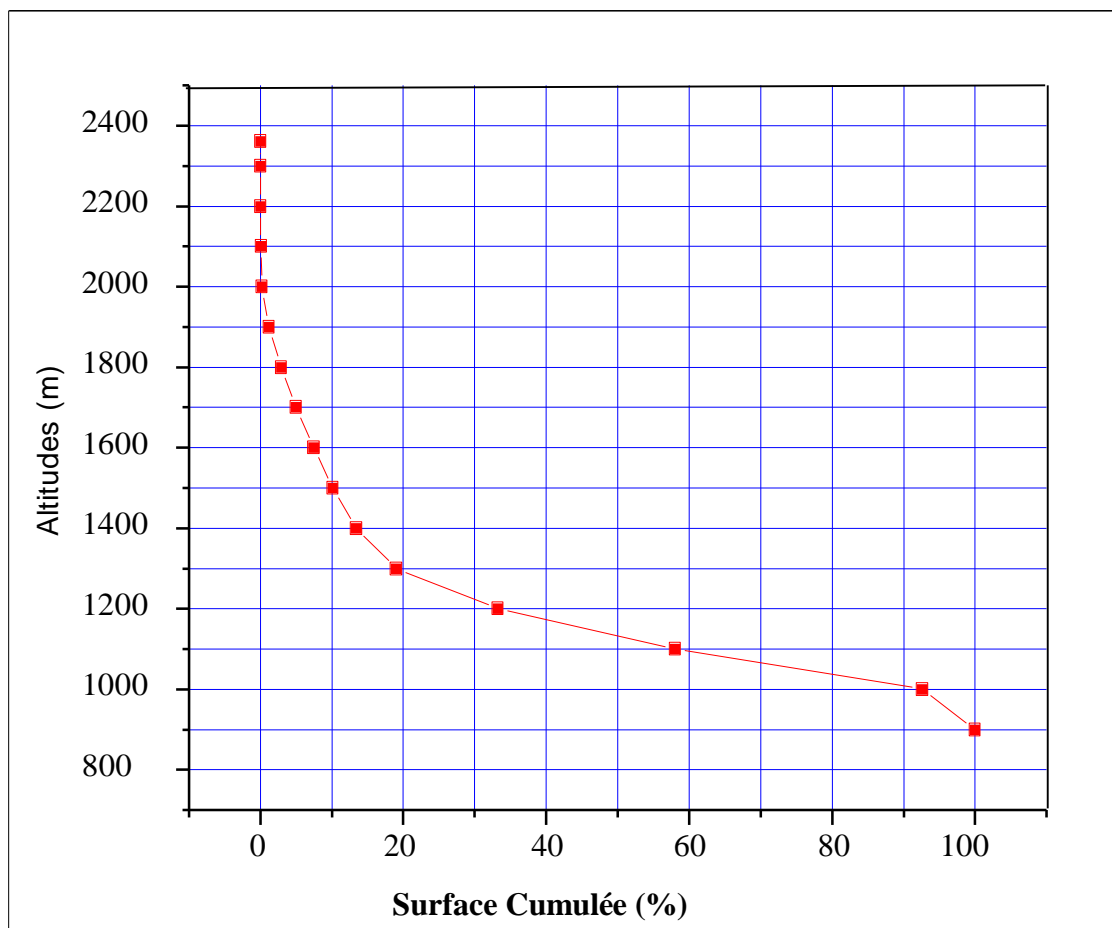


Figure 5 : La Courbe Hypsométrique

II.3.2. Indice de pente moyenne (I_m)

Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{S}}$$

H_{max} : Altitude maximale observée sur le bassin versant ; H_{max}=2326 m

H_{min} : Altitude minimale observée sur le bassin versant ; H_{min}=900 m

S : Surface du bassin versant ; S=567 km²

$$I_m = \frac{2326 - 900}{\sqrt{567}} = 59,89 \text{ m / km}$$

$$I_m = 59,89 \text{ m / km}$$

II.3.3. Indice de pente globale (I_g)

Il est calculé de la manière suivante : sur la courbe hypsométrique, on prend les deux points de tel sorte que la surface supérieure et inférieure soit égale à 5% de la surface totale (S), on aura les altitudes H5% et H95% avec lesquelles on calcule l'indice de pente globale

à l'aide de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

D : la dénivelée entre H5% et H95%

$$\Rightarrow D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

L : longueur du rectangle équivalent ; L=23.81km

A partir de la courbe hypsométrique on tire :

$$H_{5\%} = 1695 \text{ m}$$

$$H_{95\%} = 975 \text{ m}$$

D'où

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1695 - 975 = 720 \text{ m}$$

Ce qui nous permet de calculer l'indice de pente globale.

$$I_g = \frac{720}{23.81} = 30.24 \text{ m / km}$$

II.3.4. Dénivelée spécifique (D_s)

Elle est définie comme étant le produit de l'indice de pente globale (I_g) par la racine carrée de la surface du bassin versant.

$$\boxed{D_s = I_g \sqrt{S}} \quad D_s = 30.24\sqrt{567} \quad \text{Soit } D_s = 720.07m$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer), la dénivelée spécifique du bassin de Oued Al Arab se trouve dans la classe R7 (Tableau 05), donc on a un relief très fort.

Tableau 05 : Classification de l'ORSTOM

Classe	Type de relief	Intervalle de D_s
R1	Relief très faible	05 à 10m
R2	Relief faible	010 à 25m
R3	Relief assez faible	025 à 50m
R4	Relief modéré	050 à 100m
R5	Relief assez fort	100 à 250m
R6	Relief fort	250 à 500m
R7	Relief très fort	500 à 750m

II.4. Le réseau hydrographique

La région étudiée est caractérisée par un réseau hydrographique bien développé (Figure 6). Il est constitué de plusieurs cours d'eau comme Oued El Htiba et Oued Temagra qui se rejoignent pour former Oued El Arab (Gaagai A, 2009).

II.4.1. Caractéristiques du réseau hydrographique

La longueur totale de l'ensemble du chevelu hydrographique est mesurée par le curvimètre à partir de la carte topographique au (1/200000) de Khenchela.

II.4.1.1. Densité de drainage D_d

Elle est déterminée comme étant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre (L_x) sur la surface du bassin versant (S).

La longueur des thalwegs est mesurée à l'aide du curvimètre pour chaque ordre séparément. La densité de drainage est donnée par l'équation suivante :

$$D_d = \frac{\sum_{x=1}^7 L_x}{S}$$

Où :

D_d: Densité de drainage en (km/km²)

L_x : Longueur totale cumulée de l'ensemble des talwegs

S : Superficie du bassin versant ; S = 567km²

Soit :

$$D_d = \frac{27216}{567} \Rightarrow D_d = 4,8 \text{ km} / \text{km}^2$$

II.4.1.2. Coefficient de torrentialité

C'est le produit de la densité de drainage par la fréquence des talwegs élémentaires.

$$C_t = D_d \cdot \frac{N_l}{S}$$

Où :

C_t : Coefficient de torrentialité.

D_d : Densité de drainage ; D_d=4,8km/km²

N_l : nombre de talwegs d'ordre « 1 » N_l= 4123

S : surface du bassin versant S=567km²

Soit :

$$C_t = 4,8 \times \frac{4123}{567} \Rightarrow C_t = 34,9$$

II.4.1.3. Temps de concentration

C'est le temps que met une goutte d'eau tombée au point hydrauliquement le plus éloigné pour arriver à l'exutoire. On va utiliser la formule de GIANDOTTI pour déterminer ce paramètre :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Où :

T_c : Temps de concentration (heures)

S : Superficie du bassin versant, S=567km²

L_p : Longueur du talweg principal, L_p= 51km

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant ; H_{moy}=1190m

H_{min} : Altitude moyenne du bassin versant ; H_{min}= 900

Soit :

$$T_c = \frac{4\sqrt{567} + 1,5 \times 51}{0,8\sqrt{1190 - 900}}$$

$$T_c = 12,6 \text{ heures}$$

On remarque que ce temps de concentration est lent ce qui permet de prendre les précautions nécessaires en cas de crue exceptionnelle.

II.4.1.4. Vitesse de concentration

C'est la vitesse moyenne de propagation de la crue, elle est calculée par la formule suivante :

$$V_c = \frac{L_p}{T_c}$$

Où :

V_c : Vitesse de concentration ; (km/h)

L_p : Longueur du talweg principal ; L_p= 51km

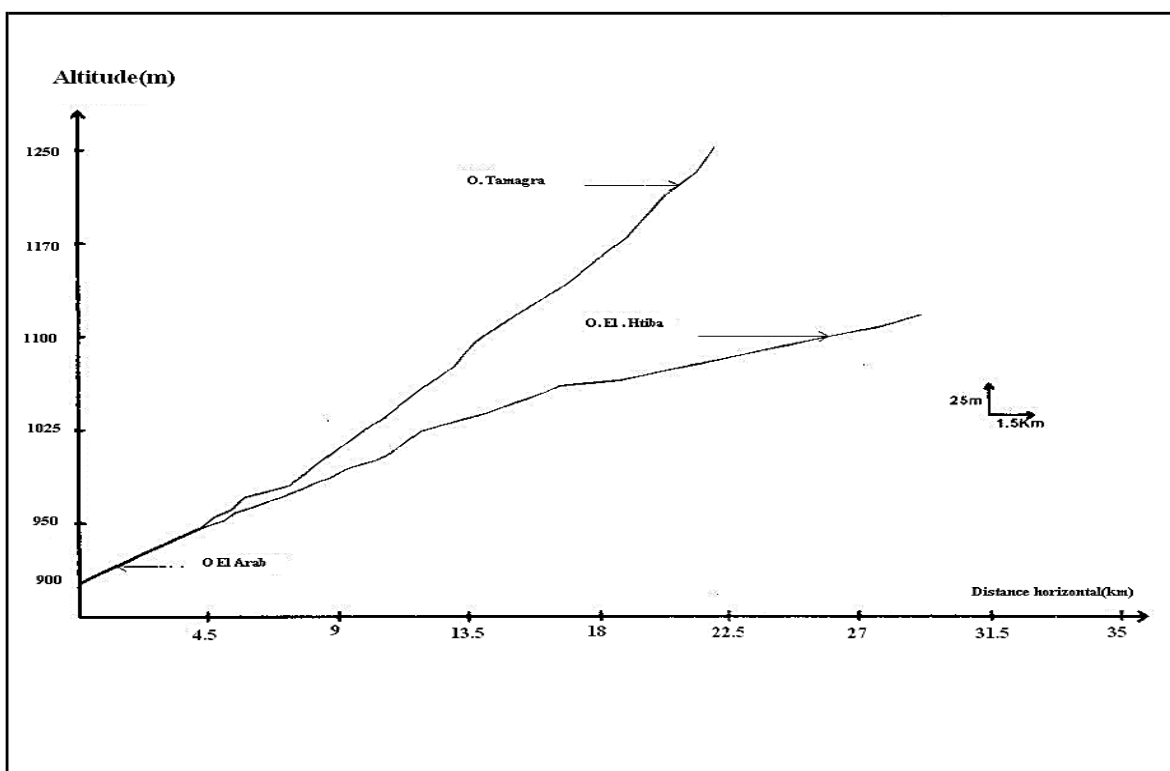
T_c : Temps de concentration ; T_c=12,6h

$$V_c = \frac{51}{12,6} = 4,048 \text{ km/heure}$$

II.5. Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de Oued El Arab

Oued El Arab et ses affluents ont des tracés avec des ruptures de pentes très fortes ce qui augmente la vitesse d'écoulement et surtout dans des crues exceptionnelles. L'étude du profil en long (Figure 7) montre des ruptures de pente très fortes dues à l'existence de seuils rocheux particulièrement résistants. Notamment à l'Oued Temagra qui présente des pentes fortes. A ce niveau on peut distinguer les ruptures suivantes :

- La première rupture importante sur Oued Temagra est observée à l'altitude de 1095m.
- La deuxième rupture est observée sur Oued El Htiba à l'altitude de 1050m, ou la pente est plus accentuée faisant augmenter la vitesse d'écoulement.
- La troisième sur Oued El Htiba à l'altitude de 1025m, et Oued Temagra à l'altitude de 970m, qui se stabilise et donne l'occasion à l'eau de s'infiltrer (Gaagai A, 2009).



Source : Gaagai A, 2009

Figure 7 : Profil en long des principaux cours d'eau du bassin versant de Oued El Arab

L'ensemble des caractéristiques de ce bassin versant ont été représentées dans le tableau 06.

Tableau 06 : récapitulatif des caractéristiques du bassin versant

Caractéristiques	Unités	Symboles	Valeurs
Surface	Km ²	S	567
Périmètre	km	P	95,24
Altitude maximale	m	H _{max}	2326
Altitude minimale	m	H _{min}	900
Altitude moyenne	m	H _{moy}	1190
H5%	m	H5%	1695
H95%	m	H95%	975
Indice de compacité	-	K _c	1,12
Longueur du rectangle équivalent	km	L	23,81
Largeur du rectangle équivalent	km	l	23,81
Indice de pente globale	m/km	I _g	30,24
Indice de pente moyenne	m/km	I _m	59,89
Altitude médiane	m	H50%	1130
Dénivelée spécifique	m	D _s	720,07
Longueur du talweg principal	km	L _p	51
Densité de drainage	Km/km ²	D _d	4,8
Coefficient de torrentialité	-	C _t	34,9
Temps de concentration	Heurs	T _c	12,6
Vitesse de concentration	Km/heurs	V _c	4,04

Source : Gaagai A, 2009

II.5. CONCLUSION

Le bassin versant de Oued El Arab est situé dans une zone entourée par les reliefs avec une superficie de 567km² et de forme carrée.

La distribution des altitudes du bassin versant de Oued El Arab montre que la majeure partie de ce bassin (70.6%) est située entre les cotes (1000-1300m).

Le réseau hydrographique de ce bassin versant est bien développé avec une densité de drainage ($Dd=4.8\text{km}/\text{km}^2$) où dominent les formations du Quaternaire à perméabilité moyenne ce qui favorise le phénomène d'érosion.

Le profil en long des oueds principaux montre que la densité de drainage et la pente des oueds sont très fortes ce qui favorise le ruissellement.

III.1. Introduction

Le climat est la composante directe déterminante de la distribution des organismes vivants, et le facteur primordial influant sur l'activité des biocénoses (Dajoz, 1982).

Il est l'aspect du temps sur une longue période en un domaine spatial déterminé. C'est un ensemble ordonné des états de l'atmosphère et de leurs interactions avec la surface sur une période donnée et sur une étendue déterminée (El Khatri, 2003).

Il est aussi le résultat du comportement de l'atmosphère du point de vue humidité, pluies, température, éclaircissement et vents (boudy, 1952) cité par Gaagai, 2009.

