

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :.....

Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de sciences et Technique

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
LICENCE ACADEMIQUE
en Hydraulique
Spécialité : Sciences Hydrauliques**

Thème :
**Contribution à l'étude de la qualité des eaux du surface
dans le bassin versant de Béni Haroun (W Mila) .**

Préparé par :

**Khellafe Soufyane
Beriber Azzeddine
Bouzoubia Amina
Boutebcha Messaouda**

Dirigé par :

Mr. Kemoukh Sami

Année universitaire :2013/2014

REMERCIEMENTS

A la fin de ce travail, nous ne manquons d'adresser mes sincères remerciements à Notre dieu le grand créateur qui nous guidé dans notre pats pour arriver à ce Niveau.

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos sincères remerciements et nos profondes Reconnaissances à :

*(**Kemoukh Sami**), notre encadrant de mémoire de fin d'étude, pour ses précieux Conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.*

A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter Tous les obstacles.

Nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de Ce modeste travail.

*Nous remercions vivement tout l'ensemble des personnels du département
De siensc et technique(ST).*

SOMMAIRE

	Page
Introduction générale	02
Chapitre I : Cadre géologique	
I .1. Géologie Régionale.....	05
I .1.1. Le domaine interne	06
I .1.1.1 Le Socle kabyle	06
I .1.1.2. La couverture sédimentaire du socle kabyle	06
I .1.1.2.1. La dorsale kabyle ou chaîne calcaire	06
I .1.1.2.2. Les formations de l’Oligo-Miocène Kabyle (OMK).....	07
I .1.1.2.3/ Les Ollistostromes	07
I .1.2. Le domaine externe	07
I .1.2.1. Les séries de type flyschs	08
I .1.2.2. Les séries telliennes	09
I .1.2.3. Les formations de l’avant pays	09
I .1.2.4. Les formations Post-nappes	09
I .1.3. Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie	10
I .2. Géologie locale	12
I .2.1. Présentation géologique du bassin néogène de Mila	12
I .2.1.1. Synthèse lithostratigraphique du bassin de Mila	12
I .2.1.2. Les formations triasiques	12
I .2.1.3. Les formations du jurassique	12
I .2.1.4. Les formations du Crétacé inf et sup	13
I .2.1.5. Les formations du Paléogène	15
I .2.1.6. Les dépôts Néogènes	15

II.2 .1.2. précipitations moyennes mensuelles	30
II.2 .1.3. La pluviométrie moyenne saisonnière.....	30
II.2 .2. Etude température	31
II.2 .2.1. Calcule la températures moyennes mensuelles	32
II.2 .2.2. La variation de la température mensuelle en fonction du mois (T MAX ,T MIN , T Mensuelle)	34
II.2 .2. 3. la rolation précipitation et température.....	35
II.2 .3. Graphe ombro-thermique	35
II.2 .4. L'indice de DEMARTONNE (aridité)	36
II.2 .4.1. Pour la région de Beni Haroun	36
II.2 .4.1.2. La région de HamalaGrarem	37
II.2 .5. Appréciation du bilan hydrologique	37
II.2 .5.1. Station béni Haroun	37
II.2 .5.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	37
II.2 .5.1.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)	38
II.2 .5. 1.3. Calcul du bilan hydrologique pour la période :1984- 2012, Station de Beni Haroun Tableau.(II-13)	39
II.2 .5.2. Station de Hamala Grarem	41
II.2 .5.2.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	41
II.2 .5.2.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR)	41
II.2 .5.2.3. Calcul du bilan hydrologique pour la période :1984- 2012 Station de (Hamala Grarem)Tableau.(II-15)	42
II.2 .5.3. Interprétation du bilan hydrologique	44

Chapitre III : Hydro chimie

III.1. Matériel ET Méthodes	47
-----------------------------------	----

III.2. Choix et Localisation Des Stations De Prélèvement	49
III.3. Analyse des éléments majeurs	51
III.4. Etude des paramètres Physico-chimiques	53
III.4.1. La Température	53
III.4.2. Potentiel d'Hydrogène (pH)	53
III.4.3. La Conductivité Électrique	54
III.5. Les éléments chimiques	56
III.5.1. Les éléments majeurs	56
III.5. 1.1. Les cations	56
III.5. 1.1.1. Le calcium (Ca^{++})	56
III.5.1.1.2. Le magnésium (Mg^{++})	57
III.5. 1.1.3. Le sodium (Na^+)	58
III.5. 1.1.4. Le potassium (K^+)	59
III.5. 1.2. Les anions	59
III.5. 1.2.1. Les chlorures (Cl^-)	59
III.5. 1.2.2. Les sulfates (SO_4^{--})	60
III.5. 1.2.3. Les bicarbonates (HCO_3^-)	61
III.5.1.2.4. Les nitrates (NO_3^-).....	62
III.6. Aptitude des eaux à l'irrigation	63
III.7. Risque de sodicité et de salinité : Diagramme du SAR.....	63
III.8. Influence de la sodicité et de la salinité de l'eau sur la perméabilité du sol	64
III.8.1. Classification de Wilcox	64
III.9. Faciès chimique	66
III.9.1. Classification des eaux.....	66
III.9.1.1. Classification de Piper.....	66
Conclusion générale	70

LISTE DES TABLEAUX

Page

CHAPITRE II :

Tableau.N°(II-1) : Les sous bassins du grand bassin Versant du Kébir Rhumel (LNRH).....	23
Tableau N°.(II-2) : Caractéristiques morphométriques dusous bassin de Kébir- Maritime.....	25
Tableau.N°(II-3) : précipitation moyennes mensuelles en °C durant la période : 1984 2012 (Station de Béni Haroun).....	28
Tableau.N°(II-4) : précipitation moyennes annuelles station béni Haroun.....	29
Tableau.N°(II-5) : précipitations moyennes mensuelles.....	30
Tableau.N°(II-6) précipitation saisonnière (station béni Haroun).....	30
TableauN°.(II-7): Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 1984 – 2012 (Station de Béni Haroun).....	33
Tableau.N°(II-8) : variation de la température mensuelle en fonction du mois (station béni Haroun).....	34
Tableau.N°(II-9) : Graphe ombro-thermique en fonction du mois (station béni Haroun).....	35
Tableau.N°(II-10) : tableau de climat a mois (station béni Haroun).....	36
Tableau.N°(II-11) : les indices thermiques mensuels de l'année. (station béni Haroun).....	38
Tableau.N°(II-12) : Evapotranspiration potentiel (cm) . (station béni Haroun).....	38
Tableau.N°(II-13) : Bilan hydrologique - Station de Beni Haroun (Période : 1984 – 2012).....	41
Tableau.N°(II-14) : Evapotranspiration potentiel (cm) Station de (HamalaGrarem).	41

Tableau.N°(II-15) : Bilan hydrologique - Station de HamalaGrarem (Période : 1984 – 2012).....	43
Tableau.N°(II-16) : les déférence des caractéristiques du bilan hydrologique pour deux station.....	44

Chapitre III :

Tableau N°.(III) :Méthodes utilisées pou déterminer les paramètres des eaux du surface.....	48
TableauN° (III.01): Caractéristiques des points de prélèvement.....	51
TableauN° (III.02): Teneurs moyens des éléments chimiques.....	51
TableauN°(III.03): Matrice de corrélation entre les éléments chimiques pour un seuil de 5 %.....	52
TableauN°(III.04): Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique.....	55
Tableau N°(III.05): Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique	55

LISTE DES FIGURES

Page

CHAPITRE I :

Fig ^o (I-01) : Schéma structural de la méditerranée occidentale.....	05
Fig N ^o (I-02) : Esquisse structurale du Nord- Est Algérien.....	11
Fig ^o (I-03) : Carte géologique synthétique du bassin constantinois.....	13
Fig ^o (I-04) : Carte géologique du bassin de Mila.....	14
Fig ^o (I-05) : Colonne litho stratigraphique Du versant Est du barrage de Beni Haroun.....	18
Fig N ^o (I-06) : Carte géologique du site.....	19
Fig N ^o (I-07) : coupe géologique.....	19

CHAPITRE II :

Fig N ^o (II-1) : Situation du bassin versant du Kébir-Rhumel en Algérie.....	22
Fig N ^o (II-2) : Découpage du bassin versant de kébir Rhumel (LNRH).....	22
Fig ^o (II-3) : courbe de distribution des précipitations annuelles station béni Haroun (1984-2012).....	27
<i>Fig^o(II-4) : Histogramme de précipitation annuelle (1984 à 2012).....</i>	<i>29.</i>
Fig ^o (II-5) : Courbe de distribution des précipitations mensuelles.....	30
Fig ^o (II-6) : courbe de précipitation saisonniare.....	31
Fig ^o (II-7) : Pourcentage de précipitation saisonnières.....	31
Fig ^o (II-8) : courbe de distribution des température annuelles station béni Haroun (1984-2012).....	32
Fig ^o (II-9) : Courbe de distribution des température(T Min-T Max-T mensuelles)...	34
Fig ^o (II-10) : Graphe ombro-thermique.....	35
Fig ^o (II-11) : Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période 1984 – 2012 (Station de beni haroun).....	43

Chapitre III :

Fig .N° (III.01) : localisation de station (oued rhumel – oued kebir).....	49
Fig.N° (III.02) : Évolution des valeurs du ph au niveau de deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).....	54
Fig.N° (III.03) : Évolution de la conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau de deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013.....	55
Fig.N°(III.04) :Evolution des teneurs du calcium aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).....	56
Fig.N°(III.05) : Évolution des teneurs du magnésium au deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).....	57
Fig.N°(III.06) : Evolution des teneurs de sodium aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).....	58
Fig.N°(III.07) : Evolution de la teneurs du potassium aux différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).....	59
Fig.N°(III.08) : Évolution des teneurs des chlorures aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).....	60
Fig.N°(III.09) : Evolution des teneurs des sulfates aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).....	61
Fig.N°(III.10) : Evolution de la teneur des bicarbonates aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2014).....	62
Fig.N°(III.11) : Évolution de la teneur des nitrates aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).....	63
Fig.N°(III.12) : Classification des eaux d’irrigation du barrage de Béni Haroun selon.....	64
Fig.N°(III.13) : Classification des eaux d’irrigation du bassin versant de Béni Haroun d’après la méthode de Wilcox.....	66
Fig.N°(III.14) : Diagramme de Piper.....	67

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Le projet hydraulique de Beni Haroun revêt une envergure particulière en Algérie. Il fait partie du vaste programme de mobilisation des eaux de surface et de leur transfert inter bassins en vue de pallier aux fortes inégalités hydrologiques. Pour le transfert des eaux régularisées par le barrage de Beni Haroun (1 milliard de m³ de capacité) sur de longues distances, la topographie difficile de la région impose la mise en place d'un dispositif technique complexe : une gigantesque station de pompage, 3 barrages de régulation et plus de 600 km de conduites de transfert et d'adduction.

La mobilisation des ressources hydrauliques continue à être l'une des principales priorités dans la stratégie de développement de l'Algérie. La limitation des eaux souterraines et le climat méditerranéen climat tromperie, imposent la construction de barrages réservoirs afin de satisfaire les besoins en eau.

Les eaux du barrage de Béni Haroun, sont destinées à l'alimentation en eau potable de quatre millions d'habitants, répartis sur les Wilayas de Constantine, Mila, Batna, Oum El Bouaghi et Khenchela, ainsi qu'à l'irrigation de plus de 400.000 hectares de terre agricole.

Ces dernières années, les travaux d'acheminement des eaux du barrage ont bien progressé et désormais l'alimentation en eau ne pose plus de problème pour certaines agglomérations. Cependant, la qualité des eaux reste toujours une préoccupation de l'opinion publique. C'est dans cet objectif que nous avons entamé le présent travail.

Nous avons essayé d'évaluer la qualité physicochimique des eaux des affluents principales (Oued kebir, Rhumel) du barrage, représentant les eaux brutes et celle des eaux distribuées au niveau des wilayas de Constantine et Mila.

Nous nous sommes intéressés à :

- L'évolution temporelle des paramètres physicochimiques de la qualité des eaux du barrage.
- L'évolution spatiale des paramètres physicochimiques de la qualité des eaux dans ces deux affluents (kibir – Rhumele).



Fig .1 : limite de localisation de BV beni haroun

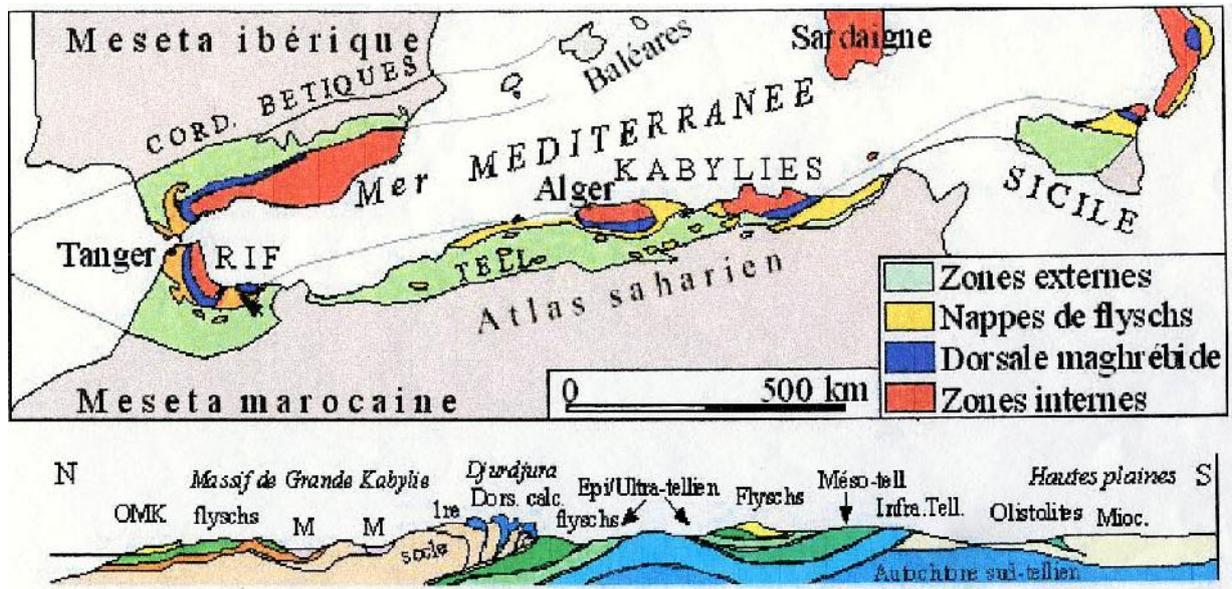
Chapitre I

Cadre géologique

I.1. Géologie Régionale :

Introduction :

Le secteur étudié fait partie intégrante du grand bassin néogène constantinois. Il est localisé dans la partie Nord - orientale de l'Algérie. Cette dernière appartient à la branche Sud de la chaîne dénommée " **Maghrébides**" qui s'étend sur environ 2000 Km, entre le détroit de Gibraltar à l'Ouest et la Sicile et la Calabre à l'Est :FigN°(I-01).