L'étude climatique de la zone d'étude est extrême difficile par le manque des stations météorologiques ; Selon Benissad le climat de la région reflète bien les caractéristiques du climat méditerranéen caractérisé par deux grandes saisons :

- ❖ Une saison hivernale, peu rigoureuse et assez pluvieuse, s'étalant de la fin de l'automne, jusqu'au début du printemps ;
- ❖ Une saison chaude sèche, qui s'étend sur quatre mois et qui correspond aux mois de l'été.

L'étude climatique a été faite à partir des données recueillies de la station météorologique de kenchela s'étendant sur une période de 11 ans de 2004 à 2014.

III.2. Etude des facteurs climatiques

III.2.1. La température

La température est l'un des éléments importants pour la caractérisation du climat, elle est une grandeur physique liée à la sensation de chaud et froid d'un corps par rapport à un autre corps. Par définition, une température est une mesure numérique d'une chaleur, sa mesure se fait par détection de rayonnement thermique, la vitesse des particules, l'énergie cinétique, ou par le comportement de la masse d'un matériau thermométrique (Roger et Al. 2006).

L'étude des températures permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation des aquifères profonds et la concentration des sels dissous dans leurs eaux et de préciser les limites de la thermalité.

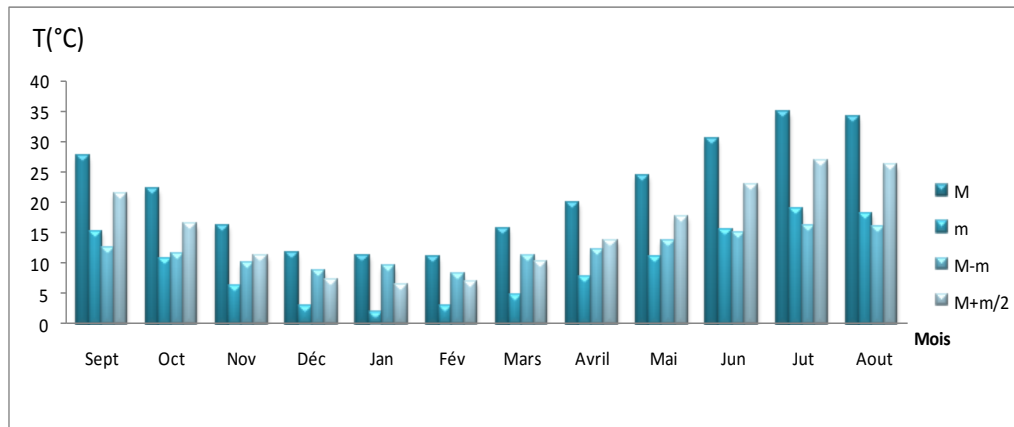


Figure 08 : Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2014)

La figure 08 illustre que le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne maximale de 34.9 °C, alors que le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne minimale de 1.85 °C.

III.2.2. La pluviométrie

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale dans l'alternance de la saison des pluies et la saison sèche, qui joue un rôle régulateur des activités biologiques (Ramade, 1984).

Elles sont les apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie ou rosée) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Les précipitations (pluie ou neige) sont mesurées à la surface de la terre en millimètres.

Les précipitations annuelles n'ont qu'une valeur indicatrice, le plus important c'est leur répartition mensuelle et saisonnière. Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles observées dans la zone expérimentale au cours d'une période de 11 ans (2004-2014) sont reportées comme dans la figure 09

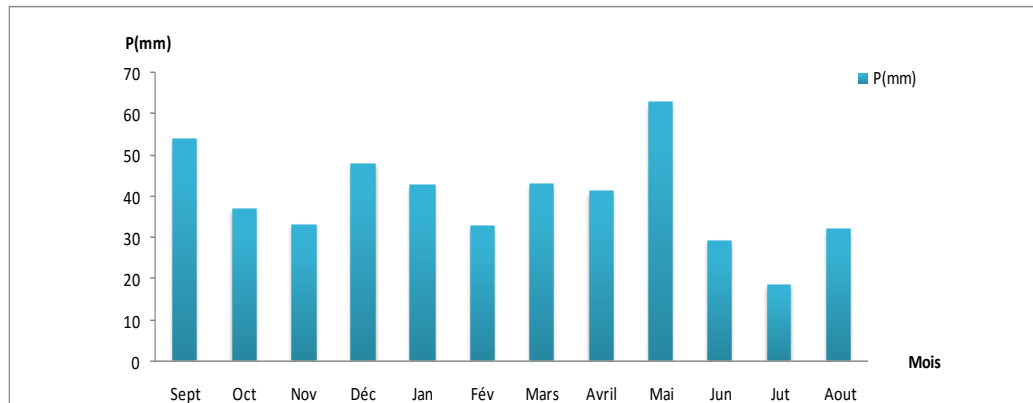


Figure 09 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2014)

On remarque que la figure 09 montre que les précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2014) sont de 474.38 mm. Le mois le plus pluvieux est mai avec une moyenne de 62.49 mm et le plus sec est juillet avec une moyenne de 18.63 mm.

Pour la période (2004-2014), la saison la plus pluvieuse se situe à l'automne avec 171.41 mm suivie de l'hiver avec 130.99 mm, le printemps 123.43 mm et finalement l'été avec 80.07 mm.

III.2.3. Evaporation

L'évaporation est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l'air et l'agitation de cet air. Ce terme représente la restitution de l'eau de la surface terrestre sous forme de vapeur, à l'atmosphère et sous des conditions climatiques et physiographiques. (Ramade, 2005).

Le pourcentage de la vapeur d'eau dans l'air est très variable dans le temps et dans l'espace. L'évaporation concerne aussi bien les précipitations qui arrivent au sol que l'eau contenu dans le sol. (El Khatri, 2003).

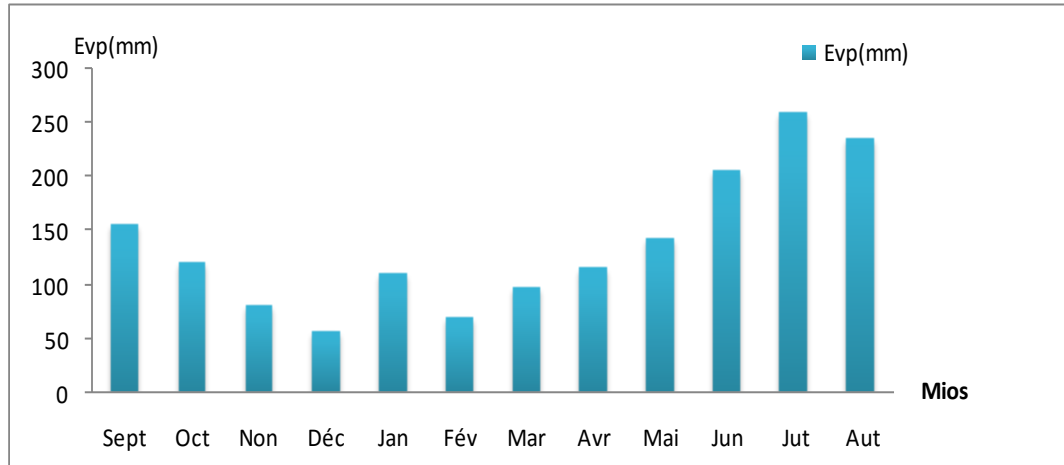


Figure 10 : Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2004-2014)

L'évaporation moyenne varie d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en juillet avec une moyenne de 259.9 mm. Celle minimale est de 56.81 mm au mois de décembre comme l'indique la figure 10

III.2.4. L'insolation

Il s'agit de l'insolation effective c'est-à-dire de la période en heures durant laquelle le soleil à briller. (Ramade .2005)

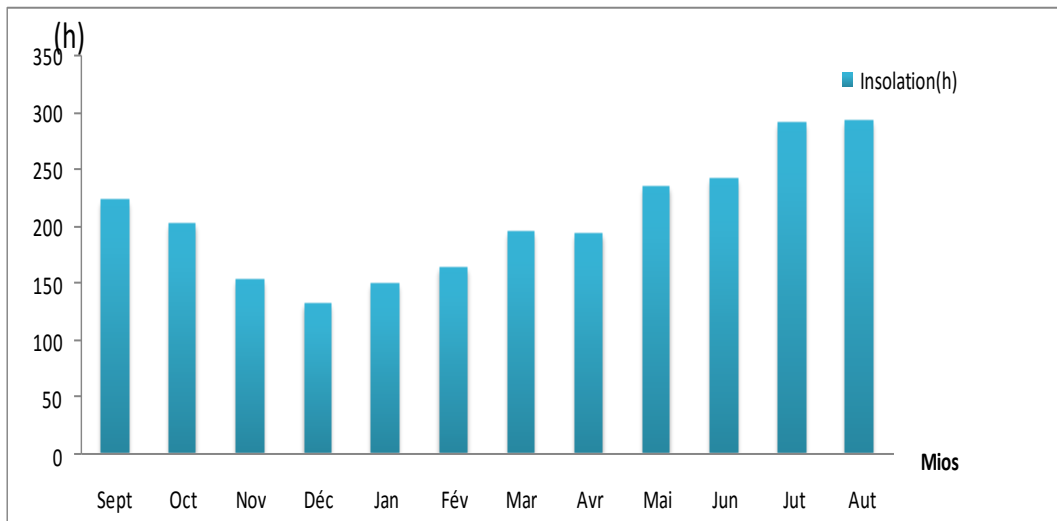


Figure 11 : Diagramme moyennes mensuelles de l'insolation de la période (2004-2014)

La figure 11 montre que le mois qui comporte un grand nombre des jours les plus ensoleillés est aout avec une moyenne de 293.3 heures, tandis que le moins ensoleillé est décembre avec une moyenne de 132.3heures.

III.2.5. L'humidité

L'humidité ou degré hygrométrique est le pourcentage de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Elle est très importante car elle influe sur l'évaporation. (Ramade, 2002). Les valeurs d'hygrométrie de la période (2004-2014) sont indiquées dans la Figure 12

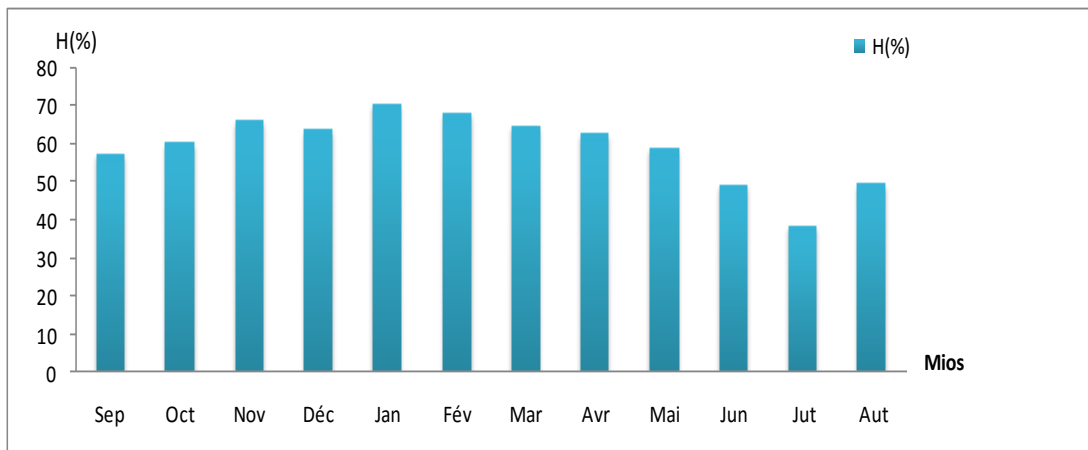


Figure 12 : Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (2004-2014)

A partir de la figure 06 on constate que les valeurs de l'humidité sont relativement homogènes. Les données hygrométriques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de janvier avec une moyenne de 70.52% ce qui explique qu'il est le mois le plus humide, et le plus faible durant le mois de juillet avec une moyenne de 38.3 %.

III.2.6. Le vent

Le vent est le résultat de la différence de pression entre deux zones voisines. Il provoque le déplacement d'air et transporte ainsi les caractères climatiques. (Roger et al, 2006). Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporant par des nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes.

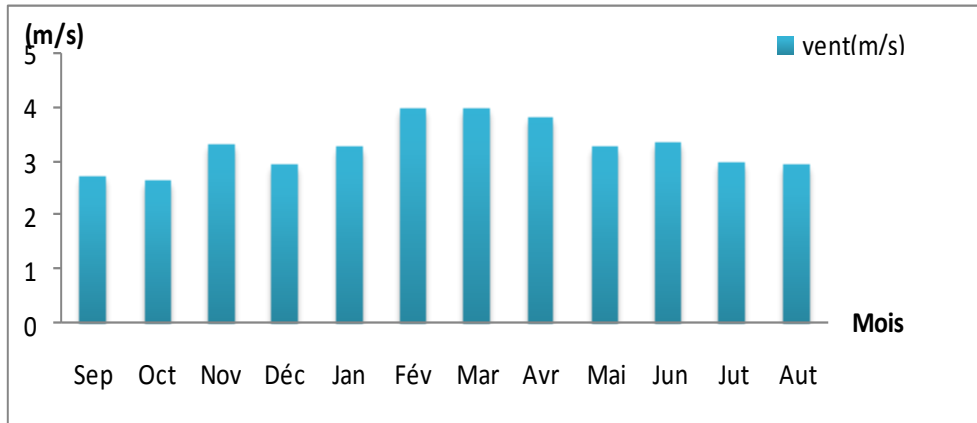


Figure 13 : Diagramme des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents de la période (2004-2014)

La vitesse moyenne annuelle des vents dans la région d'étude est de 3.26 m/s.

III.2.7. Neige

La neige est d'abord une forme de précipitations naturelle constituée de glace cristallisée agglomérée en flocons contenant de l'air et pouvant être ramifiés de façons très variées. La neige apparait naturellement dans l'atmosphère par condensation de la vapeur d'eau à saturation, lorsqu'il y a beaucoup de froid et des noyaux de congélation.