FigN° (I-01) : Schéma structural de la méditerranée occidentale.

(M. DurandDelga, 1969)

En Algérie, la branche Sud de la chaîne Alpine est subdivisée en deux grands domaines

- **Ledomaineinterne:** situé au Nord, il comporte les formations cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire, cet ensemble est largement charrié vers le sud (J.P. Bouillin, 1977 et W. Wildi, 1983).
- **Le domaine externe :** situé plus au Sud, il comporte les formations des flyschs et les formationstelliennes. ces formations telliennes reposent partiellement sur l'autochtone Saharien (J.P. Bouillin, 1977).

I.1.1. Le domaine interne :

Il regroupe le socle Kabyle et sa couverture sédimentaire.

I.1.1.1 Le Socle kabyle :

Il est représenté par des formations cristallophylliennes formant trois pointements amygdalaires au Nord de l'Algérie :

- Le massif de Chenoua à l'Ouest d'Alger,
- Le massif de la grande Kabylie au centre,
- Le massif de la petite Kabylie à l'Est.

Dans le massif de la petite Kabylie, le socle kabyle comporte deux grands ensembles :

➤ Un ensemble supérieur :

Cet ensemble est formé essentiellement de Schistes, de Micaschistes et de Phyllades. Il est surmonté en discordance par des formations siluriennes (M. Durand Delga, 1955) comportant de bas en haut :

- Des schistes noirâtres,
- Des psammites rouges et vertes à Graptolites,
- Des grès calcaires à Tentaculites,
- Des calcaires à Orthocères.

➤ Un ensemble inférieur :

Gneissique, constitué de para-gneiss, d'ortho-gneiss et de gneiss granulitique à intercalation de marbres et d'amphibolites.

En petite Kabylie, les formations cristallophylliennes du socle Kabyle sont largement charriées vers le Sud sur les formations de type flyschs et les formations telliennes (M. Durand Delga, 1955 et J.P. Bouillin, 1977).

I.1.1.2. La couverture sédimentaire du socle kabyle :**I.1.1.2.1. La dorsale kabyle ou chaîne calcaire :**

C'est la couverture sédimentaire du socle Kabyle qui marque la limite entre ce dernier au Nord et les zones telliennes au Sud. Elle montre des termes allant du Permo-Trias, discordant sur le socle kabyle, à l'Oligocène.

A l'Est de la petite Kabylie, la dorsale Kabyle forme les reliefs de Sidi Driss, d'El Kentour et des Toumiets.

Les séries qu'elle présente permettent de la subdiviser en trois domaines, qui sont du Nord au Sud (J.F. Raoult, 1969 - 1974) :

1. La dorsale interne :

Qui montre sur un soubassement paléozoïque une série complète du Permo-Trias au Néocomien. Le Néocomien est directement surmonté par des calcaires biogènes à caractères littoraux de l'Eocène inférieur à moyen.

2. La dorsale médiane :

Elle est caractérisée par des dépôts marno-calcaires à microfaunes pélagiques du Turonien au Lutétien inférieur et par une lacune stratigraphique au Crétacé moyen.

3. La dorsale externe :

Elle est caractérisée par des séries détritiques peu épaisses et lacuneuses. Elle comporte des calcaires silicifiés, surmontés en discordance par des conglomérats du Campanien. Ces derniers sont marqués par une intense érosion au Sénonien.

La dorsale externe repose en discordance sur les flyschs.

I.1.1.2.2. Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) :

Ces formations forment la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle kabyle. Les formations de l'oligo-miocène kabyle sont constituées de trois principaux termes :

- **Un terme de base** : il comporte des conglomérats reposant en discordance sur le socle kabyle.
- **Un terme médian** : formé de grès micacés à débris provenant du socle kabyle associés à des pélites micacées.
- **Un terme supérieur** : pélitique et siliceux à radiolaires et diatomées.

L'âge attribué à ces formations est supposé : Oligocène supérieur à Aquitanien.

À cet Oligo-Miocène kabyle succèdent des Ollistostromes (J.F. Raoult, 1974 - 1975 et J.P. Bouillin, 1977).

I.1.1.2.3/ Les Ollistostromes :

Ce sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flyschs intercalés dans des passées grés-micacés. L'âge de ces formations est supposé Aquitanien à Burdigalien inférieur probable (J.P. Bouillin et al, 1971 ; J.P. Bouillin et al, 1973 et J.P. Bouillin, 1977).

I.1.2. Le domaine externe :

Il correspond au domaine de flyschs et au domaine tellien.

I.1.2.1. Les séries de type flyschs :

Ce sont des séries d'âge Crétacé à Paléocène. En Algérie, ces séries occupent une position allochtone. Elles sont classiquement subdivisées en deux principaux types:

- Flysch maurétanien.
- Flysch massylien.

Et aux quels s'ajoute le flysch Numidien d'âge Burdigalien.

1. Le flysch maurétanien :

Il comporte de bas en haut (J.P. Gelard, 1969 ; H. Djellit, 1987) :

- Un préflysch calcaire du Tithonique - Néocomien, constitué d'une alternance de marnes grises et de turbidites calcaires.
- Un ensemble épais (300 m) de grés homométriques à cassure verte (flysch de Guerrouch) attribué à l'Albo-Aptien.
- Des phtanites rouges et blanches du Cénomanién supérieur.
- Des microbrèches à ciment spathique riches en quartz détritique et parfois des micro-conglomérats du Sénonien.
- Au sommet, des conglomérats puis des grés micacés tertiaires (Eocène à Oligocène).

2. Le flysch massylien :

Les caractéristiques majeures de la série massylienne sont (J.P. Bouillin, 1977) :

- Un Albo-Aptien périto-quartzitique.
- Un Cénomanién micro bréchiq à orbitolines et niveaux de phtanites noires et blanches.
- Un Turono-Sénonien sous forme de pélites et de petits bancs de microbrèches à éléments calcaires et ciment pélitique.

3. Le flysch numidien :

Le flysch numidien forme une entité géologique à part. Généralement la nappe numidienne occupe la position structurale la plus haute de l'édifice alpin et repose en contact anormal sur toutes les formations précédentes. Ce flysch est attribué en partie à l'Aquitano-Burdigalien, comporte de bas en haut (J.P. Bouillin, 1977 ; J.C. Lahonder et al, 1979) :

- **A la base** : des argiles sous numidiennes, vari-colores de teinte rouge verte ou violacée à tubatomaculum d'âge Oligocène supérieur.
- Des grés numidiens de couleur jaunâtre à blanchâtre en bancs épais à quartz roulé très hétérogènes d'âge Aquitanien à Burdigalien inférieur (J.C. Lahonder et al, 1979).
- **Au sommet** : des formations supra-numidiennes comportant des argiles et des marnes à intercalation de silexites du Burdigalien basal.

I.1.2.2. Les séries telliennes :

Le domaine tellien correspond aux zones situées sur la paléo-marge africaine. Il est caractérisé par la prédominance de faciès marno-calcaires, qui s'étalent du Néocomien au Lutétien (J.P. Bouillin, 1977).

Les séries telliennes sont constituées par un empilement de trois grandes nappes, sont du nord vers le sud :

- **Une série ultra-tellienne :**

Cette série comporte les formations marneuses et marno-calcaires d'âge Crétacé à Eocène (M. Durand Delga, 1969).

- **Une série méso-tellienne :**

Cette série correspond aux formations carbonatées du Jurassique. Elle est considérée comme la couverture de la plate-forme constantinoise (J.M. Vila, 1980).

- **Une série peni-tellienne :**

Cette série se particularise par des formations Jurassico-Crétacées, caractérisées par des faciès intermédiaires entre les faciès de la plate-forme (calcaire et marno-calcaire du néritique) et des faciès de bassin (marne du domaine tellien) (M. Durand Delga, 1969).

I.1.2.3. Les formations de l'avant pays :

Les formations de l'avant pays sont représentées par des calcaires et des marnes de la plate-forme constantinoise et du domaine atlasique. Ce domaine comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone (J.M. Vila, 1980).

• **L'avant pays allochtone :**

Il regroupe trois grandes unités :

- ✓ L'unité Sud Sétifienne.
- ✓ L'unité néritique Constantinoise.
- ✓ L'unité de type Sellaoua.

• **L'avant pays autochtone :**

Il est représenté par des séries sédimentaires mésozoïques épaisses et très plissées. Ces séries sont principalement localisées au niveau de l'Atlas Tunisien, de l'Atlas Saharien, des monts du Hodna, des monts de Batna et des monts des Aurès.

I.1.2.4. Les formations Post-nappes :

Les formations post-nappes sont constituées de dépôts marins d'âge Burdigalien dans le Nord et des dépôts continentaux d'âge Miocène à Pliocène dans le bassin de Constantine (J.P. Bouillin, 1977 et Ph.A. Coiffait, 1992). Les formations post-nappes recouvrent en discordance toutes les formations précédentes. Dans la partie Nord ces formations post-nappes comportent deux cycles sédimentaires :

- Un premier cycle, essentiellement constitué par des marnes grises ou bleues transgressives et discordantes sur les structures anciennes. Elles reposent également sur le flysch Numidien, les flyschs Crétacé et sur l'OMK.
- Un second cycle, gréseux d'épaisseur réduit (5 à 50m) paraissant nettement transgressif.

Dans la partie Sud du massif de la petite Kabylie et particulièrement dans le bassin Néogène de Constantine, ces formations sont dominées par des dépôts continentaux comportant de conglomérats, sables, graviers, argiles, calcaires lacustres et roches évaporitiques (Ph.A. Coiffait, 1992).

I.1.3. Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie :

La structuration géologique résultant de l'orogénèse Alpine en Algérie du Nord est constituée par un empilement d'unités allochtones charriées sur l'autochtone pré-saharien (J.F. Raoult, 1974 ; J.P. Bouillin, 1977 et J.M. Vila, 1980). Selon ces auteurs le dispositif structural est constitué par le socle Kabyle et sa couverture au Nord et les nappes de flyschs au Sud. Ces dernières ont subi une tectonique tangentielle majeure fini-Lutétienne à fini-Oligocène (J.P. Bouillin, 1977), reposent partiellement sur l'autochtone Saharien.

Au Burdigalien inférieur-moyen, la reprise des mouvements compressifs engendre le chevauchement du socle vers le sud et la mise en place de la nappe Numidienne. Cette phase de compression a été suivie par une phase de relaxation avec formation de bassins discordants où se met en place une sédimentation Burdigalienne (in Ph.A. Coiffait, 1992).

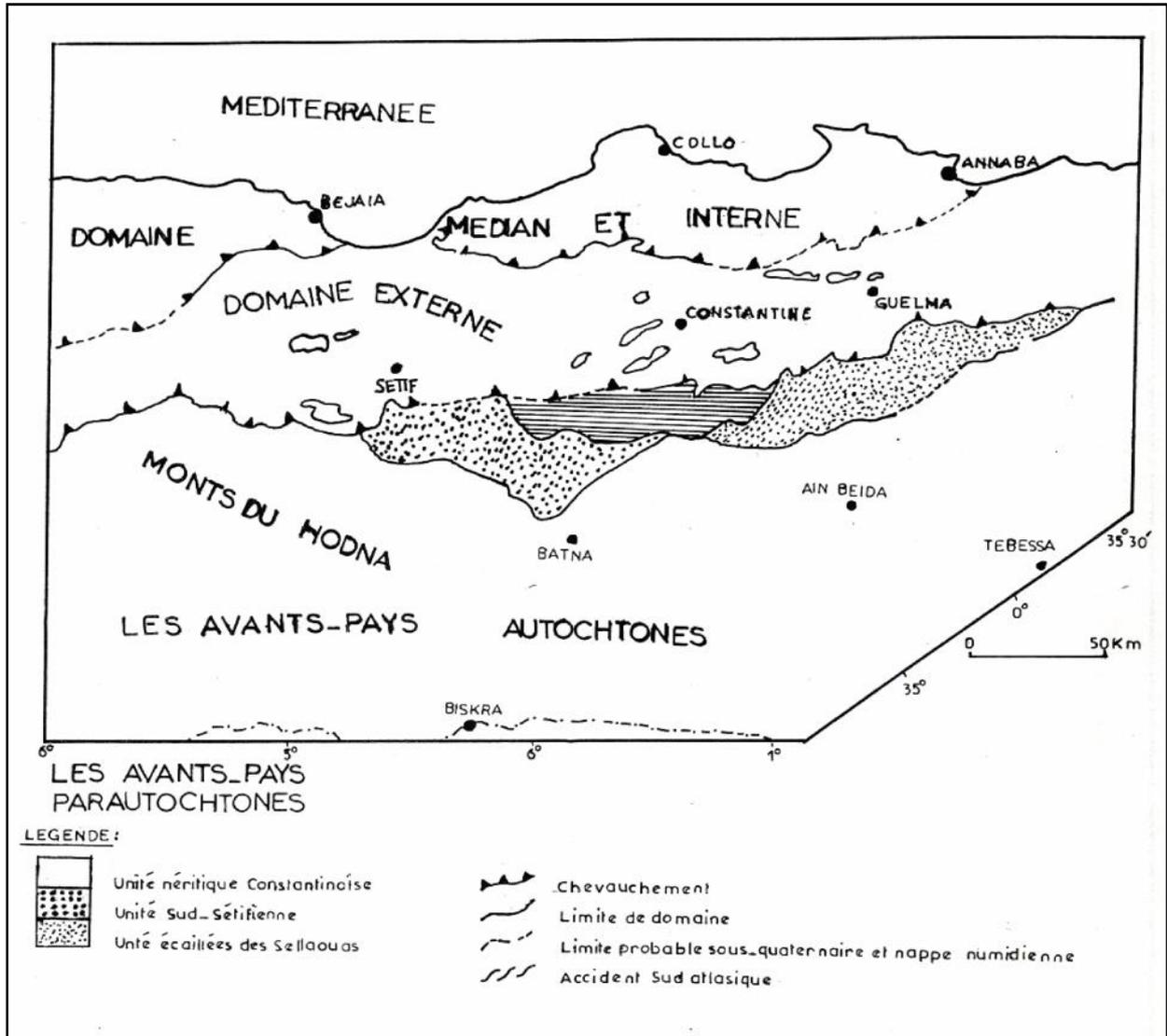


Fig N° (I-02) : Esquisse structurale du Nord- Est Algérien.

(W. Wildi, 1983)

I.2. Géologie locale :**I.2.1. Présentation géologique du bassin néogène de Mila :**

Le bassin néogène de Mila, dont fait partie le secteur étudié, constitue la partie occidentale de la dépression Miocène de Constantine (le bassin néogène constantinois). Il est limité au Nord par l'arête montagneuse du M'cid Aicha et du Sidi Driss, au Sud par les massifs du Djebel Osmane et Djebel Grouz, à l'Est par les massifs du Djebel Akhal, de Chettaba et de Kheneg, et à l'Ouest par Djebel Boucheref et Oukissane .

I.2.1.1. Synthèse lithostratigraphique du bassin de Mila :

Les différents ensembles lithostratigraphique sreprésentés dans le bassin de Mila peuvent être résumés :

I.2.1.2. Les formations triasiques :

Les formations triasiques sont essentiellement représentées par des dépôts évaporitiques (gypse et sel gemme), des argiles bariolées, des grés, des roches carbonatées et des fragments de roches magmatiques métamorphisées (ophites).

Ces formations affleurent au pied de Djebel Chettaba, au Sud de Djebel Akhal et à l'Ouest de Sidi Marouane. elles affleurent généralement à la faveur de grands accidents tectoniques régionaux, notamment visibles le long de la transversale Nord-Sud El Milia - Beni Haroun où les affleurements triasiques se localisent principalement au niveau des nœuds des grands failles affectant les formations telliennes (M. Durand Delga, 1955 et Y. Bouftouha, 1989).

I.2.1.3. Les formations du jurassique :

Les formations du jurassique affleurent au Djebel Chettaba, Djebel Akhal et Mcid Aicha. Elles forment une épaisse série de calcaires massifs comportant des horizons très fossilifères.

- **Le Lias :**

Il est représenté par des calcaires compactés et des dolomies massives du Lias inférieur et moyen, et des calcaires à Silex du Lias.

- **Le dogger :**

Il est représenté par des formations carbonatées comportant des calcaires, des marno-calcaires, et des dolomies.

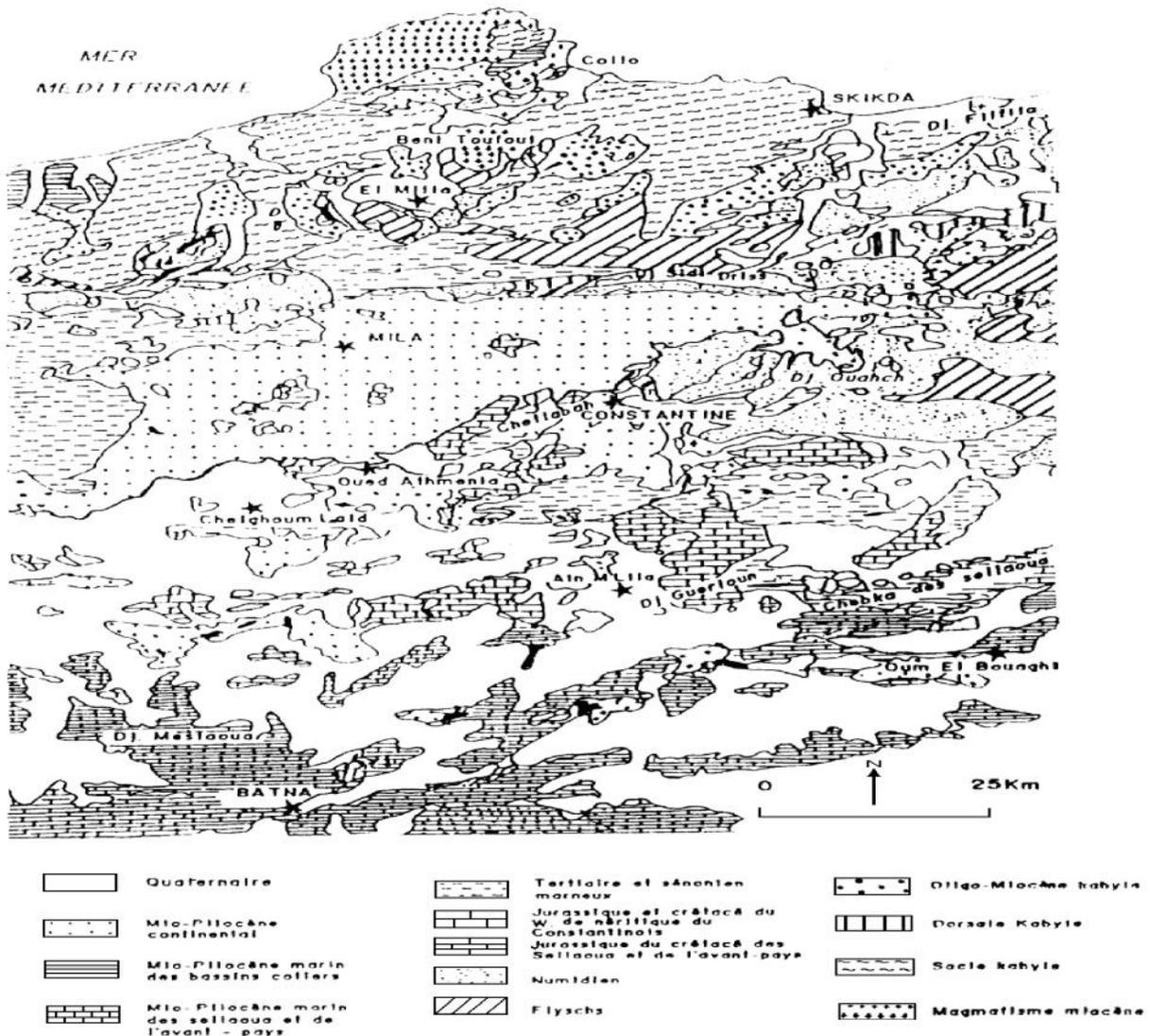
- **Le Malm :**

Il est représenté par des calcaires fins, parfois Siliceux ou biodétritiques. Ces calcaires sont affectés par un phénomène de dolomitisation très important, notamment au Djebel Kheneg.

I.2.1.4. Les formations du Crétacé inf et sup :

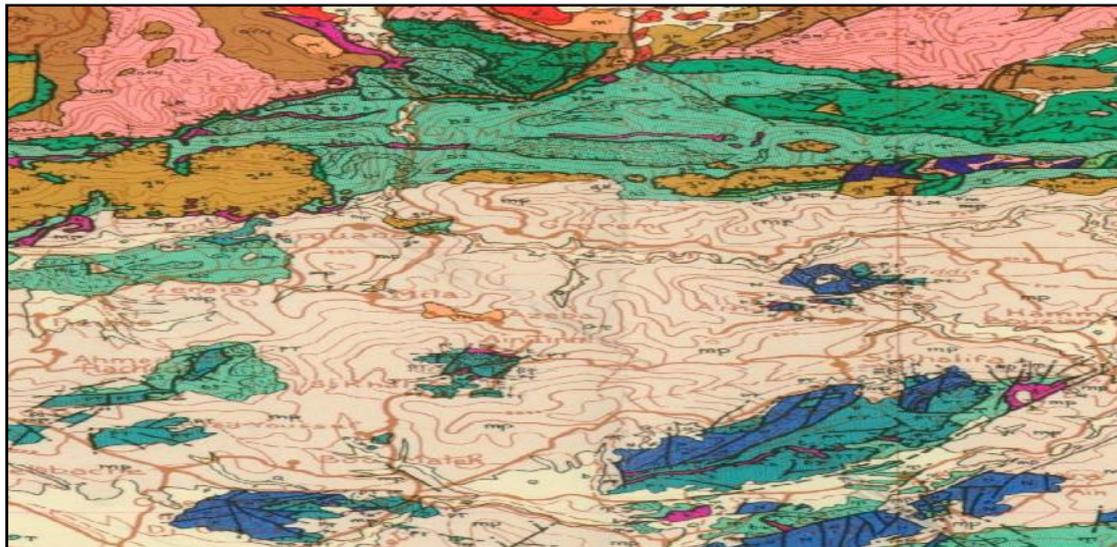
- **Le Crétacé inférieur :**

Les formations de Crétacé inférieur sont caractérisées par des marnes, des marno-calcaires et des calcaires néritiques. Elles affleurent au Djebel Oukissane sous forme d'un faciès marneux au Nord-Ouest et calcaires néritiques au Sud Est. Elles affleurent également au Djebel Akhal et dans la région de Sidi Marouane (M. Durand Delga, 1955).



Figⁿ(I-03): Carte géologique synthétique du bassin constantinois.

(J.M. Vila, 1980)



ROCHES ERUPTIVES RÉCENTES

	Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.
	Complexé stratifié de Yaddène et roches effusives de la région d'Iammam Meskoutine (P).

ROCHES RÉCENTES ET CYCLES POSTÉRIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR

	Quaternaire indifférencié (Villafranchien à actuel).
	Pliocène marin des zones côtières.
	Mio-Pliocène continental.
	Miocène marin transgressif indifférencié des nappes telliennes et de leur avant-pays allochtone, parautochtone ou autochtone.

SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE

	Oligo-Miocène kabyle, olistostromes à flyschs sédimentés (y compris le Numidien) et flyschs en position nord-kabyle (F').
	Olistostromes superposés à l'Oligo-Miocène kabyle; OF- Olistostolites telliens de la région d'El Milia.
	CHAÎNE CALCAIRE: Paléozoïque à Lutétien supérieur des zones interne, médiane et externe.
	Socle kabyle: SBA- Paléozoïque des Béné-Afeur
	SK- Socle métamorphique de Petite kabylie et du Bou Hatem (phyllades micaschistes, porphyroïdes, gneiss et marbres).
	SB- Socle basique du Cap Rougannou (péridotites et "kinzigites" rétro-morphosées).

NAPPE NUMIDIENNE

	Formation de Babouche (Aquitano-Burdigalien).
	Grès numidiens et séries mixtes.
	Principaux affleurements d'argiles de base à Tubotomaculum.

NAPPES DE FLYSCHS KABYLES

FLYSCHS MAURÉTANIENS

	Séries internes d'Aïn Naceur, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de Bou Tâleb, de la Robertsau (Souk es Sebt) et de La Marsa. Séries médianes de Guerrouch, d'El Karn, de Khorchef, de Ghezala et du Sud d'Aïn Berda (Penthièvre). Séries externes (ex-"Medianien") et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mez-zouch et de Ziane.
	Cas de la série des Achaïches (série médiane). 1- Crétacé 2- Jurassique 3- Permo-Trias et Carbonifère.
	Unité Sendouah-Tabellout à substratum basique.

FLYSCHS MASSYLIENS

	Séries typiques à phytanites ou à brèches vertes et rouges.
	Cas de la série du Djebel Filfila 1- Crétacé 2- Jurassique.
	Unités de type Adissa et Senonien marneux à microbrèches ou à blocs. A- Eocène F- Senonien marneux à microbrèches ou à blocs.

Fig^o(I-04) : Carte géologique du bassin de Mila.

(J.M. Vila, 1980)

- **Le Crétacé supérieur :**

Le Crétacé moyen à supérieur comporte des marno-calcaires peu épais de l'Albien, des marno-calcaires noduleux de couleur grise, des marnes grises bleutées parfois gypsifères marquées dans sa partie supérieure par une surface durcie du Sénonien.

I .2.1.5. Les formations du Paléogène :

Le Paléogène dans le bassin de Mila est représenté par les formations du Paléocène et de l'Eocène.

- **Paléocène :**

Le Paléocène est représenté par des marnes noires, affleurant sur les deux rives d'Oued El Kébir et sur le versant Nord-Ouest d'Oued Endja.

- **Eocène :**

L'Eocène est représenté par des calcaires Yprésien, affleurant à l'Ouest de Sidi Marouane et dans les gorges d'Oued El Kébir et en aval d'Oued Dib et des marnes à débit en plaquettes admettant à la base des passés gréseuses (petits bancs de grés d'ordre décimétrique) conférant à cette dernière un aspect flyschôide. Ces marnes sont très perturbées par la tectonique. Elles sont observées souvent en contact des calcaires Yprésien et parfois redressées à la verticale, notamment au niveau des limites du bassin.

La base de l'Eocène est représentée par des marnes noires à nodules jaunes, qui paraissent parfois reposer en légère discordance sur les marnes Sénoniennes, ces marnes noires sont surmontées par des calcaires à patine blanche de l'Yprésien (M. Durand Delga, 1955).

I .2.1.6. Les dépôts Néogènes :

Les dépôts néogènes du bassin de Mila sont essentiellement représentés par des dépôts détritiques (graviers, sables, conglomérats, et argiles), des dépôts évaporitiques (gypse et en moindre mesure de sel gemme) et des calcaires lacustres. Ces dépôts reposent sur un substratum formé par un empilement de nappe dans la partie septentrionale et sur des calcaires néritiques dans la partie méridionale (Ph.A. Coiffait, 1992).

Dans le bassin de Mila, ces dépôts sont largement dominés par des dépôts laguno-marins (argile, marne et évaporites). La mise en place de ces dépôts est datée du Miocène moyen (Serravallien) à Pliocène (Ph.A. Coiffait, 1992).

I .2.1.7. Les dépôts Quaternaires :

Les dépôts Quaternaires recouvrent les formations précédentes. Elles sont représentées par des blocs de taille variable, noyés dans une masse d'argile rouge. Ces dépôts correspondent à des déplacements en masse sous forme de coulées boueuses (Ph.A. Coiffait, 1992).

Selon cet, auteur la ville de Mila est construite sur la plus importante coulée boueuse qui atteint 7 Km de longueur et 1.2 Km de largeur.

I .2.2. Géologie du secteur étudié :

Le secteur étudié formant le versant Est de la vallée de l'oued El Kébir est situé à environ 1km de la digue du barrage de Beni Haroun.

Dans le secteur étudié, les formations du substratum n'affleurent qu'au niveau de la limite septentrionale du bassin de Mila. Elles sont essentiellement représentées par des marnes noires du paléocène surmontées par des calcaires et des marnes de l'Eocène. Sur ces formations du substratum, les dépôts néogènes du bassin de Mila débutent par une base comportant des microconglomérats, de grés sableux beiges surmontés par des argiles marneuses à gypse, des conglomérats et des calcaires lacustres. Ces formations sont recouvertes par des dépôts Quaternaires.

I .2.2.1. Les marnes du Paléocène :

Ces marnes noires sont fortement feuilletées et se débitent en plaquettes, elles affleurent sur les deux rives d'Oued El Kébir, elles ont été reconnues par plusieurs forages lors des premières campagnes de reconnaissance. Les sondages carottés ont montré que l'altération ne se poursuit qu'à une profondeur assez limitée, c-à-d entre 0 et 4m de profondeur maximum dans le lit de l' Oued El Kébir et 4 à 5m de profondeur dans les appuis. Ces marnes montrent localement des traces de gypse et de calcite en remplissage des joints.

Dans leur partie supérieure, on trouve sur 5m une alternance de marnes et de bancs de calcaires constituant la transition avec les couches supérieures.

I .2.2.2. Les calcaires de l'Eocène attribués à l'Yprésien :

La cartographie géologique détaillée du site a permis de différencier trois subdivisions des bancs de calcaires constituant l'appui du barrage :

Calcaires marneux, calcaires à silex et calcaires de base.