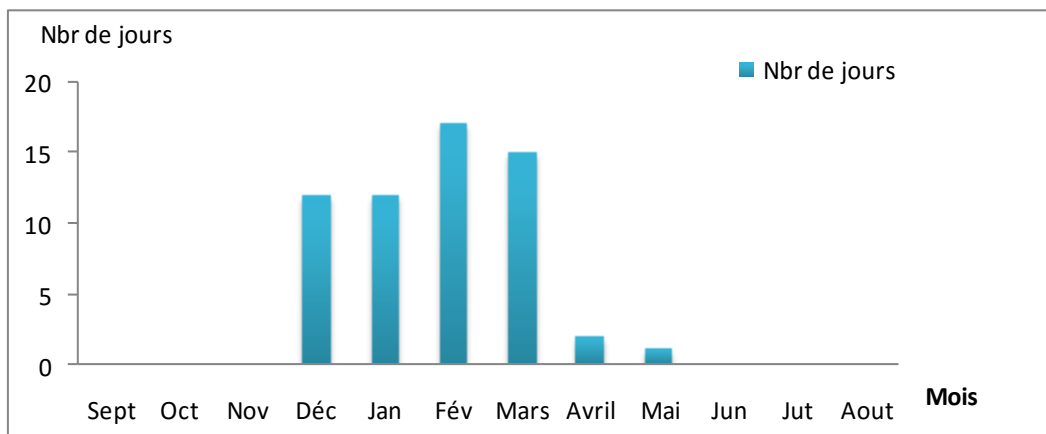


Figure 14 : Diagramme des moyennes mensuelles des neiges de la période (2004-2014)

La figure indique que l'enneigement s'étale sur une durée de 6 mois de décembre à mai donc la plus grande partie de neiges tombe pendant la période hivernale.

III.2.8. Grêle

Est une précipitation constituée de globules ou de morceaux de glace les grêlons, de formes très diverses, mais souvent sphériques, dont le diamètre peut varier de quelques millimètres à une dizaine de centimètres.

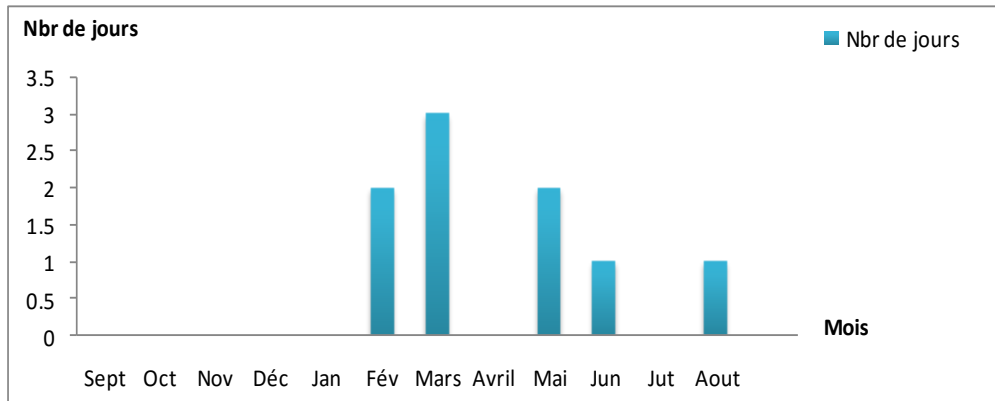


Figure 15 : Diagramme des moyennes mensuelles Grêle de la période (2004-2014).

La figure 10 montre que la grêle n'est pas fréquente dans la région De Babar.

Le maximum est enregistré au mois de mars avec une moyenne de 3 jours de grêle.

III.2.9. Orage

Un orage, est une perturbation atmosphérique d'origine convective associée à un type de nuage particulier : le cumulonimbus. Dans des cas extrêmes, l'orage peut produire des chutes de grêle, des vents très violents et, rarement des tornades. Les orages peuvent se produire en toute saison, en autant que les conditions d'instabilité et d'humidité de l'air sont présentes.

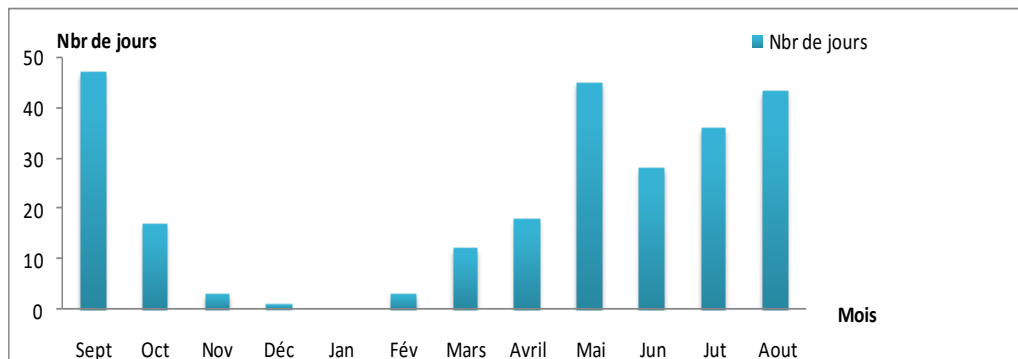


Figure 16 : Diagramme des moyennes mensuelles des orages de la période (2004-2014).

On remarque que la figure 11 montre que l'orage est fréquent pendant 11 mois (de février à novembre), la valeur maximale est enregistrée au mois de septembre avec une moyenne de 47 jours d'orages.

III.2. 10. Indice d'aridité

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (I_a). Cet indice est fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude (Gaagai, 2009).

Ce paramètre se calcule selon la formule suivante :

$$I_a = P / T + 10$$

Avec :

I_a : Indice d'aridité

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent de déterminer le climat selon le classement suivant :

Quand :

$I < 5$ Le climat est hyperaride

$5 < I < 7.5$ Le climat est désertique

$7.5 < I < 10$ Le climat est steppique

$10 < I < 20$ Le climat est semi-aride

$20 < I < 30$ Le climat est tempéré

$I > 30$ Le climat est humide.

Pour la station d'El Hamma, $P = 474.38$ mm et $T = 15.62$ °C donc cet indice est égal à

$$I_a = 474.38 / (15.62 + 10)$$

$I_a = 18.56$ ce qui permet de dire que le climat est semi-aride avec un écoulement temporaire

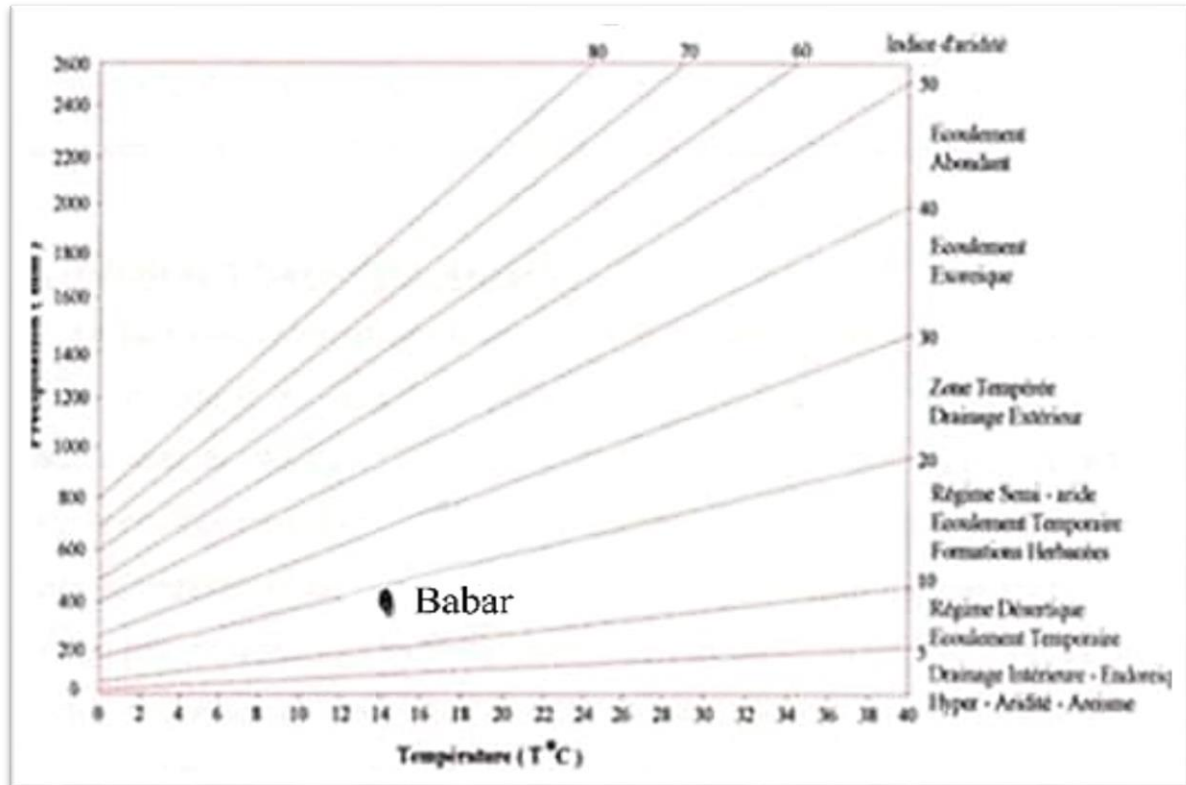


Figure 17 : Abaque de l'indice d'aridité (MARTONNE).

III.3. Synthèse climatique

III.3.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen

D'après Gaussen (1953), la sécheresse n'est pas nécessairement l'absence totale des pluies, mais elle se manifeste quand les faibles précipitations se conjuguent avec les fortes chaleurs.

Le même auteur considère comme mois sec celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètres, est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius.

$$P < 2T \text{ (indice de Gaussen)}$$

De cela, le graphique des courbes ombrothermique comportera les précipitations mensuelles (P) et les températures moyennes mensuelles (T). Les deux échelles (P) et (T) sont telles que : 1°C = 2 mm (Figure 19).

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude montre que la période sèche dure environ 107 jours (de juin jusqu'au mi de septembre)

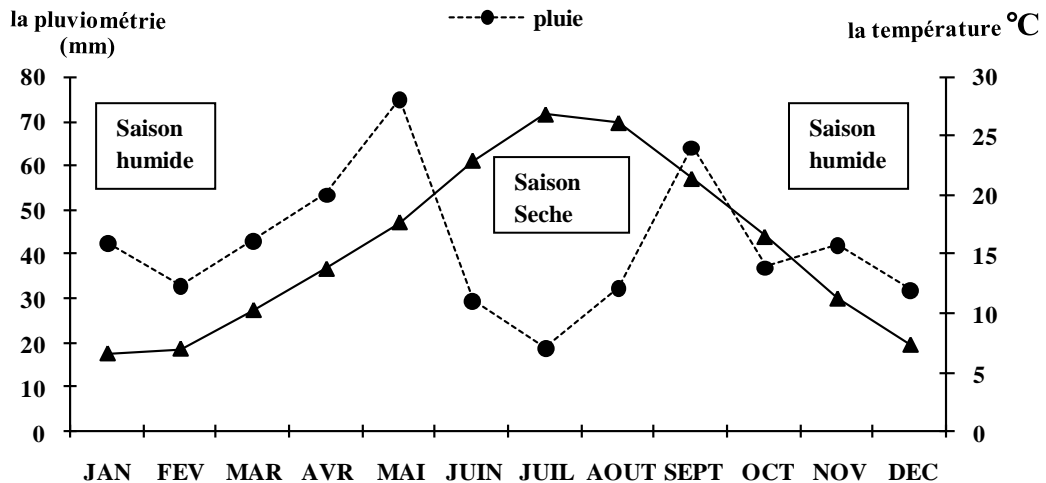


Figure18 : Diagramme ombrothermique de Gaussen et de Bagnols de la zone d'étude (2004-2014)

La superposition des deux courbes P (mm) et T (°C) permet ainsi de définir la période sèche.

III.3.2. Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger

Emberger a écrit : « il est possible de subdiviser chaque région, suivant les diverses nuances climatiques, en un certain nombre de territoires climatiques. Chacun d'eux constitue ce que l'on peut appeler un étage climatique ».

Le même auteur en (1932), propose une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température, cette formule peut s'écrire de la manière suivante :

$$Q_2 = 1000 P / [(M+m) / 2 (M+m)] \text{ soit : } Q_2 = 1000 P / (M^2 - m^2) \\ = [1000 / (M+m) / 2 * 273] * [P / (M+m)]$$

Ce quotient est par la suite simplifié par Stewart (1969) comme suit :

Où :

$Q_2 = 3,42 [P / (M - m)]$

- P : Hauteur des précipitations moyennes annuelles en mm ;
- M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C) ;
- m : Moyenne des minima du mois le plus froid (°C) ;
- Q₂ : Quotient pluviométrique annuel en mm ;
- M-m : Amplitude thermique extrême moyenne.

Dans notre zone d'étude :

$$P = 474.38\text{mm} ; M = 34.9\text{ }^{\circ}\text{C} ; m = 1.85\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ Donc}$$

$$Q_2 = 49.08\text{ mm}$$

III.3.3. Le climagramme de quotient pluviothermique d'Emberger

Pour préciser le climat de la région, nous employons le Climagramme de L. Emberger.

En combinant Q_2 et des minima (m), Emberger (1980) suivi par plusieurs auteurs de son école construisirent un climagramme divisé en étages bioclimatiques, suivant des changements observés sur la végétation méditerranéenne. (Dagt cité par Abdessamed, 1981).

La valeur brute de Q_2 est insuffisante à elle seule pour rendre compte de la valeur bioclimatique d'une saison, Emberger (1932) introduit la valeur de (m) comme valeur écologique différentielle d'après sa longue expérience des milieux méditerranéens, dans ce climagramme les valeurs de Q_2 figurent en ordonnée et (m) en abscisse. Ainsi, il pouvait agencer les stations météorologiques d'après la sécheresse globale de leur climat Q_2 et la rigueur de leur froid m (Abdessamed, 1981).

Utilisant ce climagramme avec la valeur obtenue ($Q_2= 49.08\text{ mm}$, $m=1.85^{\circ}\text{C}$), on trouve dans la zone d'étude est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais figure 19.

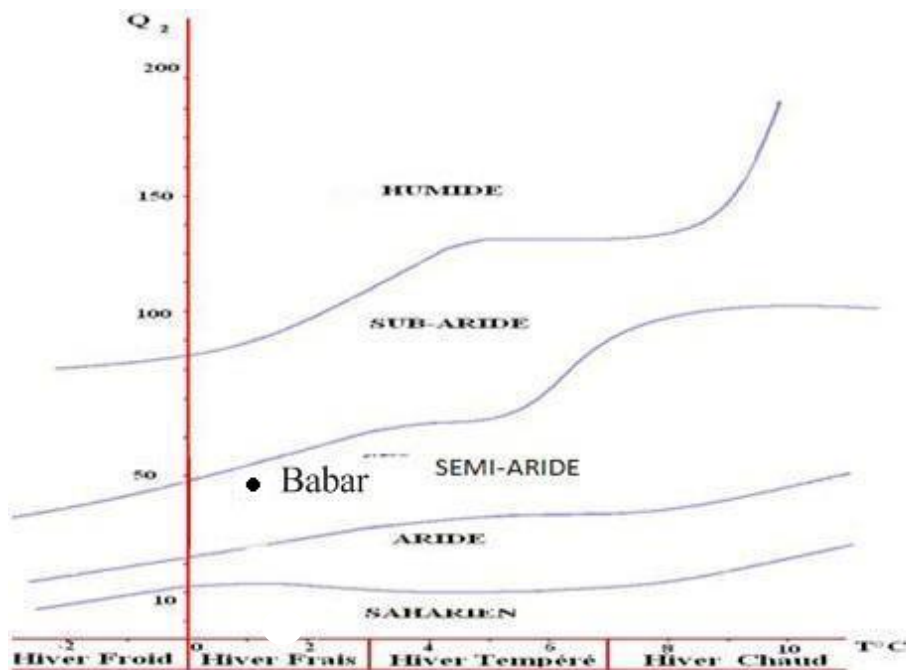


Figure 19 : Climagramme d'Embergie de la zone d'étude

III.3.4. Le bilan hydrique

Dans cette étude nous allons évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, ce dernier paramètre englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation physique et biologique, il est considéré comme le plus important car il conditionne l'abondance ou le déficit de l'eau pour la végétation. Il est utile de distinguer entre la notion d'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est employée lorsque la surface évaporant est convenablement alimentée en eau et la notion d'évapotranspiration réelle (ETR) qui distingue la quantité en eau perdue réellement par l'évapotranspiration.

III.3.4.1. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle)

C'est la somme de la quantité de vapeur de l'eau évaporée par le sol et par la transpiration des plantes quand le sol a une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique

III.3.4.2. ETR selon la formule de Turc

Cette méthode est applicable à tous les climats et elle est fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. La formule est la suivante :

Avec :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}.$$

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3.$$

ETR : Evapotranspiration réelle (mm/an) ;
P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;
L : Paramètre arbitraire lié à la température (pouvoir évaporant de l'atmosphère);
T : Température moyenne annuelle (°C).

Tableau 07 : L'ETR selon la formule de turc

Station	P (mm)	L	T (°C)	ETR (mm/an)
El hamma	474.38	881.1	15.62	435.21

III.3.4.3. L'ETR selon la C. W. Thornthwaite

On obtient l'ETR pour l'un des cas suivants :

- Si $P < ETP \rightarrow ETR = P$ et $RFU = 0$ (déficit hydrique)
- Si $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$ et $RFU = P - ETP$ (excédent hydrique)

Tableau 08 : ETR selon la C.W Thornthwaite

Station	ETR selon la formule de Turc (mm/an)	L'ETR selon la C. W. Thornthwaite (mm/an)
El hamma	458.38	470.9

III.3.4.4. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)

L'évapotranspiration potentielle est la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Il s'agit de la perte d'eau d'un couvert végétal en plein développement sous les conditions optimum d'alimentation en eau sans l'influence d'aucun facteur limitant.

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdu en phase vapeur sous un climat donné et un type de couverture végétale bien déterminée et en pleine croissance donc elle comprend l'évaporation du sol et la transpiration des plantes.

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques. Cependant le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et du type de climat de la région. Les formules empiriques qu'on utilisé est : THORNTHWAIT.

III.3.4.5. D'après la formule de C. W. Thornthwaite

Plusieurs formules ont été utilisé pour estimer ETP parmi ces formulas celle de C.W. Thornthwaite, qui a proposé également en 1948, elle a basé essentiellement sur les températures de l'air :

$$ETP = 16[10(t/I)]^a k$$

$$I = \sum i$$

$$i = (t/5)^{1.514}$$

$$a = 1.6*(I/100) + 0.5$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm).

i : Indice thermique mensuel.

a : Paramètre arbitraire lié à la température.

I : Somme des indices thermiques mensuels.

t : Température moyenne mensuelle (C°).

K : Coefficient d'ajustement mensuel (Coefficient de correction, qui dépend de la latitude).

III.3.4.6. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)

La RFU est la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique (Gaagai, 2009).

Selon G. Gastanoy lorsque les quantités d'eau provenant des pluies dépassent celles perdues par l'évapotranspiration, le surplus est stocké et constitue ce qu'on appelle réserve facilement utilisable.

Tableau 09 : Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'EL HAMMA

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
T °C	21.38	16.45	11.21	7.29	6.56	6.96	10.24	13.74	17.70	22.93	26.85	26.13	15.6
i	9.0	6.1	3.4	1.8	1.5	1.6	3.0	4.6	6.8	10.0	12.7	12.2	72.8
K	1.03	0.97	0.86	0.89	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	
ETP (mm)	99.1	60.3	28.2	14.3	11.7	12.6	29.1	50.2	85.0	130.8	173.3	156.3	851.0
P (mm)	54.03	36.93	33.01	48.14	42.52	32.77	43.01	41.14	62.79	29.28	18.63	32.14	474.4
BH(m m)	-45	-23.4	4.8	33.9	30.8	20.1	13.9	-9.1	-22.2	-101.5	-154.7	-124.2	-376.6
RFU (mm)	0	0	4.8	38.6	69.4	89.6	100	90.9	68.7	0	0	0	
ETR (mm)	54	36.9	28.2	14.3	11.7	12.6	29.1	50.2	85	98	18.6	32.1	470.9
DA (mm)	45	23.4	0	0	0	0	0	0	00	32.8	154.7	124.2	380.1
EXC (mm)	0	0	0	0	0	0	3.5	0	0	0	0	0	3.5

DA : Le déficit agricole est le déficit entre ETP et ETR donc : **DEF = ETP - ETR**

EXC : L'excédent c'est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaits donc :

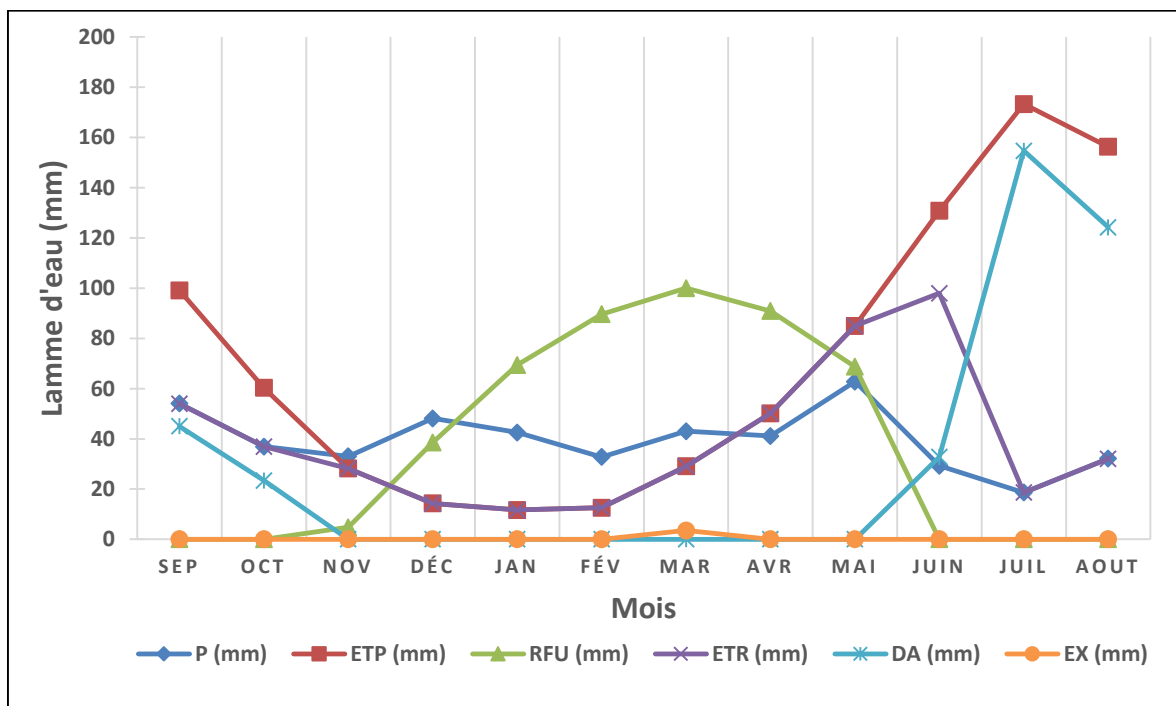
$$\mathbf{EXC = P - ETR}$$

BH : Le bilan hydrique : **BH = RFU - DEF**

III.3.4.7. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite

- A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations. Les précipitations dominent dans la région d'étude avec un total de 474.4 mm/an.
- A l'échelle mensuelle nous constatons qu'à partir du mois de mai les précipitations sont inférieures à l'ETP jusqu'au mois novembre. Les autres mois de décembre jusqu'à avril où les précipitations sont supérieures à l'ETP.
- En générale les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la formation de la RFU.
- Le déficit agricole (DEF) débute au mois de juin et se poursuit jusqu'au mois d'octobre.
- La reconstitution du stock s'observe au mois novembre avec une RFU= 4.8 mm.
- La RFU atteint son maximum (100 mm) au mois de mars, on assiste un épuisement du stock à partir de mois de juin jusqu'à le mois de septembre.

Figure 20 : Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'El Hamma



III.4. Conclusion

L'étude du climat nous a expliqué que la zone d'étude est soumise à des conditions climatiques plus au moins difficiles et très sévères.

Le sirocco qui souffle durant l'été provoqué une augmentation notable de la température et une chute brutale de l'humidité atmosphérique.

D'une manière générale, le climat de la zone se caractérise par deux saisons, l'une pluvieuse et froide et l'autre sèche et chaude.

D'après le climagramme d'Emberger, la zone d'étude est située dans l'étage semi-aride à hiver froid.

L'examen des précipitations et des températures des différents postes pluviométriques a donné des résultats spécifiques aux sous bassin de Ain Mimoun avec :

- Une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 474.38 mm
- Une température moyenne annuelle de l'ordre de 15.62 C°.
- Une évapotranspiration potentielle de l'ordre de 851 mm.
- Une évapotranspiration réelle de l'ordre de 470.9 mm
- Un déficit agricole de l'ordre de 380.1 mm.

CHAPITRE 03

ETUDE

HYDRO-CLIMATIQUE

CHAPITRE 04

ETUDE

HYDROCHIMIQUE

IV.1. Introduction

L'hydrochimie se définit comme la connaissance des caractéristiques chimiques des eaux, des processus de leur acquisition et des lois décrivant les échanges entre l'eau, le sol et le sous-sol.

Elle est liée à la nature lithologique du terrain traversé, au climat et à l'activité anthropique. Elle permet de comparer les eaux entre elles, d'établir une cartographie hydrochimique de certains éléments chimiques, d'interpréter les données d'analyses par des diagrammes.

Dans cette étude on a sélectionné 06 points répartis sur le barrage. Il s'agit d'une étude et interprétation des données des analyses physicochimiques des différents échantillons qui nous permis :

- De déterminer la teneur relative des ions majeurs et leur distribution spatiale ;
- De mettre en évidence les principaux faciès chimiques des eaux et leur relation avec l'environnement géologique ;
- D'avoir une idée générale sur la qualité chimique des eaux ;
- Et enfin de remonter à l'origine des différents paramètres et leur influence sur l'évolution chimique des eaux.

Le but de ce chapitre est d'apprécier les caractéristiques physico-chimiques des eaux du barrage de Babar. Définir le faciès chimique des eaux souterraines, suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps par la cartographie de leur composition chimique, comparer les eaux entre elles, définir leur degré de pollution et leur usage ultérieur constitue l'objectif que l'on doit atteindre pour apporter des réponses aux besoins exprimés par les pouvoirs publics afin d'asseoir les assises d'un développement durable.

IV.2. Carte d'inventaire des points d'eau

L'interprétation des résultats des analyses chimiques a été faite sur un ensemble d'échantillons, au nombre de six (06) points d'eau, sélectionnés et bien représentatifs. Ils sont répartis spatialement sur tout le barrage.

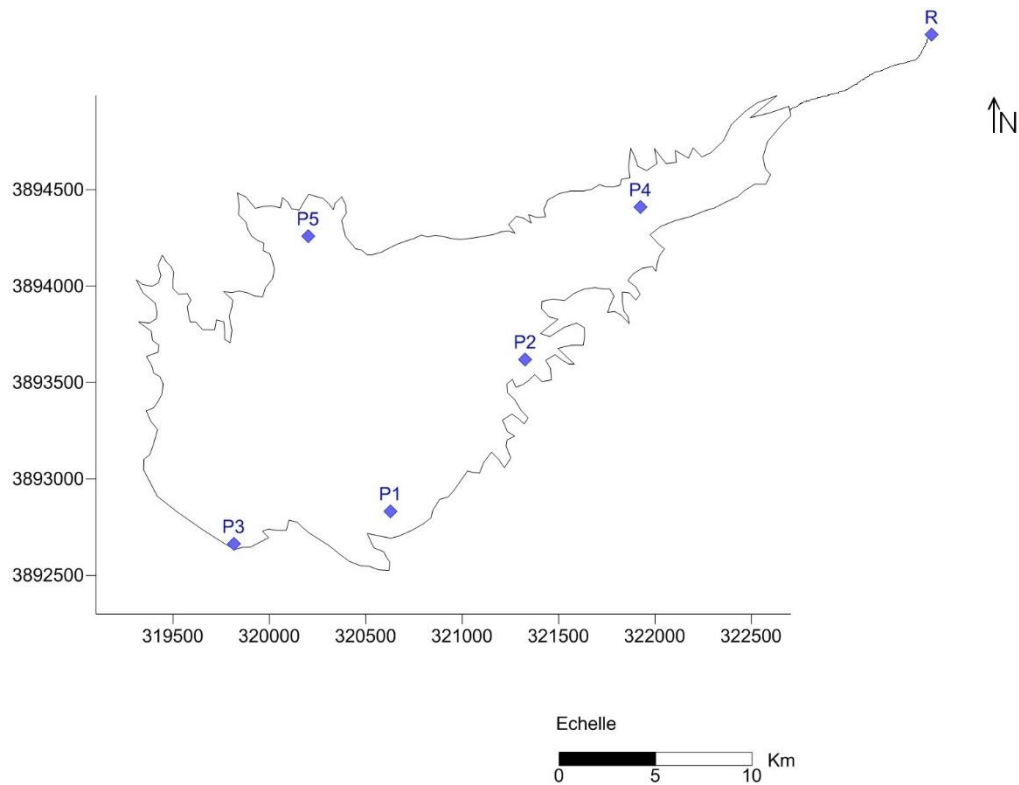


Figure 21 : Carte d'inventaire des points d'eau du barrage de Babar

IV.3. Etude des paramètres physico-chimiques

L'eau possède des propriétés physico-chimiques exceptionnelles qui lui permettent d'attaquer et de dissoudre le maximum de sels et de s'enrichir en anions et en cations.

La composition chimique des eaux est exprimée en milligramme par litre, il s'agit d'une moyenne des principaux composants : calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfate, chlorures, et nitrates.