Dans l'ensemble, ces roches se présentent en couches décimétriques à métriques de calcaires à grains fins, gris foncé à noir, durs et résistants. Certains lits de calcaires sont très durs car dolomitiques voire siliceux, alors que d'autres contiennent du silex noir. Le silex se présente sous forme de petits nodules (de diamètre 1 à 3cm) et de bandes minces (épaisse de

2 à 15cm). On trouve également de minces couches de marnes schisteuses en intercalation avec les calcaires.

I .2.2.3. Les marnes de l'Eocène (d'âge Lutétien) :

Les marnes éocènes sont presque identiques à celle des marnes du Paléocène, elles sont fortement déformées et altérées et se présentent à l'affleurement avec une couleur gris foncé à noir.

I .2.2.4. Les microconglomérats et grés sableux :

Des microconglomérats et des grés sableux de couleur beige avec des niveaux argilo-sableux. Ces grés affleurent au pied du versant Est du barrage de Beni Haroun, cette assise de grés est très perturbée par la tectonique.

I .2.2.5. Les argiles marneuses à gypse :

Les argiles marneuses à gypse recouvrent la majeure partie du secteur étudié, elles sont souvent gris bleutées ou vertes mais peuvent avoir une teinte ocre à jaunâtre ou brunâtre. Ces argiles marneuses admettent en intercalation des passées de gypse d'épaisseur centimétrique à décimétrique. Les parties superficielles de ces assises montrent souvent des encroûtements calcaires.

Les données de sondages montrent que l'épaisseur de cette assise d'argiles marneuses gypsifère est de l'ordre de 30 à 50m.

I .2.2.6. Les conglomérats :

Ces conglomérats se particularisent par leur grande hétérogénéité. Ils sont constitués d'éléments gréseux, carbonatés et silexites à matrice argilo-sableuse et carbonatée. Par ailleurs, ils montrent des passées métriques de grès . Ces formations sont largement affectées par un réseau de failles et de décrochements de direction N - S et E - W.

Ces conglomérats affleurent dans la partie supérieure du versant Est du barrage de Beni Haroun, où ils sont traversés par la RN 27.

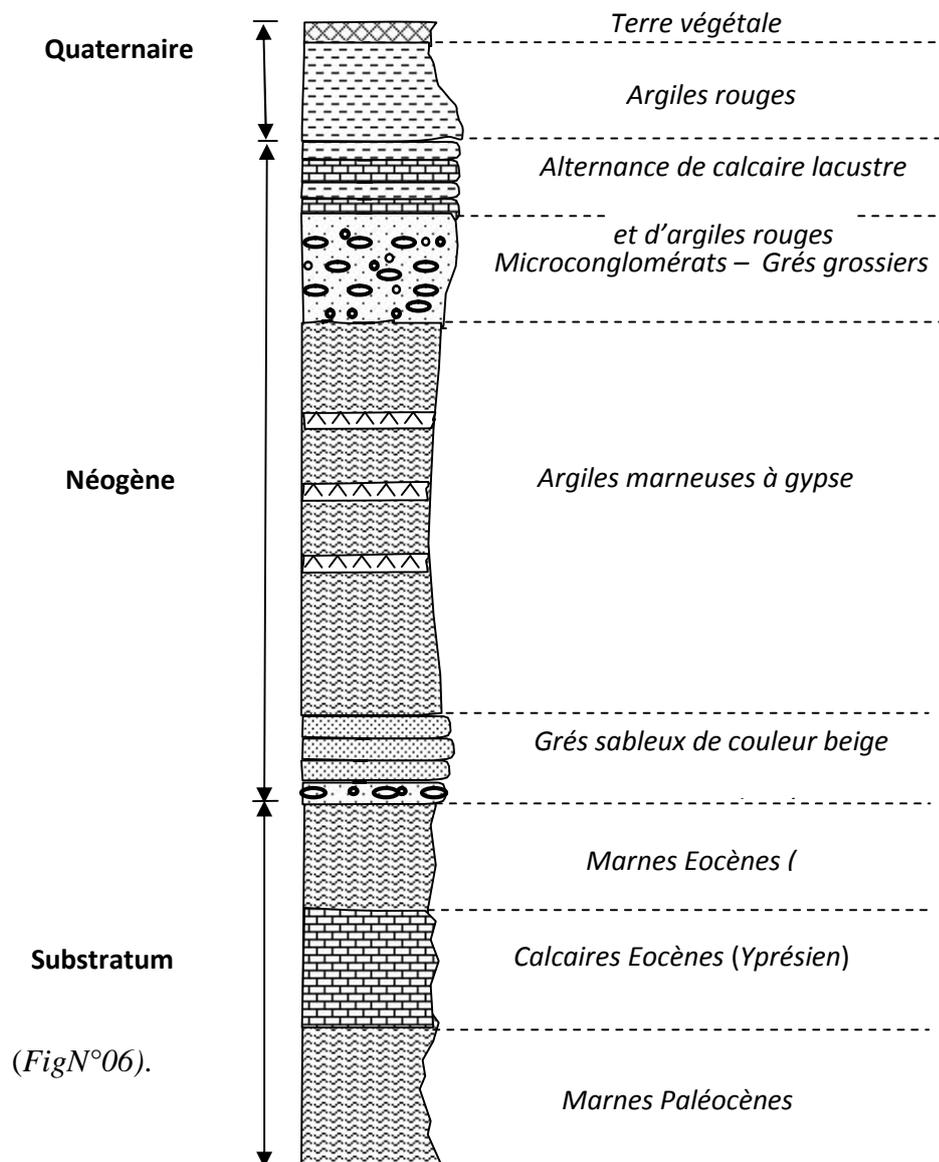
I .2.2.7. Les calcaires lacustres :

Ce sont des calcaires de teinte saumonée, alternant avec des niveaux d'argiles rouges, ces calcaires lacustres surmontent les conglomérats précédemment décrits. L'épaisseur de ces calcaires peut atteindre une dizaine de mètres.

I .2.2.8. Les dépôts Quaternaires :

Les dépôts quaternaires sont largement représentés dans le versant Est du barrage de Beni Haroun. Ils forment la couverture récente des formations décrites précédemment. Ces dépôts quaternaires sont constitués pour l'essentiel par des argiles rouges partiellement recouvertes par une tranche de terre végétale.

Les différentes formations lithologiques du secteur étudié sont résumées sur le log lithostratigraphique donné dans la



(FigN°06).

FigN°(I-05) : Colonne lithostratigraphique Du versant Est du barrage de Beni Haroun

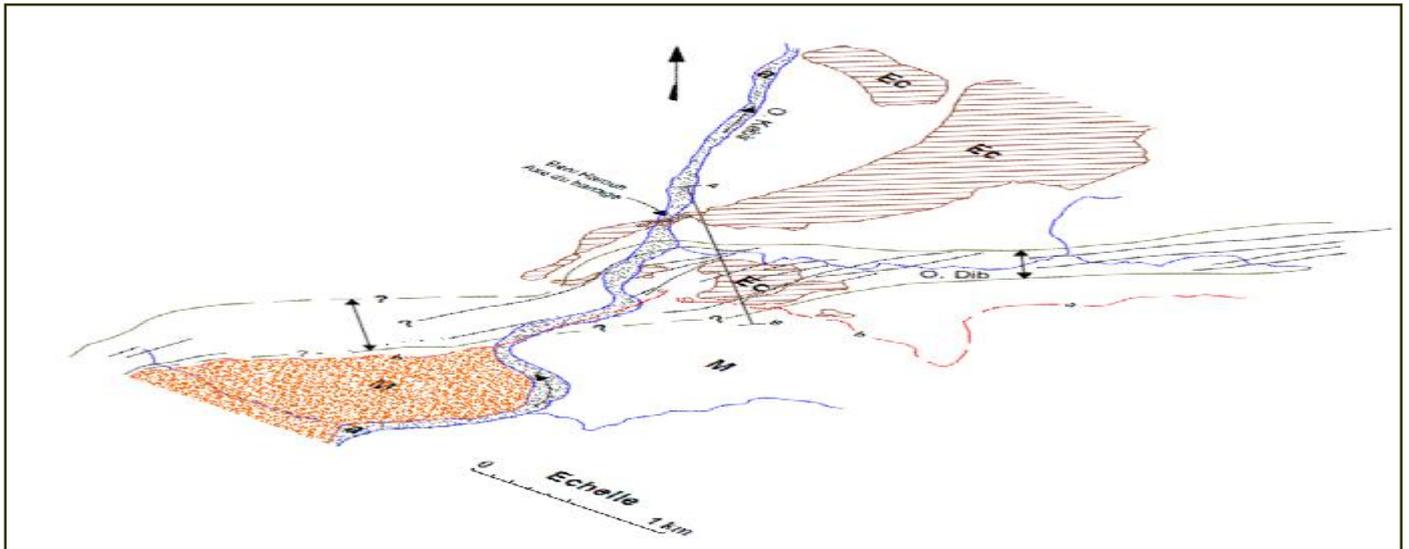


Fig N°(I-06): Carte géologique du site

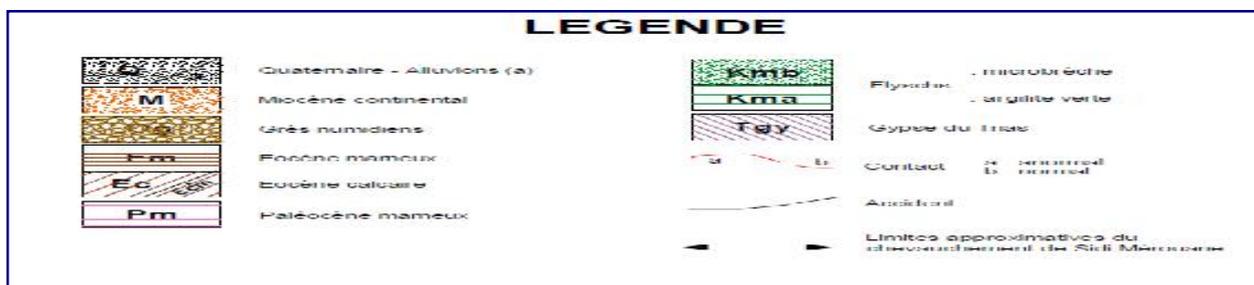
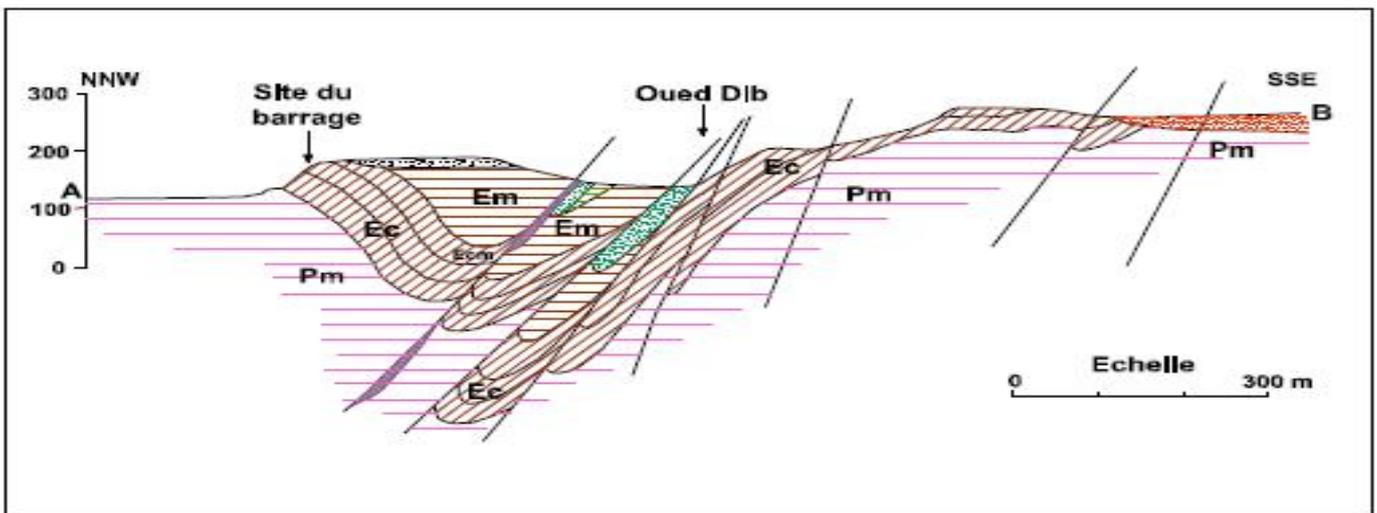


Fig N°(I-07) : Coupe géologique

Chapitre II

hydro climatologie

II.1. Caractéristiques Morphologique

Introduction :

Il est évident que l'eau joue un rôle primordial dans la dilution des sels minéraux contenant dans le sol. L'expérience a montré que la plus part des caractéristiques de l'eau liés aux soulevant des roches ont eu lieu durant les saisons des pluies et/ou la fonte des neiges.

A cet effet, nous essayerons de donner dans la présente étude les principales caractéristiques hydro climatiques de la région de Annouche Ali, notamment les données pluviométriques, les données de la température, l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et les variations du niveau piézométrique des nappes de la région. L'ensemble des données précédentes permet d'établir un bilan hydrique de la région.

II.1.1. Analyse morpho métrique du bassin versant :

II.1.1.1. Situation géographique :

Le site du barrage de Beni Haroun est situé à l'aval de la confluence de 02 Oueds important à l'Est le Rhumel qui prend sa source en amont de Constantine et à l'Ouest Oued Endja qui prend sa source au environ de Djemila.

Le barrage de Beni Haroun est situé sur l'Oued Kebir à environ 40 km au nord de la ville de Constantine et à 350 km à l'Est d'Alger, au point de coordonnées Lambert X= 820 Km, Y=369 Km.

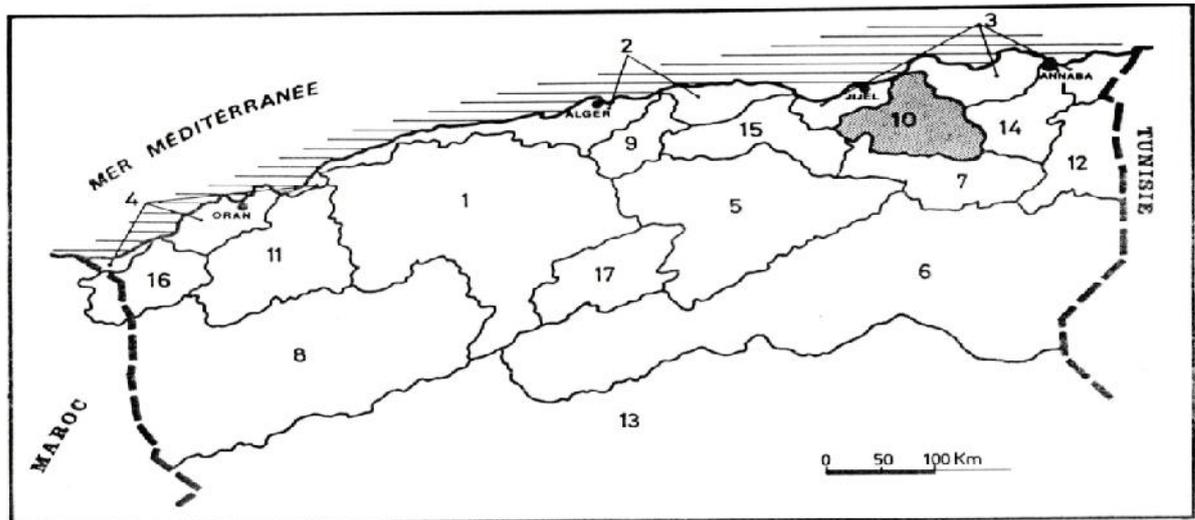
Il constitue l'ouvrage clé du projet de transfert de Beni Haroun dont l'objectif est de transférer les ressources mobilisées par le barrage de Beni Haroun vers les 6 Wilayas de Batna, Kenchela, Mila, Oum El Bouaghi, Constantine et Jijel.

Le barrage a une capacité de 963 millions de m³ et permettra la régularisation d'environ 435 millions de m³ par an.

II.1.1.2. situation administrative

Le barrage de Béni Haroun appartient à l'Agence Nationale des Barrages et transferts,

Selon la carte de situation des bassins versant en Algérie, on note que le bassin versant de l'assiette du barrage de Beni Haroun appartient au grand bassin du Kébir-Rhumel.



Noms des bassins-versants :

- | | | |
|-------------------------|--------------------------------|-------------|
| 1 CHELIFF | 7 HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS | 13 SAHARA |
| 2 COTIERS ALGEROIS | 8 HAUTS PLATEAUX ORANAIS | 14 SEYBOUSE |
| 3 COTIERS CONSTANTINOIS | 9 ISSER | 15 SOUMMAM |
| 4 COTIERS ORANAIS | 10 KEBIR RHUMEL | 16 TAFNA |
| 5 CHOTT HODNA | 11 MACTA | 17 ZAHREZ |
| 6 CHOTT MELRHIR | 12 MEDJERDAH | |

Fig.(II-1): Situation du bassin versant du Kébir-Rhumel en Algérie.

(A. Mebarki, 1982)

Le grand bassin du Kébir-Rhumel est subdivisé en plusieurs sous bassins. La zone étudiée fait partie du sous bassin de Kébir-Maritime .



Fig .(II-2): Découpage du bassin versant de KébirRhumel (LNRH).

LA LEGENDE :

-  : Oued Kébir Maritime.
-  : Oued Dehamcha Kébir Amont
-  : Oued Kébir Amont Endja.
-  : Oued Rhumel Smendou.
-  : Oued Kébir Amont.
-  : Oued Rhumel Seguen.
-  : Oued Boumerzoug.
-  : Chevelu hydrographique.

Tableau.(II-1) : Les sous bassins du grand bassin Versant du Kébir Rhumel (LNRH).

Numéro de code de sous bassins	Sous bassin	Superficie en km ²
10 - 01	Oued Dehamcha Kébir Amont	1067
10 - 02	Oued Kébir Amont Endja	1102
10 - 03	Oued Kébir Amont	1230
10 - 04	Oued Rhumel Seguen	1150
10 - 05	Oued Boumerzoug	1832
10 - 06	Oued Rhumel Smendou	1091
10 - 07	Oued Kébir Maritime	1339

Le sous bassin de oued Kébir-Maritime est limité au Nord par la mer méditerranée, au Sud par les sous bassins : oued Rhumel Smendou et oued Kébir Amont Endja, à l'Est et à l'Ouest par le bassin versant de côtières constantinois (A. Mebarki, 1982).

II.1.2. les caractéristiques morpho métriques :

Les caractéristiques morpho métriques d'un bassin influent sur l'écoulement global des eaux provenant des précipitations. Elles sont représentés essentiellement par :

II.1.2.1. les caractéristiques morpho métriques :

- **La superficie (S) :**

Elle sert essentiellement à calculer la lame d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin.

La superficie planimétrique du sous bassin de Kébir-Maritime est de l'ordre de 1339 km²(LNRH)

II.1.2.2. les caractéristiques morpho métriques :

- **Le périmètre (P) :**

Le périmètre du sous bassin étudié est de l'ordre de 172 km(A. Mebarki, 1982).

II.1.2.3. les caractéristiques morpho métriques :

- **Indice de forme ou de compacité (Indice de Gravilius) :**

Il est donné par la formule suivante (A. Mebarki, 1982) :

$$C = 0.28 P / \sqrt{S}$$

avec : C : Indice de compacité;

P : Périmètre du bassin versant (km).

S : Superficie du bassin versant (km²).

$$\text{donc : } C = \frac{0.28 \cdot 172}{\sqrt{1339}} = 1.31$$

$$C = 1.31$$

Il ressort de ces données que le $C = 1.31$ c'est-à-dire supérieur à 1. Ceci indique que le bassin versant de kébir-maritime est de forme allongée et non circulaire ($C = 1$).

II.1.2.4. Le rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent ou rectangle de Gravilius est une notion qui traduit une transformation géométrique dans laquelle on assimile le bassin à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie.

La longueur du rectangle équivalent est donnée par la formule suivante (in A. Mebarki, 1982) :

$$L = \frac{C \cdot \sqrt{S}}{1.128} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

avec : C : indice de compacité;

S : Superficie du bassin versant (km²);

L : longueur du rectangle équivalent en km.

On obtient :

$$L = \frac{1.31 \cdot \sqrt{1339}}{1.128} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.31} \right)^2} \right]$$

L=64.08 km.

La largeur du rectangle "I" est déterminée en fonction de la surface du bassin versant "S" et la longueur du rectangle "L" :

$$S = L \cdot I \Rightarrow I = S / L$$

$$\Rightarrow I = 1339 / 64.08$$

$$\Rightarrow I = 20.89 \text{ km.}$$

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant étudié peuvent être récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau.(II-2) : Caractéristiques morphométriques du bassin de Kébir-Maritime.

Caractéristiques morphométriques du bassin versant	Valeur correspondante
Superficie (S) en km ²	1339
Périmètre (P) en km	172
Indice de Gravilius (C)	01.31
Longueur du rectangle équivalent (L) en km	64.08
Largeur du rectangle équivalent (I) en km	20.89

II .2 . Cadre hydro climatologie :**• Introduction :**

L'étude climatique a pour but d'étudier les paramètres climatiques qui déterminent l'écoulement de surface et la genèse de crues.

Dans ce chapitre nous allons déterminer les différents facteurs climatiques à savoir :

1. Evapotranspiration potentielle (ETP).
2. Evapotranspiration réelle (ETR).
3. de l'infiltration (I) .

• Climat général :

Le climat est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'Atlas tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas saharien. Les écarts de température dans une même journée peuvent être considérables.

• Climat local :

Le barrage de Béni Haroun est situé sur l'oued el Kebir à environ 50 km de la confluence de celui-ci avec l'oued Rhumel.

Le bassin de l'oued el Kebir, appartient à la région de l'algerie orientale, limité au sud par les hauts plateaux Telliens, à l'ouest par les montagnes de la petite Kabylie, aux nord par le diviseur des eaux formé par l'Atlas Tellien et à l'est par le bassin de Seybousse.

Le bassin de l'oued Kebir comprend deux secteurs bien distincts : Le secteur occidentale, bien montagneux et plus pluvieux, formée par le bassin de l'oued ENNDJA est caractérisé par un régime des pluies relativement élevé (en moyenne, environ 700 mm/an), et une topographie montagneuse. Dans le bassin, les côtes sont d'environ 1400 m, il couvre une superficie d'environ 2169 km².

Le secteur oriental, plus bas, plus plat et moins pluvieux, formé par le bassin de l'oued Rhumel est caractérisée par un relief plus uniforme et un régime de pluie plus modéré (environ 500 mm/an en moyenne). La superficie de ce bassin est environ 5490 km².

Ces deux oueds, Endja et Rhumel confluent près de l'extrémité amont de gorge de Béni Haroun pour former l'oued el Kebir. Le superficie totale de drainage de Béni Haroun est de 7725 km².

L'étude climatologique de la région qui comprend le bassin de l'oued el Kebir, montre que le climat prédominant est de nature continentale avec des influences orographiques appreciables dans les

secteurs sud et ouest. Les températures moyennes dans le bassin varient entre 8,85°C en hiver (Janvier) et 33,01°C en été (Juillet).

L'humidité de l'air est toujours plus élevée en hiver et plus faible en été. Les précipitations sont minimums en été et maximums en hiver, ce qui caractérise un climat du type « cas ».

II.2.1 Étude précipitation :

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau, en effet les précipitations agissent dans l'alimentation de l'écoulement du bassin versant.

II.2 .1.1 La pluviométrie moyenne annuelle durant 29 ans de (1984 à 2012) :

Dans *Tableau.(II-3)* représente la série pluviométrique durant 29 ans de (1984 à 2012).

Pour cette période en remarque que le maximum a été observé en 1984 avec **1066,09 (mm)**, et le minimum en 2000 avec **228.10 (mm)**.

Nous traduisons *Tableau.(II-3)* dans un graphique **Fig.(II-3)** où en retrouve en abscisse les années et en ordonne les précipitations annuelles.

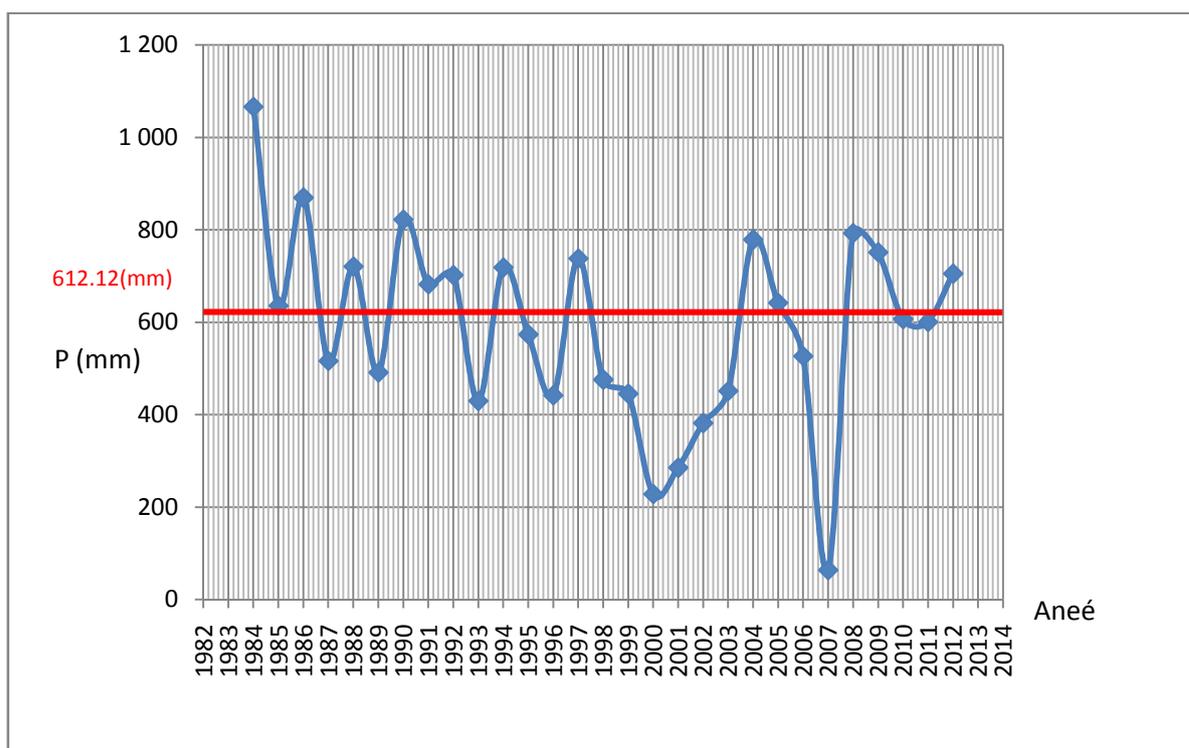


Fig.(II-3) : courbe de distribution des précipitations annuelles station béni Haroun (1984-2012)

Tableau.(II-3) : précipitation moyennes mensuelles en °C durant la période : 1984 – 2012
(Station de Béni Haroun).

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
1984	39,53	189,45	14,80	395,69	119,80	44,96	167,11	47,23	36,12	0,00	11,18	0,22	1 066,09
1985	41,24	24,97	49,31	63,05	198,76	81,70	124,55	37,69	7,17	7,21	0,00	0,22	635,86
1986	13,79	48,01	116,43	162,38	105,69	230,65	96,88	57,44	38,05	-	0,00	0,22	869,54
1987	10,71	24,31	52,91	21,15	110,62	106,52	103,27	47,55	18,75	20,27	0,00	0,22	516,30
1988	21,91	0,00	40,59	311,69	100,06	65,81	62,84	102,55	14,89	0,00	0,00	0,22	720,56
1989	32,43	96,64	50,16	25,04	139,54	2,26	33,04	53,88	58,22	0,00	0,00	0,22	491,44
1990	1,05	7,43	144,59	259,19	78,84	101,56	97,95	73,54	57,74	0,00	0,00	0,22	822,10
1991	10,88	91,05	42,20	17,69	100,06	75,74	84,12	161,52	68,93	13,74	15,85	0,22	682,00
1992	19,43	18,81	35,57	259,19	109,93	97,09	50,07	41,43	57,84	7,71	4,90	0,22	702,18
1993	17,30	0,00	40,78	232,94	100,06	31,03	5,38	2,40	-0,55	0,00	0,00	0,22	429,56
1994	36,53	75,50	89,60	85,73	198,76	41,98	92,63	35,16	3,89	58,76	0,00	0,22	718,77
1995	37,99	38,05	94,06	46,88	86,05	37,01	93,69	78,68	48,09	12,86	0,00	0,22	573,58
1996	28,41	47,25	49,03	59,69	139,54	32,05	16,02	29,08	14,80	15,75	0,00	10,16	441,76
1997	26,70	66,21	154,07	143,69	87,70	81,70	63,90	73,54	16,82	17,66	2,86	3,23	738,07
1998	66,60	23,13	128,94	29,87	15,58	30,76	16,76	77,28	57,35	22,89	2,14	4,44	475,72
1999	89,30	37,30	38,95	81,53	64,14	16,56	33,58	26,27	17,88	29,12	1,02	9,73	445,36
2000	6,45	17,23	14,61	35,01	13,80	15,26	21,57	24,96	56,10	15,35	-	7,75	228,10
2001	74,50	16,33	28,36	9,39	67,99	19,63	8,49	25,80	30,62	-	-	4,07	285,18
2002	30,10	10,75	125,53	98,75	14,59	29,27	28,36	19,62	11,52	2,38	-	10,94	381,81
2003	30,10	50,00	38,20	190,60	56,24		-	86,17	-	-	-	-	451,31
2004	35,30	32,10	145,60	212,90	83,40	32,20	50,20	81,60	60,70	44,00	0,90	0,00	778,90
2005	12,20	19,20	86,90	84,20	128,60	149,10	50,00	103,30	6,20	0,00	0,50	1,70	641,90
2006	35,30	24,10	34,90	151,80	97,80	85,30	37,30	10,60	46,70	0,00	0,00	2,80	526,60
2007	34,31		-	-	10,30	19,10	-	-	-	-	-	-	63,71
2008	31,50	40,50	48,60	180,10	200,20	135,10	30,70	90,10	12,50	20,30	-	3,20	792,80
2009	40,20	60,20	111,10	85,60	120,00	150,20	48,30	98,50	30,20	2,00	0,00	5,00	751,30
2010	25,90	22,50	35,60	90,60	150,30	123,30	45,60	70,50	30,20	12,00	0,20	0,40	607,10
2011	35,80	40,30	36,50	60,30	147,20	145,20	40,20	60,80	12,30	11,20	5,60	5,30	600,70
2012	15,80	50,60	112,20	80,20	180,20	122,30	35,60	80,50	15,30	6,30	3,60	2,60	705,20
Total	901,26	1171,92	1 960,09	3474,83	3025,76	2103,30	1538,09	1697,69	828,35	319,49	48,75	73,98	
Moyenne mensuelle	31,08	41,85	70,00	124,10	104,34	75,12	56,97	60,63	30,68	12,29	2,32	2,74	612,12
Moyenne saisonnière	142,94			303,56			148,28			17,35			612,12
%	23,35			49,59			24,22			2,83			100,00

Dans le *Tableau.(II-4)* nous avons représenté les différentes précipitations moyennes annuelles.