Les paramètres physico-chimiques sont mesurés sur le terrain grâce à une sonde multi paramètres portatif (Consort, type C 933).

Afin d'interpréter les analyses physico-chimiques, une représentation statistique des données a été réalisée présentant les valeurs maximales, moyennes, minimales.

Les résultats de ces analyses sont récapitulés dans des tableaux, où les différentes concentrations sont reportées avec les normes de la potabilité de l'O.M.S.

IV.3 .1. Etude des paramètres physiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état qualitatif de l'eau (Jensen & Andersen, 1992).

IV.3.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)

L'eau renferme des ions H^+ libres (qui ne sont pas combinés pour donner des molécules de liquides), le taux de concentration en ions H^+ mesure le potentiel hydrogène (en abrégé pH) du milieu (Jean, 1974).

Il exprime l'activité des ions H^+ dans une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau.

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique.

-Pour un milieu neutre ($H^+ = OH^-$) ou $pH = 7$;

-Pour un milieu acide ($H^+ > OH^-$) ou $pH < 7$;

-Pour un milieu basique ($H^+ < OH^-$) ou $7 < pH < 14$.

Tableau 10 : Variation de potentiel d'hydrogène (pH)

Le paramètre	Max	Min	Moy	La norme (OMS)
PH	8.3	8.1	8.23	6.5 à 8.5

Le pH mesuré dans notre étude est en moyenne de 8,2. L'alcalinité des eaux est bien marquée sur tout le barrage.

IV.3.1.2. Conductivité (CE)

C'est la conductance électrique d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques séparées l'une de l'autre de 1 cm et ayant pour surface 1cm^2 . Elle dépend de la concentration totale et la nature des ions présents dans l'eau. Elle donne une indication, sur la minéralisation des eaux (Djamel Samir ,2009).

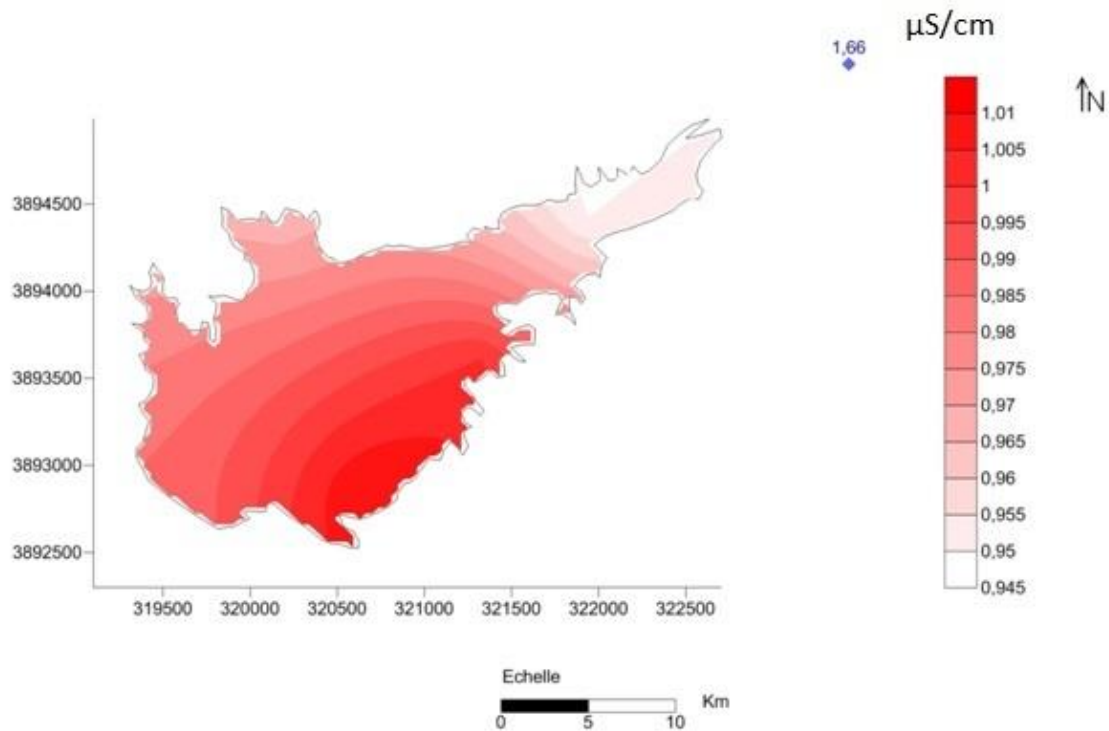


Figure 22 : Carte de la distribution spatiale de la conductivité électrique des eaux de barrage de Babar

A partir de la conductivité électrique on peut évaluer le degré de la salinité de l'eau, elle est aussi en fonction de la température ; elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Les résultats obtenus permettent de dire que la conductivité électrique au niveau du point de repère (les rejets liquides de la prison) est de 1660 $\mu S/cm$, puis elle chute progressivement pour atteindre une valeur de 1010 $\mu S/cm$ au niveau du barrage. Les résultats obtenus sont résumés au tableau 11.

Tableau 11 : Variation de la conductivité électrique

Le paramètre	Max ($\mu S/cm$)	Min ($\mu S/cm$)	Moy ($\mu S/cm$)	La norme (OMS)
CE à 25°C	1660	950	1090	400 à 1500($\mu S/cm$)

Dans notre étude on remarque que les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre (950-1010 $\mu S/cm$), pour les points (P1, P2, P3, P4 et P5) qui sont situées dans le barrage (Figure 21), les conductivités sont aux normes de l'OMS.

La forte minéralisation du point R (1660 $\mu S/cm$) est liée à la présence des rejets liquides de la prison de Babar.

IV.3.2. Etude des paramètres chimiques

Lors de son voyage souterrain, l'eau acquiert une composition chimique liée à la nature des terrains traversés, cette composition chimique dépend aussi, de la surface de contact, du temps de contact et de la vitesse de dissolution et de concentration des différents ions.

L'analyse des eaux montre les principaux éléments chimiques suivants :

IV.3.2.1. Les éléments majeurs

IV.3.2.1.1. Les cations

Il s'agit des ions de sodium, potassium, calcium et magnésium.

IV.3.2.1.1.1. Calcium (Ca²⁺)

La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles :

- Soit par la dissolution des formations carbonatées ;



- Soit par la dissolution des formations gypseuses.

Dans la région d'étude les teneurs en calcium varient de 92.19 mg/l au point (R) comme une valeur minimale à 122.83 mg/l comme une valeur maximale au puits P6. Nous remarquons qu'il existe une certaine homogénéité dans la distribution du calcium.

La majorité des points présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux (100mg/l), ce qui donne une grande dureté aux eaux du barrage.

Cette forte teneur en calcium est liée à la présence des croutes de calcaire dans cette zone.

Tableau 12 : Variation des concentrations du calcium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
Ca ⁺⁺	122.83	92.19	112.99	100 (mg/l)

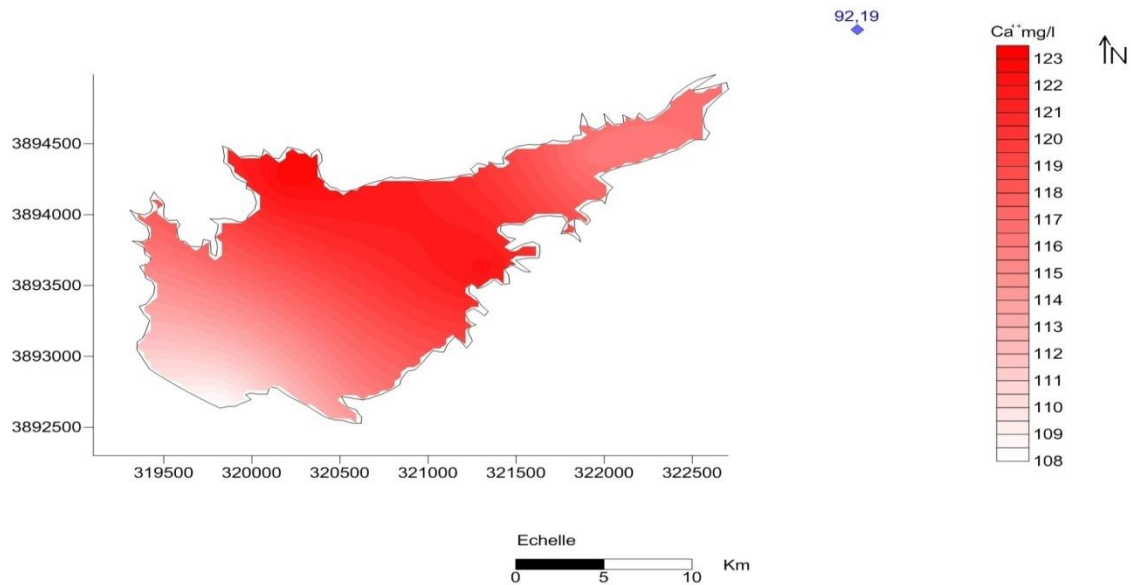


Figure 23 : Carte de la distribution spatiale de Ca^{++} en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

IV.3.2.1.1.2. Magnésium (Mg^{2+})

Ses origines sont semblables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneur en Mg^{2+} (magnésite et la dolomie), et des formations salifères riches en magnésium (MgSO_4).

- Magnesite : $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$;
- Dolomite : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$.

La teneur la plus élevée est observée au point R (les rejets liquides de la prison), Par contre, les faibles teneurs sont observées au niveau du barrage.

La comparaison des concentrations avec la norme approuvée de la potabilité montre que tous les points du barrage ne dépassent pas les normes de l'OMS (50mg/l).

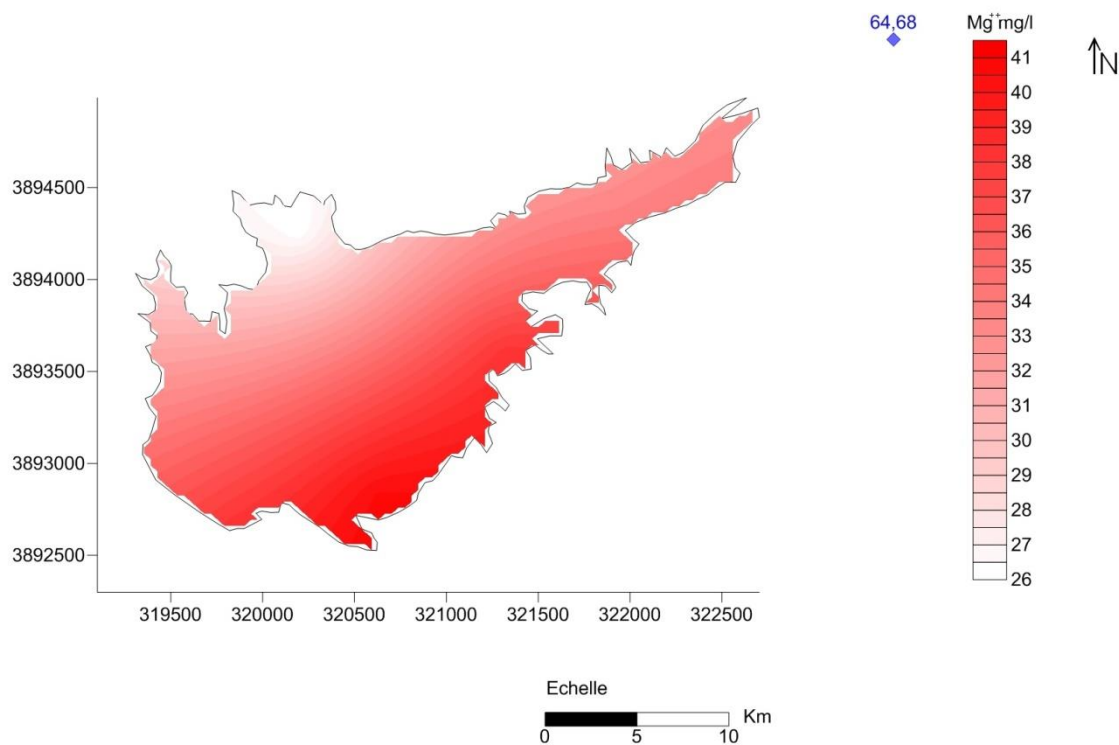


Figure 24 : Carte de la distribution spatiale de Mg⁺⁺ en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

Tableau 13 : Variation des concentrations du Mg⁺⁺

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
Mg ⁺⁺	64.68	26.16	40.18	50 (mg/l)

IV.3.2.1.1.3. Sodium (Na⁺)

Les teneurs maximales du sodium varient entre 195.8 mg/l au niveau de point R et 110.86 mg/l dans le point P5, par contre la concentration la plus faible (71.3mg/l) est enregistrée au niveau de l’aval du barrage de Babar.

Tableau 14 : Variation des concentrations du Na⁺

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
Na	195.8	71.3	105.23	100 (mg/l)

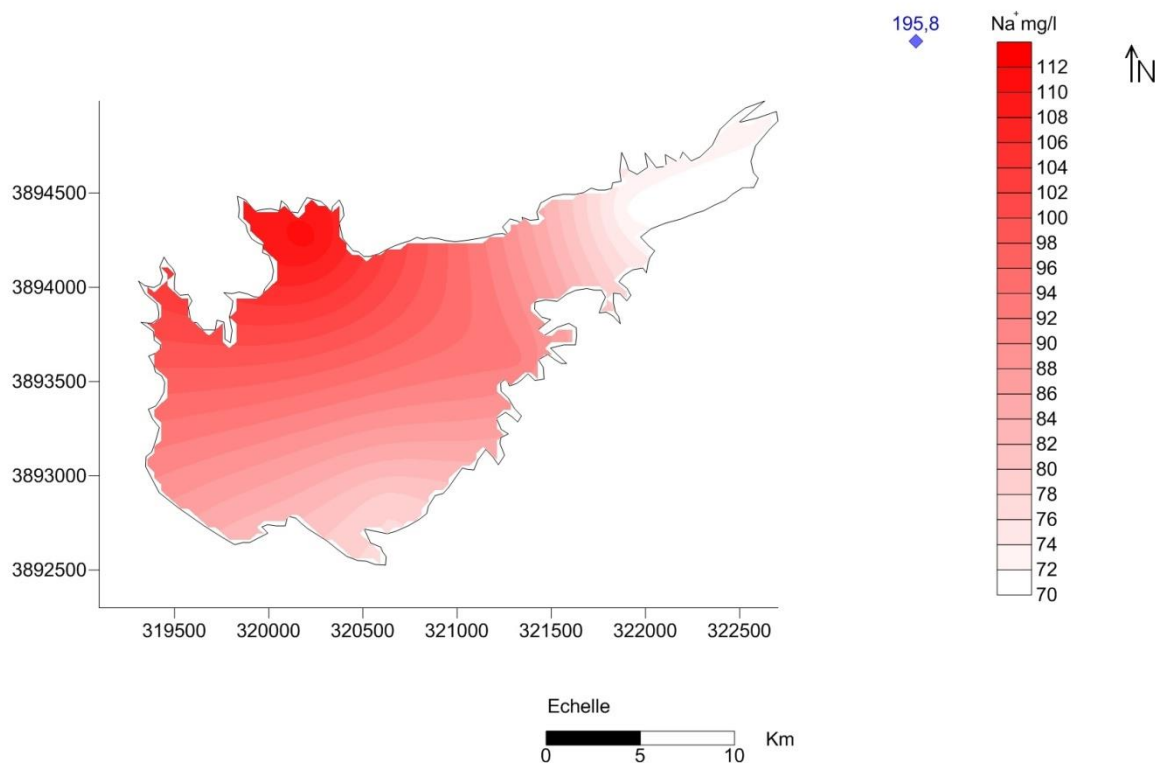


Figure 25 : Carte de la distribution spatiale de Na⁺ en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

Selon le tableau 14 et la figure 24 on remarque que la concentration de Na⁺ au Nord-Ouest du barrage dépasse les normes de l’OMS, cette concentration élevée est probablement à l’origine de l’agriculture au voisinage du barrage, par contre les autres points sont caractérisés par des teneurs aux normes de l’OMS.