Tableau.(II-4) : précipitation moyennes annuelles station béni Haroun.

Année	Total
1984	1066,0872
1985	635,8627
1986	869,536
1987	516,29934
1988	720,5634
1989	491,438
1990	822,1005
1991	682,0016
1992	702,18214
1993	429,56314
1994	718,7669
1995	573,5762
1996	441,7611
1997	738,06839
1998	475,72408
1999	445,36188
2000	228,09632
2001	285,17712
2002	381,805
2003	451,3122
2004	778,9
2005	641,9
2006	526,6
2007	63,7105
2008	792,8
2009	751,3
2010	607,1
2011	600,7
2012	705,2

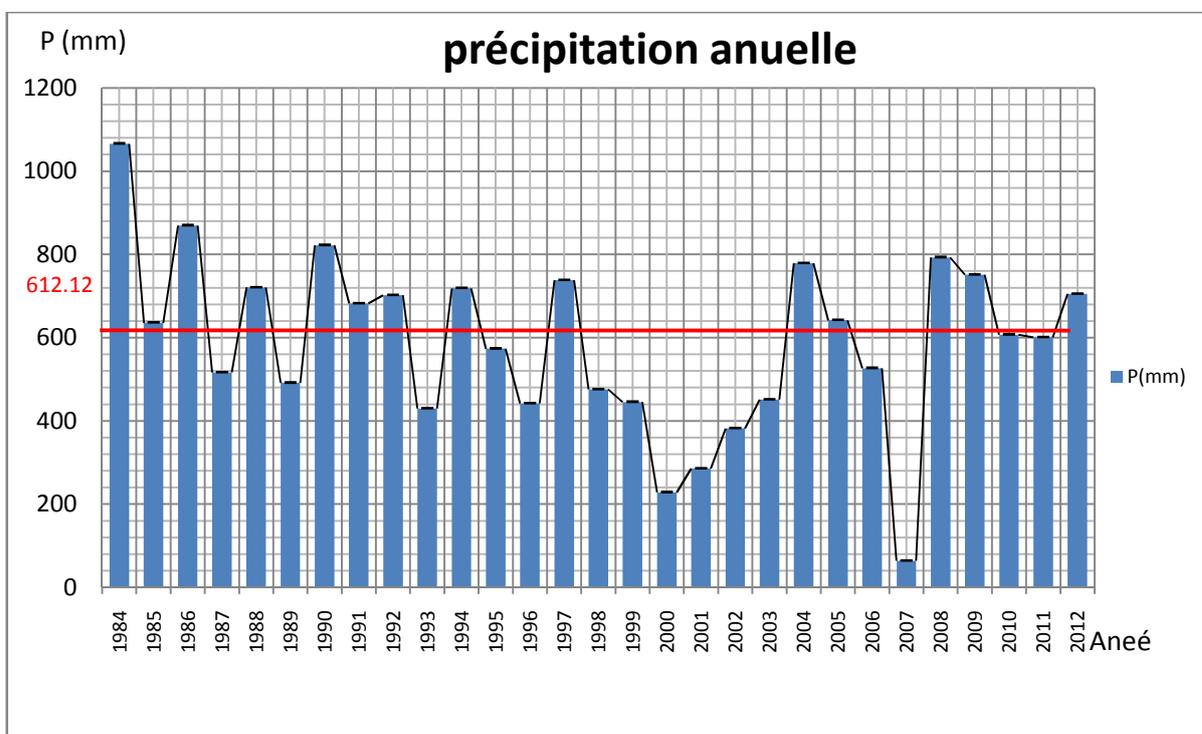


Fig.(II-4) : Histogramme de précipitation annuelle (1984 à 2012).

II.2 .1.2. précipitations moyennes mensuelles :

Dans le tableau (II -5), nous avons représenté les différentes précipitations moyennes mensuelles.

Tableau.(II-5) : précipitations moyennes mensuelles.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
Moyenne mensuelle (mm)	31,08	41,85	70,00	124,10	104,34	75,12	56,97	60,63	30,68	12,29	2,32	2,74	612,12

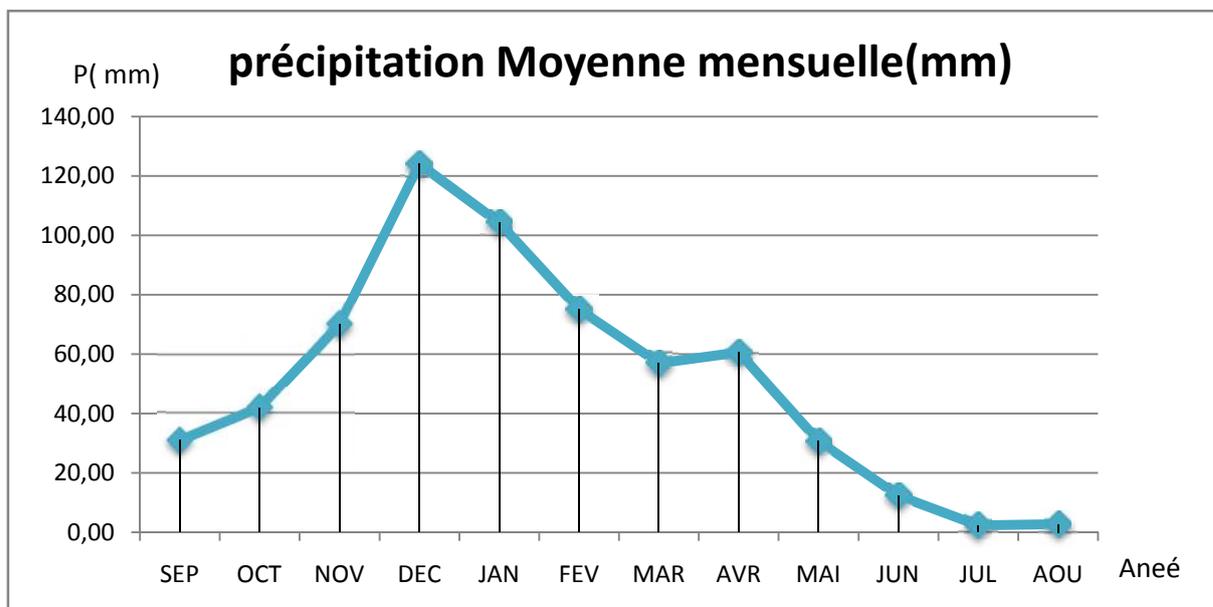


Fig.(II-5) : Courbe de distribution des précipitations mensuelles.

II.2 .1.3. La pluviométrie moyenne saisonnière:

Dans le *Tableau.*(II-6) nous représentons les différentes précipitation saisonnières.

Tableau.(II-6) précipitation saisonnière (station béni Haroun).

saisone	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Total
Moyenne saisonnière	142,94	303,56	148,28	17,35	612,12
%	23,35	49,59	24,22	2,83	100,00

Dans la Fig.(II-6) nous avons représenté en abscisse les différentes saisons, et en ordonnée les précipitations saisonnières

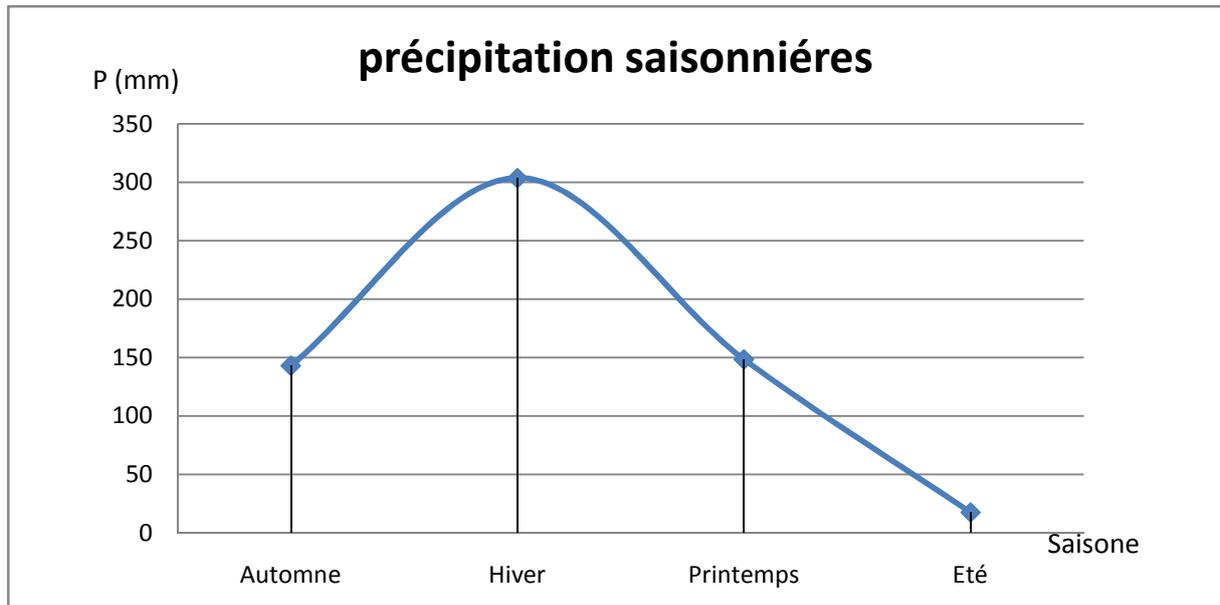


Fig.(II-6) : courbe de précipitation saisonnière

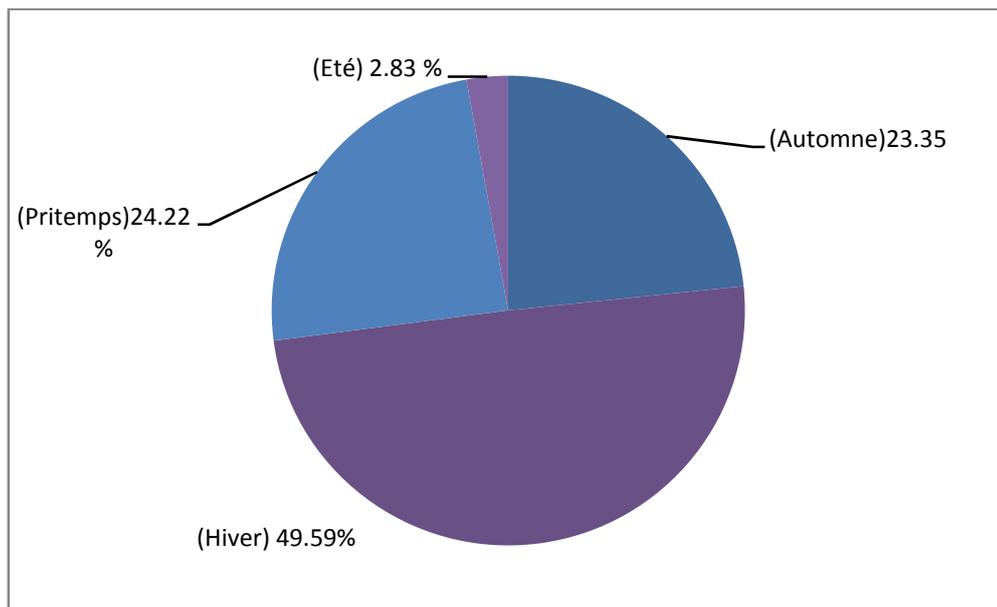


Fig.(II-7) : Pourcentage de précipitation saisonnières

II.2 .2. Etude température :

- introduction :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques

La température constitue avec les précipitations l'élément majeur qui régit le climat d'une région. Elle constitue un facteur très important qui intervient dans le calcul de l'évapotranspiration.

C'est bien évident que les contrastes importants de température (écart considérable de température) entre le jour et la nuit a un effet négatif sur le comportement des sols et des roches. En effet, les contrastes importants de température entraînent la désagrégation mécanique des roches.

L'examen des Tableaux.(II-7) montre bien que la température moyenne inter-annuelle est de l'ordre de **19.30 °C** pour la station de Beni Haroun avec les mois de juin, juillet, août et septembre, comme mois les plus chauds (avec un maximum de température au mois de juillet : **33.01°C**).

Pour les stations de Hamala et de Constantine, les données de température (*Tableaux récapitulatifs* (II-17) indiquent les résultats suivants :

- **Station de Hamala Grarem :** la température moyenne inter-annuelle est égale à **16.97°C** avec les mois de juin, juillet, août et septembre comme mois les plus chauds (avec un maximum de température égal à **30.76°C** au mois de juillet).

II.2 .2.1. Calcule la températures moyennes mensuelles :

Dans *Tableau.*(II-7) représente la série température durant 29 ans de (1984 à 2012)

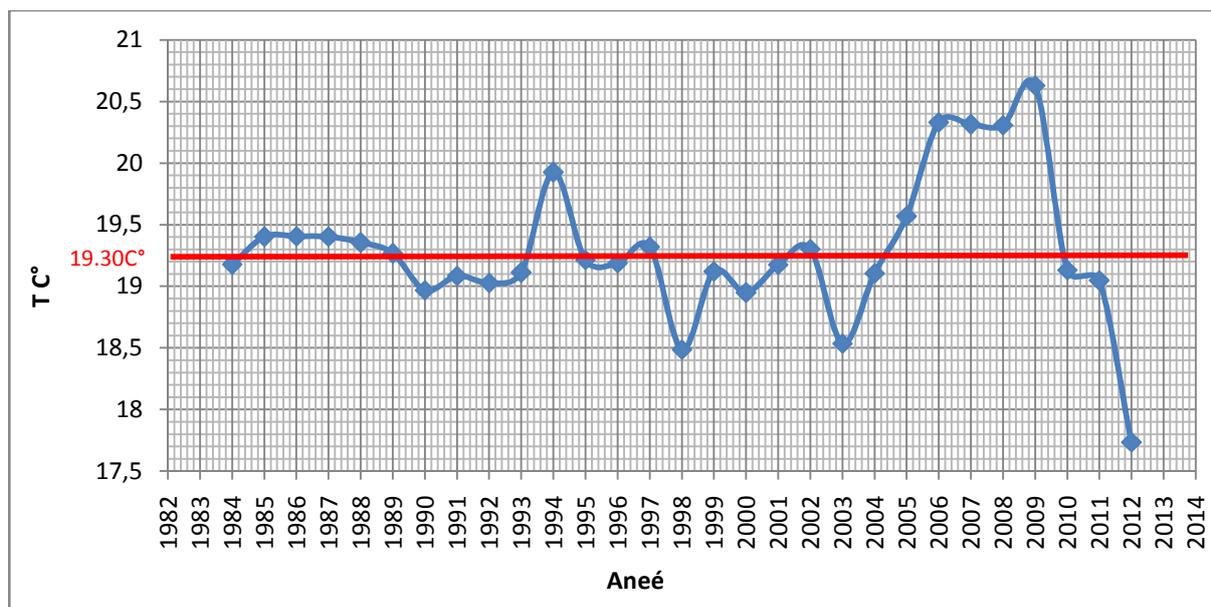


Fig.(II-8) : courbe de distribution des température annuelles station béni Haroun (1984-2012).

Tableau.(II-7): Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 1984 – 2012 (Station de Béni Haroun).

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Moyenne
1984	25,32	22,69	16,67	13,18	12,92	13,88	14,53	13,07	19,47	24,38	28,20	25,81	19,18
1985	25,32	22,75	16,77	13,15	12,30	13,77	14,51	12,97	20,73	24,58	28,90	27,06	19,40
1986	25,33	22,80	16,52	13,16	12,39	13,62	14,53	13,15	19,75	24,66	29,05	27,89	19,41
1987	25,29	22,45	16,54	13,11	12,99	12,87	14,54	13,16	20,75	24,49	28,47	28,16	19,40
1988	25,32	22,65	16,69	13,13	12,50	13,70	14,44	13,22	20,73	24,65	28,50	26,73	19,35
1989	25,33	22,63	16,52	13,08	12,39	14,03	14,44	13,20	20,31	24,51	27,84	26,91	19,27
1990	25,30	22,65	16,32	13,17	12,92	13,51	14,48	13,16	19,26	24,74	27,12	24,97	18,97
1991	25,30	22,70	16,67	13,18	12,41	12,85	14,46	13,22	20,52	24,28	27,27	26,16	19,08
1992	25,30	22,69	16,19	13,15	12,30	13,62	14,46	13,31	19,33	24,32	27,84	25,81	19,03
1993	25,30	22,71	16,51	13,05	12,53	13,81	14,35	12,41	19,40	24,58	27,77	26,91	19,11
1994	25,32	22,74	16,44	13,18	12,55	13,85	14,48	13,14	20,81	24,57	33,01	29,02	19,92
1995	25,32	22,64	16,51	13,09	12,47	13,88	14,47	12,75	20,20	24,75	28,04	26,43	19,21
1996	25,30	22,72	16,61	13,17	12,58	13,76	14,35	12,96	19,93	24,64	27,61	26,61	19,19
1997	25,33	22,75	16,39	13,09	12,89	13,51	14,40	13,26	19,39	24,56	28,33	27,95	19,32
1998	25,33	23,76	15,48	13,57	11,94	11,32	14,76	13,55	16,98	24,61	27,04	23,49	18,48
1999	25,31	22,54	15,58	13,45	11,94	8,85	14,70	13,55	23,73	24,78	25,46	29,55	19,12
2000	25,34	23,42	16,21	13,26	11,02	11,32	14,60	13,11	22,32	24,21	27,47	25,09	18,95
2001	25,30	22,57	15,96	13,08	12,10	13,17	14,48	13,25	20,28	24,31	28,98	26,61	19,17
2002	25,33	23,05	16,21	13,03	12,06	13,99	14,57	13,29	19,71	24,28	28,79	27,32	19,30
2003	25,33	23,26	16,29	13,19	11,40	11,74	14,50	13,02	18,32	24,20	27,40	23,78	18,53
2004	25,35	24,65	15,93	13,83	13,34	13,93	14,65	15,95	18,56	21,98	24,43	26,66	19,11
2005	24,92	22,57	16,61	11,83	9,77	8,91	17,97	19,30	22,19	24,76	28,43	27,56	19,57
2006	25,55	24,31	18,05	13,73	9,91	11,32	14,17	19,51	23,37	26,29	30,11	27,65	20,33
2007	26,43	21,66	15,89	11,87	13,58	14,83	14,55	17,81	21,77	25,90	29,31	30,17	20,31
2008	27,22	23,37	16,67	13,09	13,04	12,20	13,80	17,41	21,99	23,38	29,97	31,55	20,31
2009	25,73	21,86	16,90	14,73	12,64	12,33	15,40	15,41	25,52	26,84	30,07	30,11	20,63
2010	26,30	20,96	15,86	13,33	10,64	13,84	14,93	17,02	19,70	23,83	28,55	24,62	19,13
2011	25,36	22,97	15,96	13,23	12,25	11,80	14,69	13,85	19,36	23,94	27,44	27,73	19,05
2012	24,27	23,04	14,48	13,36	12,56	10,85	11,20	14,84	18,56	21,98	24,43	23,25	17,73
Moyenne mensuelle	25,43	22,81	16,33	13,19	12,22	12,79	14,53	14,27	20,45	24,45	28,13	26,95	19,30
MAX	27,22	24,65	18,05	14,73	13,58	14,83	17,97	19,51	25,52	26,84	33,01	31,55	22,29
MIN	24,27	20,96	14,48	11,83	9,77	8,85	11,20	12,41	16,98	21,98	24,43	23,25	16,70

II.2 .2.2. La variation de la température mensuelle en fonction du mois (T MAX ,TMIN , T Mensuelle) :

Le *Tableau.*(II-6) représente les températures moyennes maximales et minimales ainsi que les températures moyennes mensuelles.

Tableau.(II-8) : variation de la température mensuelle en fonction du mois (station béni Haroun)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
Moyenne mensuelle	25,43	22,81	16,33	13,19	12,22	12,79	14,53	14,27	20,45	24,45	28,13	26,95
T(MAX)	27,22	24,65	18,05	14,73	13,58	14,83	17,97	19,51	25,52	26,84	33,01	31,55
T(MIN)	24,27	20,96	14,48	11,83	9,77	8,85	11,20	12,41	16,98	21,98	24,43	23,25

L’exploration du tableau (II -8) montre que le mois le plus froid est le mois de janvier (avec **8.85** C°) et le plus chaude est le mois d’juilia (avec **33.01**°C).

La moyenne annuelle de la température est de (**19.30**°C)

Dans la Fig.(II-9) : nous avons représenté en abscisse les différents mois, et en ordonne les températures (°C)

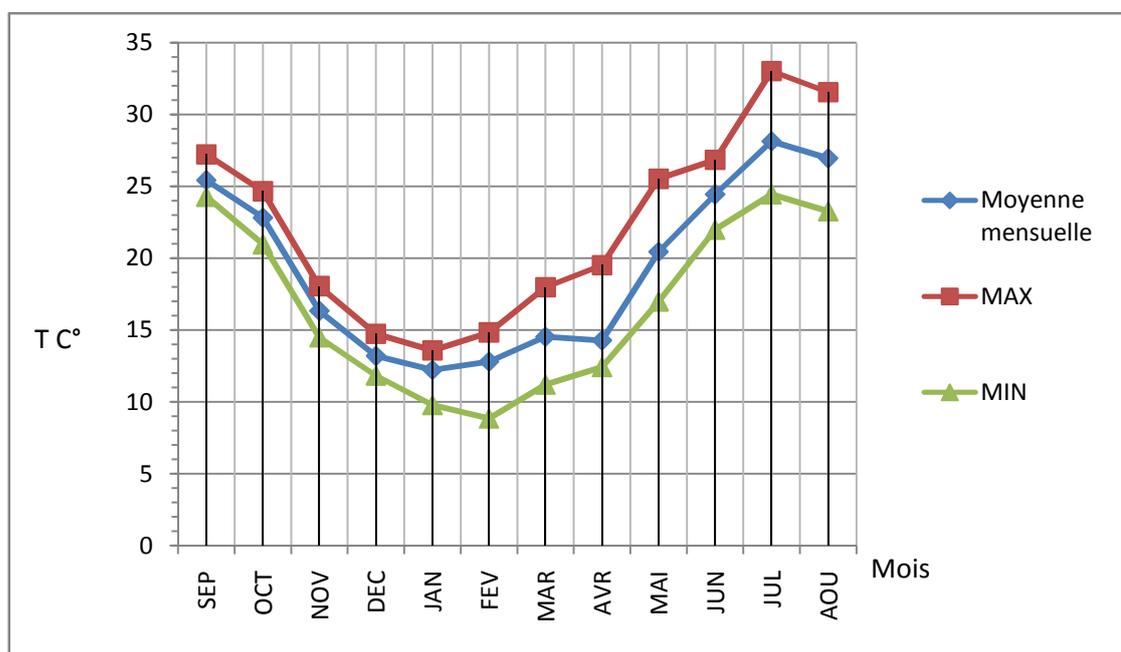


Fig.(II-9) : Courbe de distribution des température(T Min-T Max-T mensuelles)

II.2 .2. 3. la relation précipitation et température:

Tableau.(II-9) : Graphe ombro-thermique en fonction du mois (station béni Haroun)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Moyenne
P(mm)	31,08	41,85	70,00	124,10	104,34	75,12	56,97	60,63	30,68	12,29	2,32	2,74	612,12
T (C°)	25,43	22,81	16,33	13,19	12,22	12,79	14,53	14,27	20,45	24,45	28,13	26,95	19,30

II.2 .3. Graphe ombro-thermique :

D’après les graphes ombro-thermiques établis selon la règle de Gausson et Bernnoulé on constate que :

- La courbe de précipitation se situe au dessus de la courbe thermique du mois de novembre à la fin d’avril, tandis que du début de mai jusqu’à la fin d’octobre la courbe thermique se trouve au dessus de celle de la pluviométrie.
- La période sèche s’étend du mois d’avril au mois d’octobre. Cette période s’étale sur plusieurs mois secs successifs.

Un mois sec est définit selon Gauss en et Bernulet comme celui ayant un total de récipitation égale ou inférieur au double de la température moyenne du même mois ($P \leq 2T$).

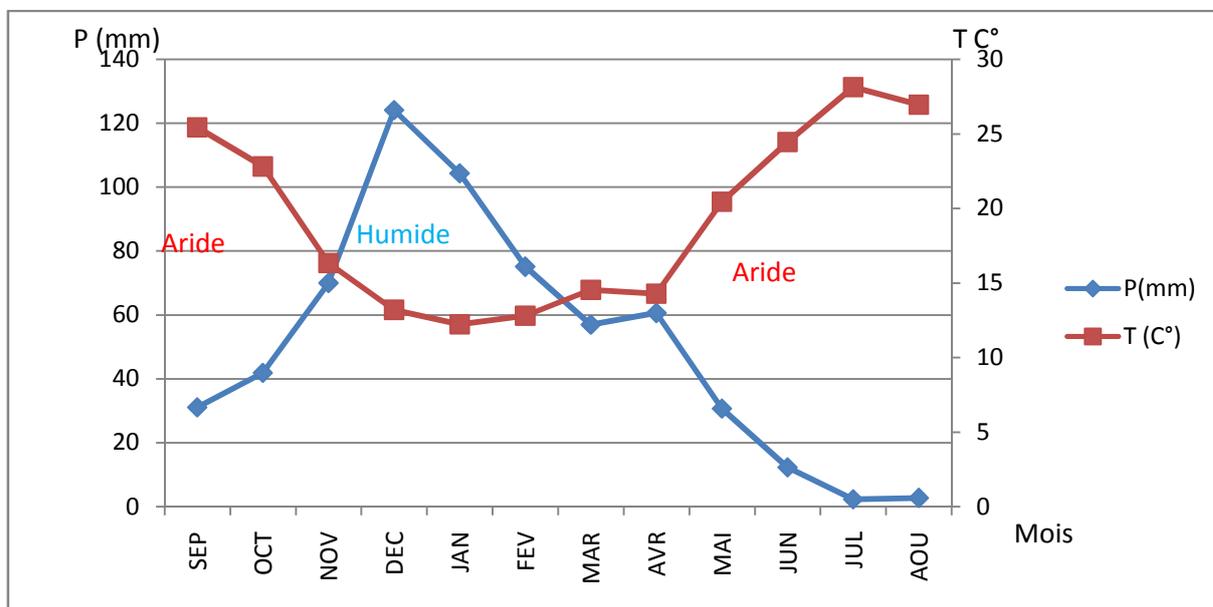


Fig.(II-10) : Graphe Ombro-thermique.

Explication de courbe dans cette tableau :

Tableau.(II-10) : tableau de climat a mois (station béni Haroun).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
P(mm)	31,08	41,85	70,00	124,10	104,34	75,12	56,97	60,63	30,68	12,29	2,32	2,74
T (C°)	25,43	22,81	16,33	13,19	12,22	12,79	14,53	14,27	20,45	24,45	28,13	26,95
R(T-P)	Aride	Aride	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Humide	Aride	Aride	Aride	Aride

Dans le *Tableau.*(II-10), nous avons remarque entre les mois (Nov à Avr) climat Humide et enter mois (Mai à Oct) climat Aride.

II.2 .4. L’indice de DEMARTONNE (aridité) :

DEMARTONNE au 1933à introduit un indice d’aridité

$$I = \frac{P}{T+10}$$

I : indice d’aridité de MARTONNE.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

D’après le tableau (I-7) nous avons trouves :

Aux différentes valeurs de *I*, correspondent des types de climats

$I < 5$: le climat est hyper-arid;

$5 < I < 7.5$: 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.

$$P = 612.12(\text{mm})$$

$$T = 19.30 (C^\circ)$$

II.2 .4.1. Pour la région de Beni Haroun :

$$I = \frac{612 .12}{10 + 19 .30} = 20 .89$$

$$I = 20.89$$

On a : $20 < I < 30$: le climat est tempéré.