IV.3.2.1.1.4. Potassium (K⁺)

Le potassium résulte de l’altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs.

La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans le barrage.

La teneur minimale du potassium est enregistrée au point P4 avec 0.512 mg/l et la teneur maximale est observée au point R avec 1.145 mg/l.

Tableau 15 : Variation des concentrations du K⁺

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
K ⁺	1.145	0.512	0.80	12 (mg/l)

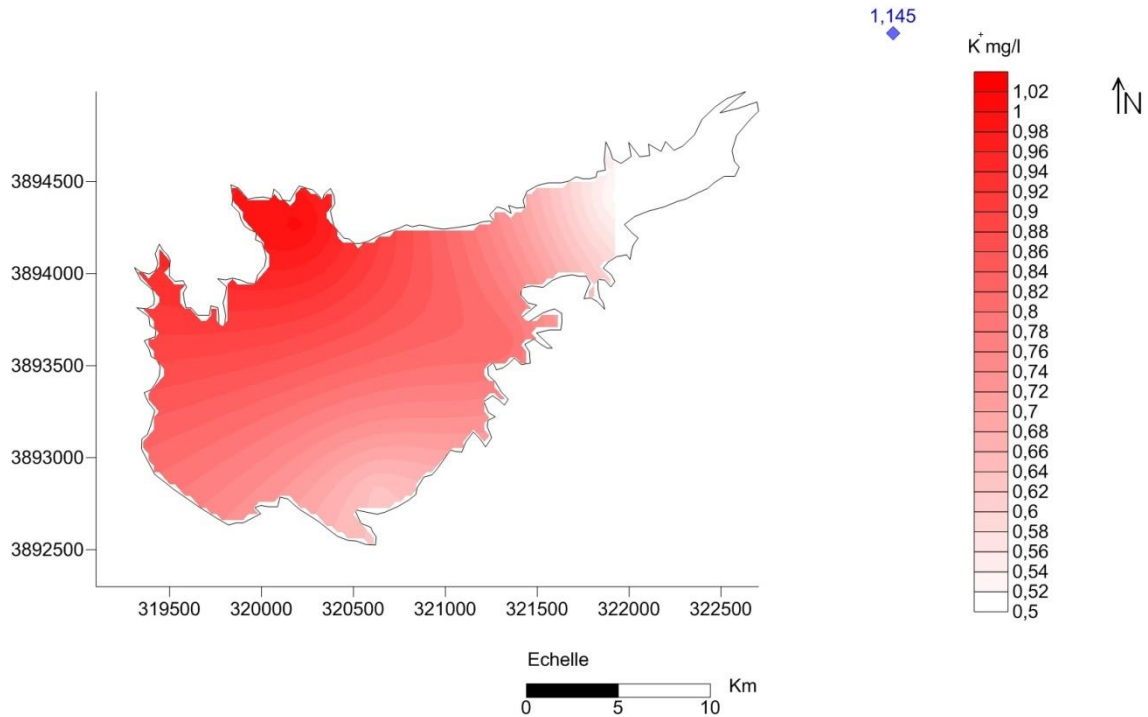


Figure 26 : Carte de la distribution spatiale de K^+ en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

Tous les points du barrage présentent des teneurs inférieures à la norme de potabilité des eaux de l'OMS (12 mg/l).

IV.3.2.1.2. Les Anions

Les anions les plus importants dans les eaux étudiées sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates.

IV.3.2.1.2.1. Chlorure (Cl^-)

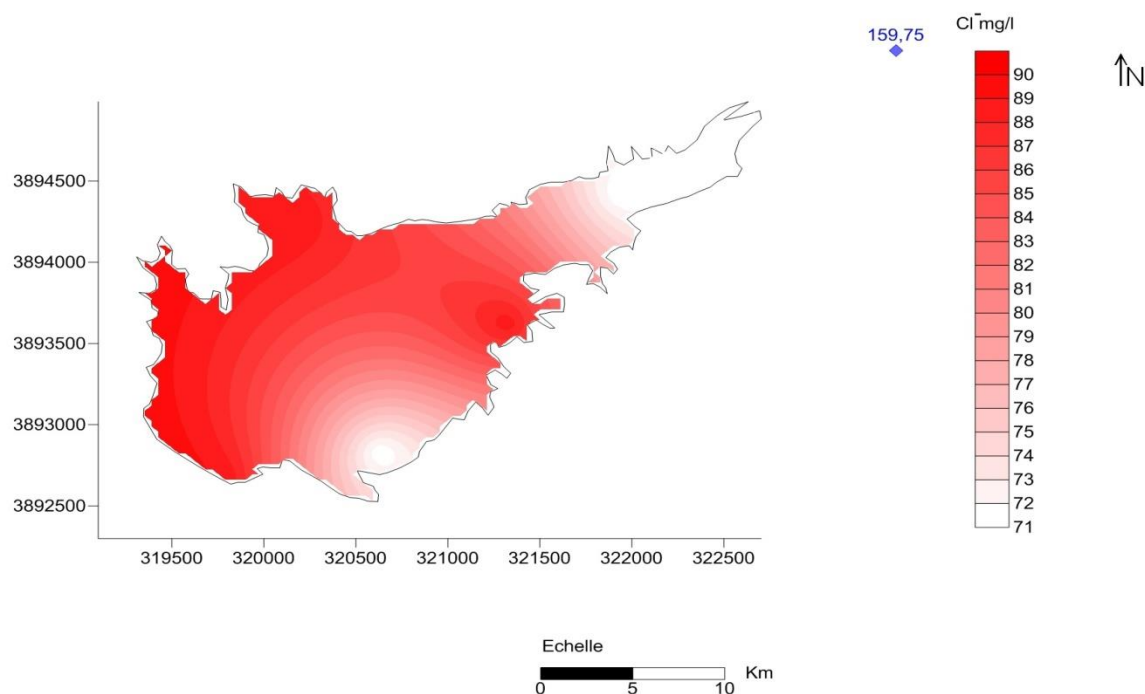
Le chlorure est un élément conservatif car la précipitation de $NaCl$ se faisant en conditions extrêmes, donc il constitue un excellent traceur de la salinité et de la pollution anthropique.

La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation qui est due à la dissolution des sels naturels, de l'industrie ou des rejets d'eau usée d'origine domestique en particulier l'urine qui est responsable d'un rapport d'environ 60 mg/l d'ion Cl^- /personne/ jour (Chedde, 2009).

Les teneurs enregistrées, montrent que tous les valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité de l'OMS (250 mg/l).

Tableau 16 : Variation des concentrations du Cl⁻

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
Cl ⁻	159.75	71	94.66	250 (mg/l)

**Figure 27 : Carte de la distribution spatiale de Cl⁻ en (mg/l) des eaux de barrage de Babar****IV.3.2.1.2.2. Sulfates (SO₄²⁻)**

Ils sont présents dans les eaux naturelles à des teneurs très variables et ils peuvent provenir de la dissolution du gypse. Ce dernier peut être triasique, comme il peut être associé à des formations plus récentes comme les argiles du Mio-Plio-Quaternaire. Ils dépendent aussi des rejets industriels. (Mezhoud. 2012).

Les résultats des analyses chimiques, donnent des valeurs qui varient de 360 mg/l à 400 mg/l au niveau du barrage, et une valeur de 190 mg/l au point R.

Tableau 17 : Variation des concentrations du SO₄²⁻

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
SO ₄ ²⁻	400	190	345	250 (mg/l)

Pour notre région d'étude, les origines de cet élément sont liées aux formations géologiques comme les argiles, les marnes et le gypse.

Les teneurs enregistrées, montrent que tous les teneurs dépassent la norme de potabilité de l’OMS (250 mg/l).

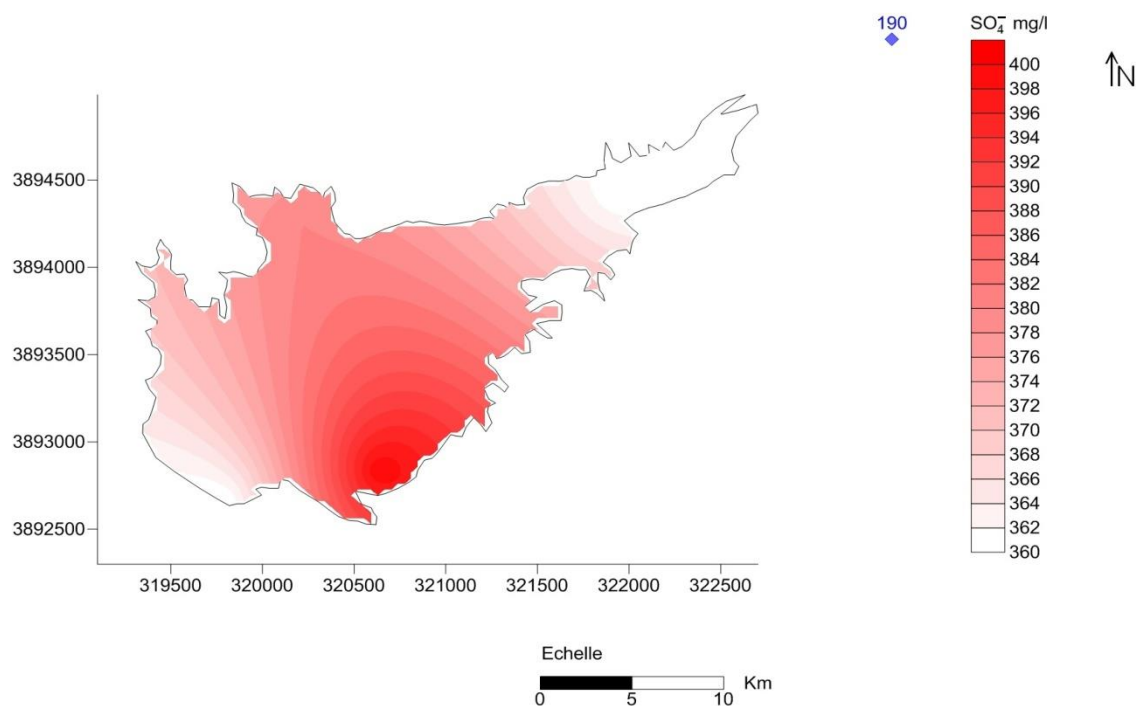


Figure 28 : Carte de la distribution spatiale de SO_4^{2-} en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

IV.3.2.1.2.3. Bicarbonates (HCO_3^-)

Les bicarbonates se trouvent dans les eaux naturelles, leur présence dans l’eau est dû à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. Les concentrations enregistrées au cours des prélèvements sont présentées sur le tableau 18.

Tableau 18 : Variation des concentrations du HCO_3^-

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
HCO_3^-	890	134.2	263.31	250 (mg/l)

Selon le tableau 18 et la Figure 28 la concentration maximale est enregistrée au niveau du point R, qui représente les rejets liquides de la prison de Babar avec une forte teneur de 890.6 mg/l. Par contre tous les valeurs des points de prélèvement au niveau du barrage ne dépassent pas les normes de l’OMS (250 mg/l).

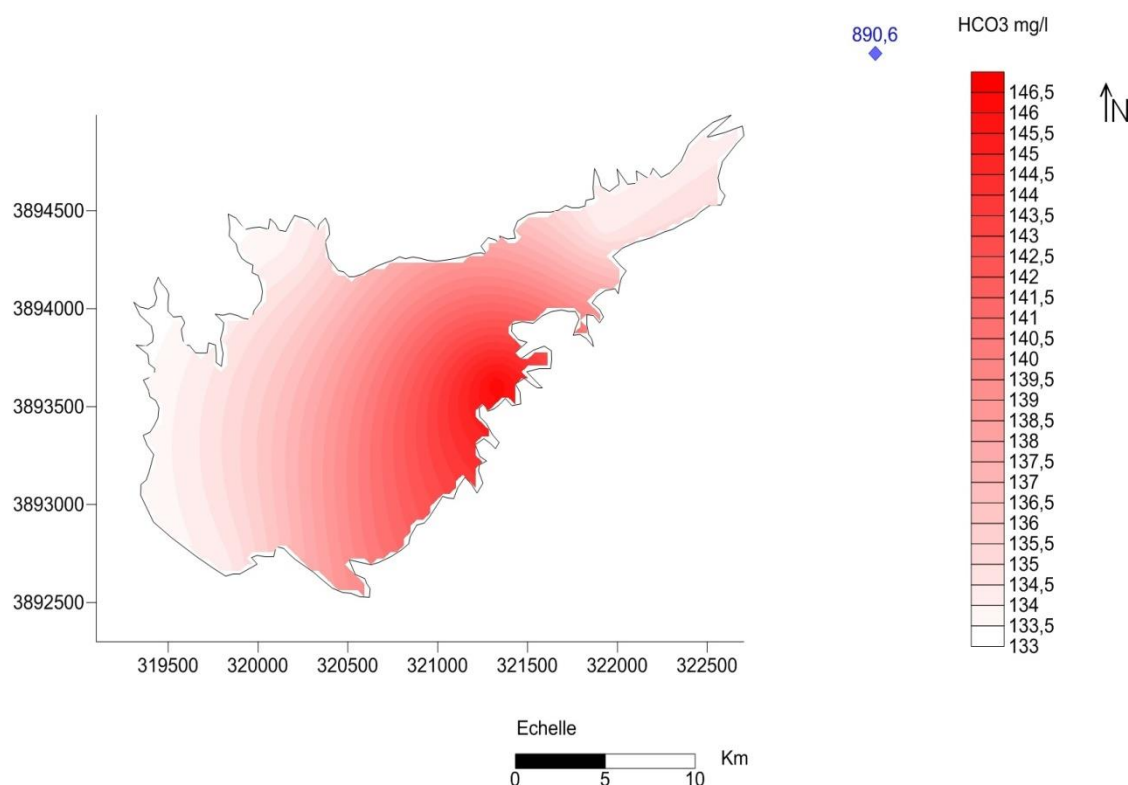


Figure 29 : Carte de la distribution spatiale de HCO_3^- en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

IV.4. Les éléments indicateurs de la pollution urbaine

L'analyse la plus fréquente des éléments indicateurs de la pollution urbaine comprend les mesures de la DBO_5 , la DCO et les éléments nutritifs.

IV.4.1. La demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO_5)

La DBO_5 représente la charge polluante organique biodégradable. Elle donne donc une indication importante pour juger de la qualité de l'eau et son degré de pollution. C'est un teste reconnu trop peu préciser pour qualifier les eaux naturelles mais très utilisé pour surveiller l'efficacité des stations d'épuration. (Ouali, 2001).

Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie.

Tableau 19 : Variation des concentrations de la DBO_5

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
DBO_5	50	20	32.5	5 (mg/l)

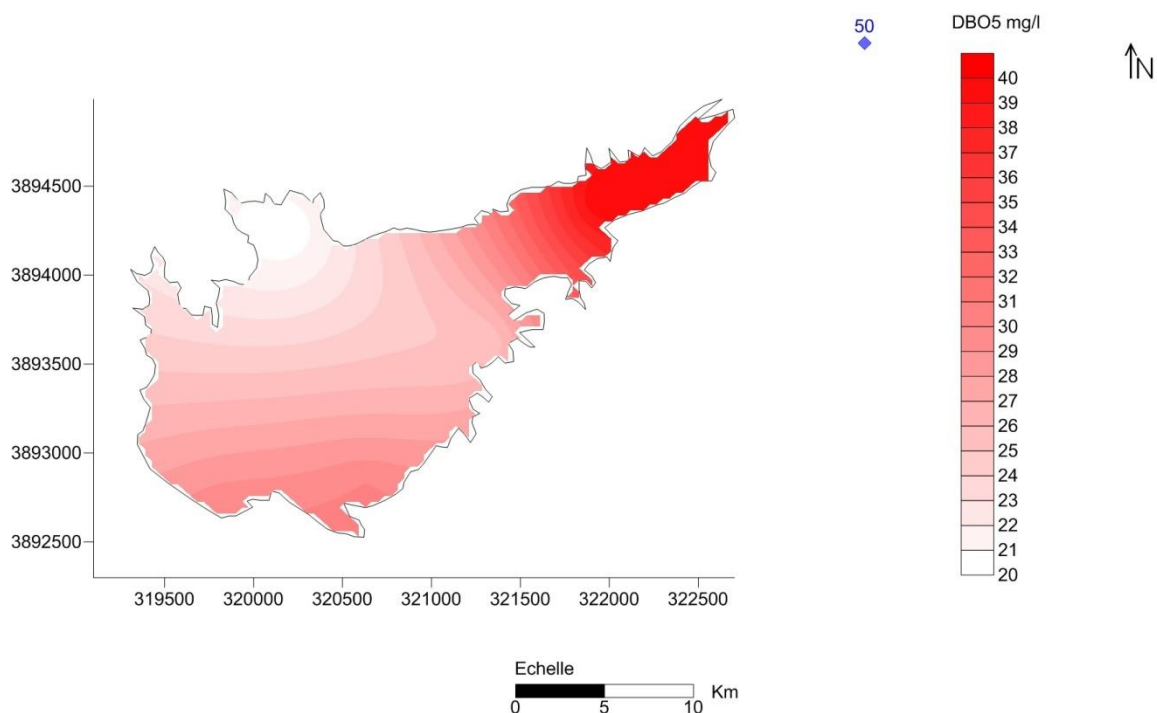


Figure 30 : Carte de la distribution spatiale de la DBO₅ en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

Toutes les valeurs de la DBO₅ sont supérieures à la norme de potabilité de l’OMS (5 mg/l). On peut déduire que les eaux des rejets liquides sont riches en matière organique.

IV.4.2. La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène traduit par la quantité d’oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenant dans l’effluent.

Tableau 20 : Variation des concentrations de la DCO

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
DCO	99	40	64	30 (mg/l)

Les teneurs enregistrées, montrent que toutes les valeurs dépassent les normes de l’OMS (30 mg/l).

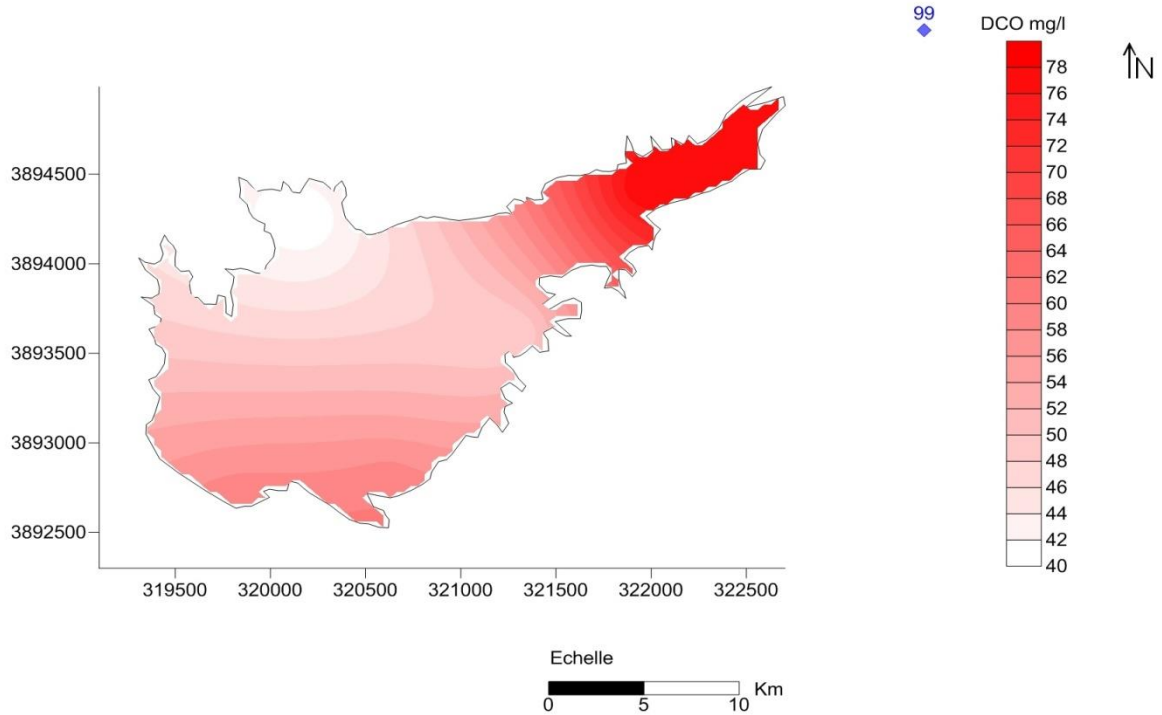


Figure 31 : Carte de la distribution spatiale de la DCO en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

IV.4.3. Les éléments nutritifs

IV.4.3.1. Nitrate (NO₃⁻)

Le NO₃⁻ est la principale forme chimique azotée susceptible de quitter le sol via les eaux de percolation, et d’être présente dans les milieux souterrains. Il est beaucoup plus mobile dans les sols que d’autres éléments apportés par les engrais tels que le potassium et le phosphate (Noemi, 2002). Il représente la forme la plus oxygénée de l’azote, c’est une forme très soluble.

Les nitrates sont des indicateurs de la pollution.

Selon notre étude les teneurs en nitrate varient entre 45 mg/l et 72 mg/l au niveau du barrage. La teneur la plus forte est enregistré au point R (88 mg/l).

Tableau 21 : Variation des concentrations du NO₃⁻

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	La norme (OMS)
NO ₃ ⁻	88	45	65	50 (mg/l)

Dans notre étude la majorité des teneurs (66.67%), dépassent les normes de l’OMS.

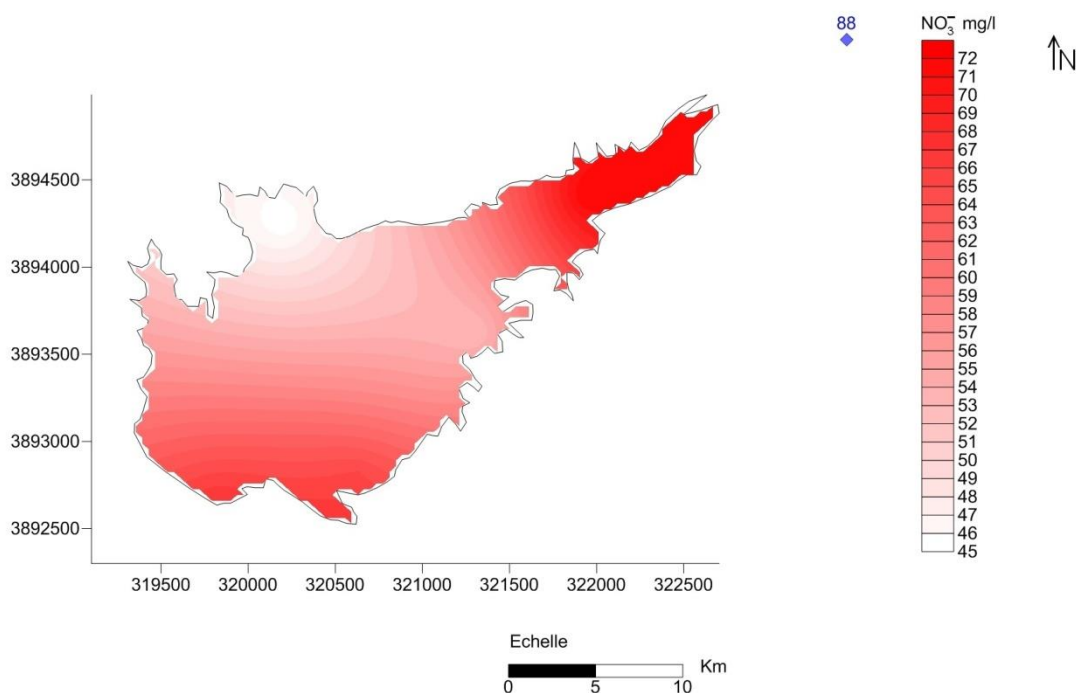


Figure 32 : Carte de la distribution spatiale de NO_3^- en (mg/l) des eaux de barrage de Babar

Selon la carte de distribution spatiale de NO_3^- (figure 31), on remarque que les fortes concentrations sont localisées au Nord-Est et le sud du barrage, et la faible concentration est observée au Nord du barrage.

On peut dire que l'origine des nitrates dans les eaux de barrage de Babar est essentiellement externe (apport anthropique).

IV.5. Détermination des principaux faciès hydro-chimiques

Les faciès hydro chimiques, d'après Jaekli (1970), sont fréquemment utilisés en chimie des eaux pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles, comparer les eaux entre elle, revient à établir la classification ionique par le calcul des quantités en réaction, exprimées en pourcentage, d'abord des anions ensuite des cations.

De nos jours, différents logiciels interviennent dans la représentation graphique des résultats des analyses chimiques. Le logiciel diagramme, établi par son concepteur Roland Simler du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon (LHA) en est un. Il est utilisé pour définir les faciès chimiques par représentation des données sur les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff.

IV.5.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques

Pour caractériser le faciès chimique des eaux, une représentation graphique des points d'eau sur des digrammes, tels que ceux de Piper et Schoeller-Berkaloff, permet de donner des informations sur la qualité chimique des eaux.

IV.5.1.1. Diagramme de Piper

Ce type de diagramme permet de représenter, simultanément plusieurs échantillons d'eau. Il est composé d'un losange au centre encadré par deux triangles équilatéraux, permettant de représenter, séparément, les cations et les anions.

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès de l'eau. Il permet également de voir l'évolution chimique d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses, espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents. Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses.

La représentation graphique des points d'eaux du barrage de Babar sur le diagramme de Piper montre que le faciès chimique des points ; P1, P2, P3, P4, P5, est chloruré et sulfaté calcique et magnésienne, seulement le point R (rejets liquides de la prison de Babar) à un faciès bicarbonaté sodique et potassique.

Tableau 22 : Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF

Les points	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
01	$SO_4^{--} > HCO_3^- > Cl^- > NO_3^-$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate Calcique
02	$SO_4^{--} > HCO_3^- > Cl^- > NO_3^-$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate Calcique
03	$SO_4^{--} > HCO_3^- > Cl^- > NO_3^-$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate Calcique
04	$SO_4^{--} > HCO_3^- > Cl^- > NO_3^-$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate Calcique
05	$SO_4^{--} > HCO_3^- > Cl^- > NO_3^-$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$	Sulfate Calcique
R	$HCO_3^- > SO_4^{--} > Cl^- > NO_3^-$	$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	Bicarbonaté sodique et potassique

Selon le diagramme SCHOELLER BAKALOFF, on peut dire que tous les points situés dans le barrage de Babar (P1, P2, P3, P4, P5) ont la même origine et sont marquées par les sulfates qui s’accompagnent de calcium, ceci est en liaison directe avec la présence des marnes gypseuses et des formations carbonatées notamment les calcaires et les dolomies de l’Albien.

D’un autre coté on remarque que les eaux du point R (rejets liquides), a un changement brusque pour ces faciès et surtout pour HCO_3^- , Cl^- , Mg^{++} , et $(Na^+ + K^+)$ qui sont changé d’une manière brusque.

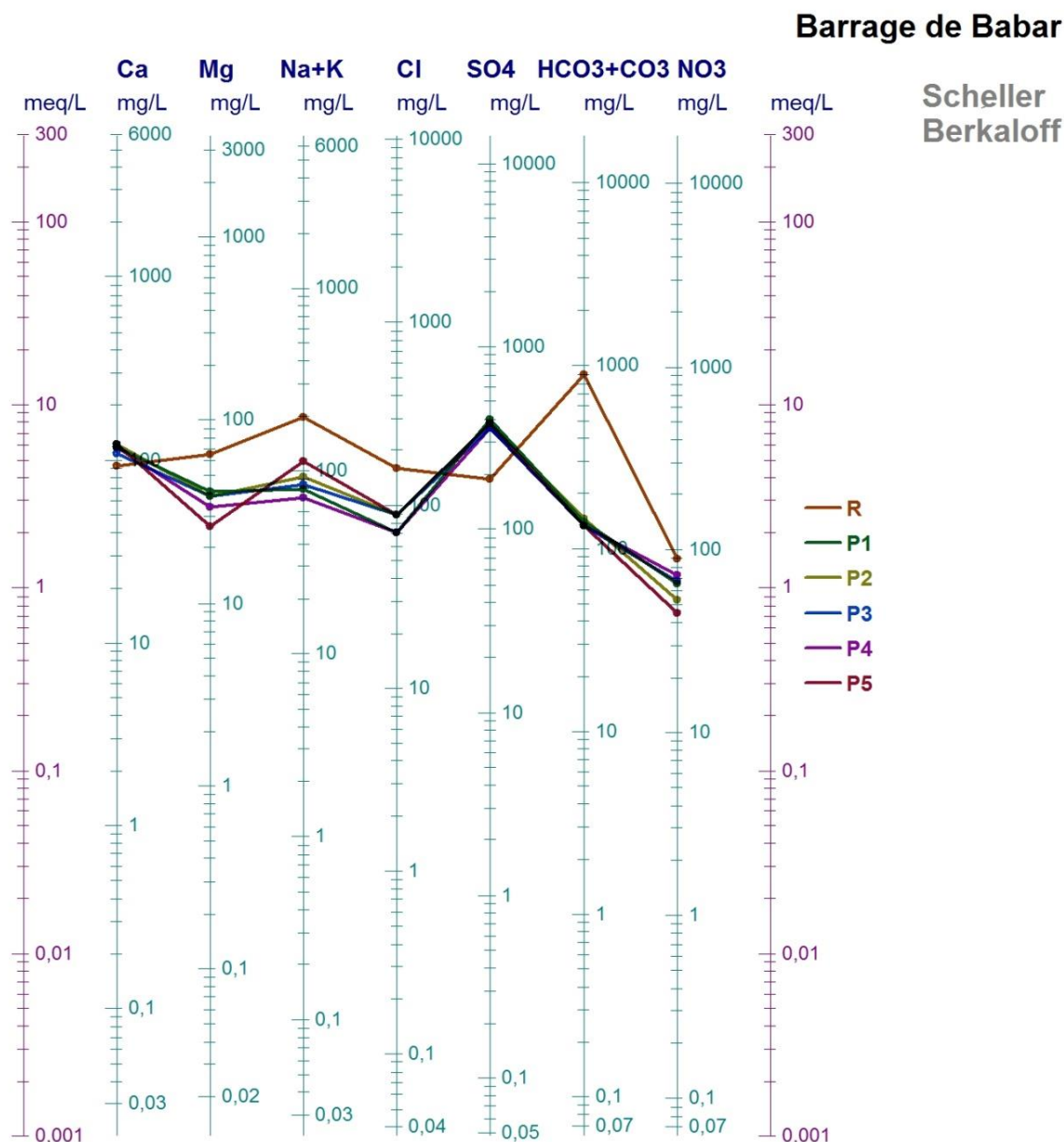


Figure 34 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF des analyses des eaux de surface du barrage de Babar

IV.6. Aptitude des eaux de surface du barrage de Babar à l’irrigation

La rareté des précipitations et la forte évaporation, on contraint les agriculteurs à utiliser les eaux du barrage dans l’irrigation des terres agricoles. C’est Pour cette raison que la qualité de l’eau utilisée dans l’agriculture doit présenter les meilleurs paramètres physicochimiques.

Nous allons essayer d’évaluer leur aptitude à l’irrigation, par deux méthodes :

- La Salinité CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- La Classification de Riverside

IV.6.1. Salinité

Les sels dissous arrivent donc à la zone racinaire des plantes sur lesquelles l'action est directe soit sur l'évolution de la plante soit sur la production. La connaissance des concentrations de ces sels est importante pour la détermination des effets sur la récolte et sur les sols car la présence des sels dessous en forte concentration influe sur la qualité de l'eau qui engendre principalement des problèmes de salinité et de toxicité. Selon la conductivité électrique, l'eau peut être classée en trois catégories. Tableau 22

Tableau 23 : Qualité de l'eau pour l'irrigation selon la conductivité électrique

Restriction pour la salinité	Salinité CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Pourcentage des échantillons
Aucune	700 \rangle	/
Légère à modéré	700-3000	100%
Forte	\rangle 3000	/

On remarque que pour le barrage l'eau stockée dans la cuvette présente une restriction légère à modérée pour l'irrigation.

IV.6.2. Classification de Riverside

Dans le but de mettre en relief l'effet de la lithologie sur l'aptitude des eaux à l'irrigation, nous avons cartographié la qualité des eaux à l'irrigation.

On définit différentes classes d'eau en fonction de leur SAR (S1 à S4).

Le diagramme de Riverside est construit en croisant le SAR (Sodium Absorption Ratio) calculé et la conductivité mesurée.

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards, selon la conductivité électrique et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence d'une seule classe suivante : (figure 34)

- La classe C3S1 : Généralement, cette classe renferme des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée.

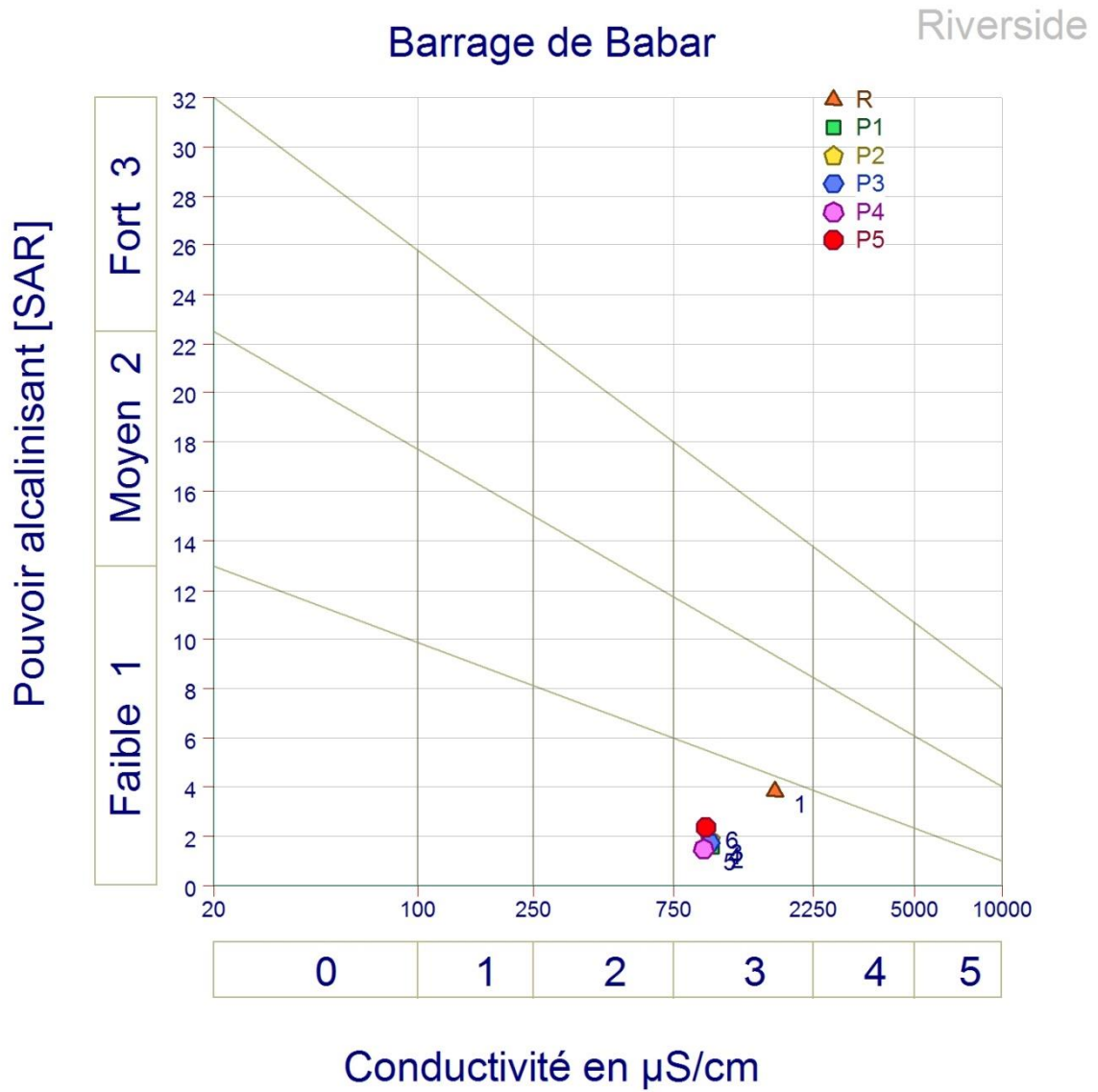


Figure 35 : Représentation des échenillions sur le diagramme de Riverside.

IV.7. Conclusion

Les résultats des analyses physicochimiques montrent que :

-Les terrains géologiques et la pluviométrie ont une influence sur les concentrations des éléments chimiques.

-Les diagrammes de PIPER, et SCHOELLER-BERKALOFF ont montré que les sulfates dominant et s'accompagnent de calcium.

Selon les analyses chimiques on a remarqué que les fortes concentrations de sulfate sont liées aux marne-gypseuses.

- Les eaux de la région étudiée ont des teneurs supérieures aux normes maximales admissibles (selon L'OMS) pour NO_3^- , Ca^{++} et Mg^{++} , SO_4^{--} , par contre les teneurs de Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , inférieures aux normes.

- Les eaux de barrage de Babar sont admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'étude géomorphologique de la région, le bassin versant d'Oued El Arab à une superficie de 567 km² et une forme carrée. Le temps de concentration est estimé à 12,6 heures avec une vitesse de concentration de 4,04m/s. La densité de drainage (Dd=4.8km/km²) caractérise un réseau hydrographique bien développé.

L'étude géologique montre que les formations prédominantes sont d'âge Quaternaire avec une épaisseur assez limitée. Ceci nous permet de dire que la zone d'étude à une perméabilité moyenne mais l'action de l'érosion reste importante sur la majorité de la surface du bassin surtout sur la zone à forte pente et dépourvue de végétation.

Le climat de la région étudiée est semi-aride. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 474.38 mm pour une température moyenne annuelle de 15.62 °C. L'évolution annuelle de ces deux paramètres permet de distinguer une période chaude et sèche et une période froide et humide. L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 470.9 mm. Le déficit agricole est de l'ordre de 380.1 mm.

L'interprétation des différents diagrammes à montrer que dans la région étudiée, les sulfates dominant et s'accompagnent de calcium. L'évolution des éléments chimiques en fonction de temps fait ressortir que de fortes concentrations de sulfate et de calcium sont liées aux formations évaporitiques ou salifères comme le gypse. Les eaux de la région étudiée ont des teneurs supérieures aux normes maximales admissibles pour NO₃⁻, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺, SO₄⁻, par contre les teneurs de Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, inférieures aux normes.

Les eaux de barrage de Babar sont admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Gaagai, (2009) : Etude hydrologique et hydrochimiques du bassin versant du barrage de Babar sur oued El Arab région Est de l'Algérie. Mémoire Magister, départ d'hydraulique .univ-Batna.108 page.

Hébert et Légaré, 2000 : Hébert, S, et S. Légaré (2000). Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau. Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, no ENV 2001 0141, rapport no QE 123, 24 p. et 3 annexes.

Harrat. N (2007) : Qualité des eaux de surface de l'Est Algérien et leur réactivité vis-à-vis du chlore. Mémoire de magistère, université Annaba ; 96 pages.

Lvovitch. M.I (1970) : Les ressources en eau du globe terrestre et leur avenir, Bulletin de l'association internationale d'hydrologie scientifique, XV, 4, pp 23-28.

MEKAOUSSLI.H 2003: Etude hydrochimique du bassin versant du barrage du Fontaine desGazelle . Mémoire de magister, départ d'hydraulique-univ.Batna, 120 pages.

Rodier J. (1996) : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^eédition Dunod, Paris.

Richard L. (2000) : Sur l'origine des ions des chlorures dans les eaux salines des massifs

Schoeller .H (1962) : Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie. Editions, 642 pages.

Schoeller. H (1962) : Les eaux souterraines. Masson, Paris, 642 pages.

Tardat-Henry. M (1984) : Chimies des eaux. Editions le griffon d'argile inc. 338p.

Todd. D .K (1980) : Groundwater hydrology .J Wiley et Sons edition; New York; 510 pages

RESUME

Le bassin d'Oued El Arab s'étend sur une superficie de 567 km² environ qui fait partie du grand bassin versant de Chott Melghir. L'étude hydroclimatique montre que La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, ce qui traduit des conditions d'alimentation et d'écoulement très défavorable notamment une forte évaporation. L'étude hydrochimique du bassin versant d'oued El Arab nous a permis d'avoir un aperçu sur l'état qualitatif en eau de la région. L'évolution des éléments chimiques fait ressortir que des fortes concentrations de sulfate, calcium d'ou le faciès chimique sulfaté calcique est lié au formations évaporitiques ou salifères comme le gypse.

Les eaux de surface de la zone d'étude sont admissibles pour l'irrigation

Mots clés

Bassin versant, Oued El Arab, eau de surface, faciès chimique.

ABSTRACT

El Arab river basin covers an area of 567 km² which is part of the great watershed Chott Melghir. The study shows that hydro climatic for the study area is characterized by a semi-arid climate, reflecting supply conditions and very unfavorable flow particularly high evaporation. The hydrochemical study of the watershed of Oued El Arab has allowed us to have an overview of the quality status of water in the region. The evolution of the chemical elements shows that high concentrations of sulphate, calcium or chemical facies sulfated calcium is related sulfated evaporitiques or salt formations such as gypsum.

Surface waters in the study area are acceptable for irrigation.

Keywords: Watershed, Oued El Arab, surface water, chemical facies.

ملخص:

يمتد حوض واد العرب على مساحة تقارب 576 كم² , والذي بدوره ينتمي للحوض الاكبر شط ملغيغ. الدراسة الهيدر ومناخية تؤكد لنا أن هذه المنطقة تتميز بمناخ شبه جاف والذي يظهر من ضعف شروط التغذية ومعامل السيلا ن خاصة التبخر العالي. أما الدراسة الهيدرولوجية والهيدروكيميائية لحوض وادي العرب بسد بآبار فقد سمحت لنا بإلقاء نظرة على الحالة الكمية والنوعية للمخزون المائي لهذه الناحية. وفيما يخص تطور العناصر الكيميائية فنلاحظ أن التركيز العالي للسيلفات والكالسيوم مرتبط بالمكونات البخارية مثل الجبس. وأما المياه السطحية لهذه المنطقة فهي قابلة للسقي الفلاحي.

الكلمات المفتاحية:

حوض التصريف، وادي العرب، السد، المياه السطحية.