Donc la région de Beni Haroun est caractérisée par un climat tempéré.

II.2 .4.1.2. La région de Hamala Grarem :

$$P = 597,96 \text{ (mm)}$$

$$T = 16,97 \text{ C}^\circ$$

$$I = \frac{597,96}{10 + 16,97} = 22,17$$

$$I = 22,17$$

Donc la région de Hamala Grarem est caractérisée par un climat tempéré.

II.2 .5. Appréciation du bilan hydrologique :**II.2 .5.1. Station béni Haroun :**

L'établissement d'un bilan hydrologique est indispensable pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. Il est donné par la formule suivante (G. Réménéras, 1980) :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

avec : P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

I : Infiltration (mm).

R : Ruissellement (mm).

Wa : variation des réserves (souvent négligeable).

II.2 .5.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP):

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques. A cet effet, Thornthwaite a établi une corrélation entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration potentielle mensuelle.

La formule utilisée pour le calcul de ETP selon Thornthwaite est donnée comme suit :

- **Méthode de THORNTWAITE :**

La formule de THORNTWAITE permet de déterminer pour chaque une évapotranspiration potentielle (ETP).

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ avec : } i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.514}$$

$$a = 0.016 \cdot I + 0.5$$

$$ETP = 1,6 \left(10 + \frac{T}{I} \right)^a$$

ETP: Evapotranspiration potentiel (cm).

T: Température moyenne annuelle (°C).

I: somme des indices thermiques mensuels de l'année.

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

Tableau.(II-11) : les indices thermiques mensuels de l'année. (station béni Haroun).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
T (C°)	25,43	22,81	16,33	13,19	12,22	12,79	14,53	14,27	20,45	24,45	28,13	26,95
i	11,73	9,95	6,00	4,34	3,87	4,15	5,03	4,89	8,43	11,06	13,67	12,81

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

$$T = 19,30 \text{ C}^\circ$$

$$I = 95.93$$

$$a = 0.016 * I + 0.5 a = 2.04$$

La formule de THORNTWAITE $ETP = 66.35(\text{mm})$

Tableau.(II-12) : Evapotranspiration potentiel (cm) . (station béni Haroun)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	total
T (C°)	25,43	22,81	16,33	13,19	12,22	12,79	14,53	14,27	20,45	24,45	28,13	26,95	19,3
i	11,73	9,95	6,00	4,34	3,87	4,15	5,03	4,89	8,44	11,06	13,67	12,81	95,94
a	0,69	0,66	0,60	0,57	0,56	0,57	0,58	0,58	0,63	0,68	0,72	0,70	2,04
ETP	123,92	98,62	48,89	31,22	26,59	29,27	38,25	36,83	78,41	114,11	153,17	139,99	66,35

II.2 .5.1.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

- Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle $ETR = ETP$.
- Si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle $ETR = \sum P_i + RFU$; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :
 - a) Si RFU antérieure est assez forte pour combler l'insuffisance de précipitation (P) ; $ETR = ETP$.
 - b) Si RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'ETR reste inférieure à celle-ci et est égale à la somme des précipitations du mois et des RFU.

- **L'évapotranspiration réelle(ETR) :**

L'évapotranspiration réelle désigne les pertes d'eau sous forme de vapeur d'eau, elle correspond à un phénomène complexe qui regroupe à la fois des processus d'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol et des processus de transpiration qui correspondent à l'utilisation de l'eau atmosphérique, et de l'eau dans l'atmosphère par les végétaux.

Le déficit d'écoulement est défini par la différence entre les précipitations et la lame d'eau écoulee à l'échelle du bassin versant. Pour permettre d'atteindre une estimation acceptable des valeurs de EVT et de déficit d'écoulement nous utilisons des méthodes empiriques.

- **Méthode de TURC :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P}{L}}}$$

ETR: évapotranspiration réelle (mm).

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

L : $300 + 25T + 0,05T^3$.

T : température moyenne annuelle (°C).

$$T = 19,30 \text{ C}^\circ$$

$$P = 612,12 \text{ (mm)}$$

Donc : $L = 1141,95$

Alors : $ETR = 412,65 \text{ (mm)}$

II.2 .5. 1.3. Calcul du bilan hydrologique pour la période :1984- 2012, Station de Beni Haroun Tableau.(II-13) :

$$I = 95.94$$

$$a = 2.04$$

$$RFU = 100 \text{ mm.}$$

1. Estimation du ruissellement (R) :

Selon Thornthwaite :

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

$$\text{avec : } P = 612.12 \text{ mm}$$

$$ETP = 919.27 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow R = \frac{(612.12)^3}{3 \cdot [919.27]^2}$$

$$\Rightarrow R = 99.92$$

$$R (\%) = \frac{R(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})}$$

$$R = \frac{99.92 \times 100}{612.12}$$

$$R = 16.32 \%$$

Donc le ruissellement représente **14.78** % des précipitations.

2. Calcul de l'infiltration (I) :

$$P = ETR + R + I + Wa$$

$$\text{Considérons : } Wa = 0$$

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - ETR - R = Ex - R$$

$$I = 612.12 - 412.65 - 99.92 = 104.58 \text{ mm}$$

$$I = 99.55 \text{ mm}$$

$$I (\%) = \frac{I(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})} I \% = 16.26 \%$$

I % = 16.26 % de précipitations

Tableau.(II-13) : Bilan hydrologique - Station de Beni Haroun (Période : 1984 - 2012).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	total
T (C°)	25,43	22,81	16,33	13,19	12,22	12,79	14,53	14,27	20,45	24,45	28,13	26,95	19,30
i	11,73	9,95	6,00	4,34	3,87	4,15	5,03	4,89	8,44	11,06	13,67	12,81	95,94
a	0,69	0,66	0,60	0,57	0,56	0,57	0,58	0,58	0,63	0,68	0,72	0,70	2,04
ETP	116,88	93,63	47,35	30,63	26,21	28,76	37,31	35,96	74,93	107,88	143,60	131,58	874,73
P (mm)	31,08	41,85	70,00	124,10	104,34	75,12	56,97	60,63	30,68	12,29	2,32	2,74	612,12
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETPc	120,39	90,82	40,72	25,73	22,80	24,45	38,43	39,56	90,67	131,61	178,06	152,63	1806,19
RFU	0,00	0,00	0,00	98,37	100,00	100,00	100,00	100,00	40,01	0,00	0,00	0,00	/
ETR	31,08	41,85	40,72	25,73	22,80	24,45	38,43	39,56	90,67	52,30	2,32	2,74	412,65
P-ETP	-89,31	-48,97	29,28	98,37	81,53	50,67	18,53	21,07	-59,99	-119,32	-175,74	-149,89	/
EXD	0,00	0,00	0,00	69,06	81,54	50,67	18,54	21,07	0,00	0,00	0,00	0,00	240,88
DA	89,31	48,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,99	119,32	175,74	149,89	643,22

II.2 .5.2. Station de Hamala Grarem :

II.2 .5.2.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP):

D'après les données de la station de Beni Haroun : $I = 80.91$ et $a = 1.79$

Tableau.(II-14) : Evapotranspiration potentiel (cm) .Station de (HamalaGrarem)

mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
T	22,76	18,24	12,64	9,68	7,99	9,81	11,94	13,93	18,76	23,12	27,36	27,44	16,97
I	9,92	7,09	4,07	2,72	2,03	2,78	3,74	4,72	7,40	10,16	13,11	13,17	80,91
a	0,66	0,61	0,57	0,54	0,53	0,54	0,56	0,58	0,62	0,66	0,71	0,71	1,79
ETP	101,92	68,55	35,58	22,06	15,63	22,60	32,13	42,33	72,11	104,76	141,68	142,39	60,27

ETP = 801.7 mm

II.2 .5.2.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

- Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle $ETR = ETP$.
- Si les précipitations du mois (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle $ETR = \sum P_i + RFU$; celle-ci est supposée mobilisée comme suit :
 - a) Si RFU antérieure est assez forte pour combler l'insuffisance de précipitation (P) ; $ETR = ETP$.
 - b) Si RFU est insuffisante pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle, l'ETR reste inférieure à celle-ci et est égale à la somme des précipitations du mois et des RFU.

ETR = 417.06 mm

II.2 .5.2.3. Calcul du bilan hydrologique pour la période :1984- 2012 Station de (HamalaGrarem)Tableau.(II-15) :

$$I = 80.91$$

$$a = 1.79$$

$$RFU = 100 \text{ mm.}$$

1. Estimation du ruissellement (R) :

Selon Thornthwaite :

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

$$\text{avec : } P = 597.96 \text{ mm}$$

$$ETP = 801.74 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow R = \frac{(597.96)^3}{3 \cdot [801.74]^2}$$

$$\Rightarrow R = 110.87$$

$$R (\%) = \frac{R(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})}$$

$$R = 18.54 \%$$

Donc le ruissellement représente **18.54** % des précipitations.

2. Calcul de l'infiltration (I) :

$$P = ETR + R + I$$

$$I = P - ETR - R$$

$$= 597.96 - 417.06 - 110.87$$

$$I = 70.03 \text{ mm.}$$

$$I (\%) = \frac{I(\text{mm}) \times 100}{P(\text{mm})}$$

$$I = 11.71 \%$$

Tableau.(II-15) : Bilan hydrologique - Station de Hamala Grarem (Période : 1984 - 2012).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN		MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	total
T	22,76	18,24	12,64	9,68	7,99	9,81	11,94	13,93	18,76	23,12	27,36	27,44	16,97
I	9,92	7,09	4,07	2,72	2,03	2,78	3,74	4,72	7,40	10,16	13,11	13,17	80,91
a	0,66	0,61	0,57	0,54	0,53	0,54	0,56	0,58	0,62	0,66	0,71	0,71	1,79
ETP	101,92	68,55	35,58	22,06	15,63	22,60	32,13	42,33	72,11	104,76	141,68	142,39	60,27
P	34,42	44,30	71,32	121,34	104,32	73,37	56,48	62,21	32,35	12,48	2,12	4,18	597,96
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETPc	104,98	66,50	30,60	18,53	13,60	19,21	33,10	46,56	87,25	127,81	175,68	165,17	888,98
P-ETP	-70,56	-22,20	40,72	102,80	90,73	54,15	23,38	15,64	-54,89	-115,33	-173,56	-160,99	/
RFU	0,00	0,00	40,72	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	45,11	0,00	0,00	0,00	/
ETR	34,42	44,30	40,72	18,53	13,60	19,21	33,10	15,64	87,25	57,59	2,12	4,18	417,06
EXD	0,00	0,00	30,60	102,81	90,72	54,16	23,38	46,57	0,00	0,00	0,00	0,00	180,90
DA	70,56	22,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,22	173,56	160,99	497,53

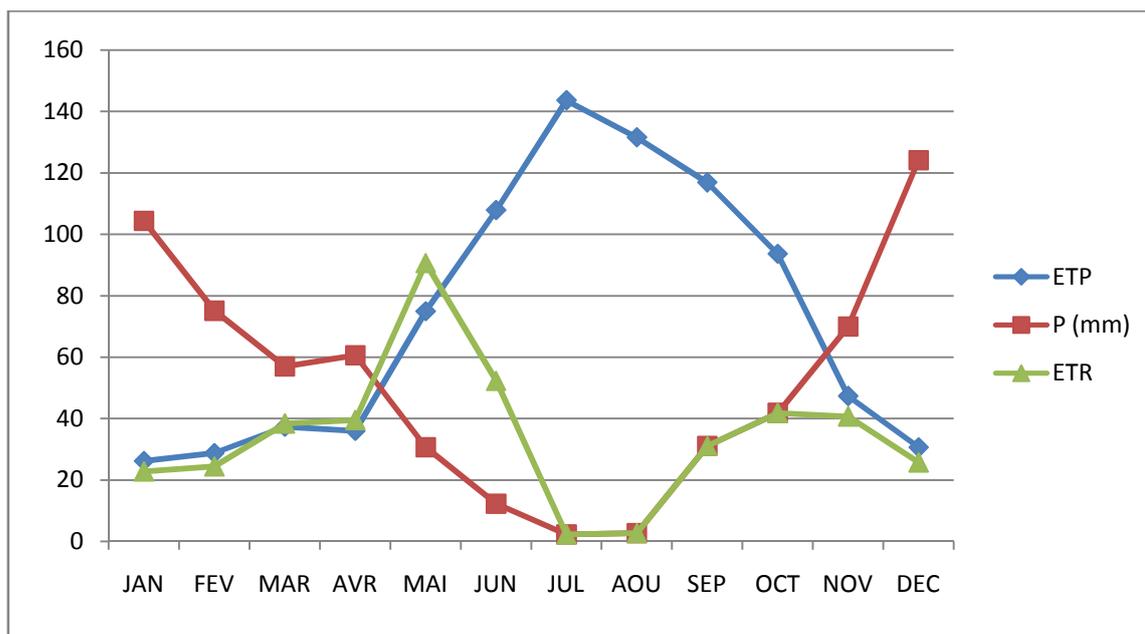


Fig.(II-11) : Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période 1984 – 2012 (Station de beniharoun)

II.2 .5.3. Interprétation du bilan hydrologique :

L'examen des données récapitulées dans les tableaux précédents et les résultats donnés par les graphiques des bilans hydrologiques permet d'en déduire les résultats suivants :

3. Les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre (période durant laquelle l'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son minimum). Cette dernière atteint son maximum au cours de la période sèche plus précisément au mois de juillet.
4. L'allure de la courbe représentant l'ETP donne une meilleure symétrie que celle des précipitations. Ceci peut être expliqué par l'homogénéité de ETP durant l'année, qui est due au fait qu'elle est en fonction de la température suivant une loi normale, par contre les précipitations sont hasardeuses et irrégulières d'un mois à un autre ou d'une année à l'autre.
5. L'excédent d'eau est enregistré du mois de novembre au mois d'avril. L'augmentation du volume d'eau durant cette période (saturation du sol) dont le pourcentage de l'infiltration au niveau du station de Beni Haroun est de l'ordre de **16,26 %** rend l'instabilité du versant la plus grande.
6. Le déficit agricole s'étend sur la période sèche de l'année où un épuisement des réserves est observé.
7. La recharge du sol en eau commence à partir de la mi-octobre jusqu'à la mi-novembre. Les réserves sont saturées et les demandes pour l'irrigation sont satisfaites.

Tableau.(II-16) : les différences des caractéristiques du bilan hydrologique pour deux stations

SYMBOLES	STATION		Différence	MOYENNE	UNITES
	BENI HAROUN	HAMALA			
P	612,12	597,96	14,16	605,04	mm
T	19,3	16,97	2,33	18,135	C°
ETP	874,73	801,74	72,99	838,235	mm
ETR	412,65	417,06	- 4,41	414,855	mm
I	99,55	70,03	29,52	84,79	mm
R	99,92	110,87	-10,95	105,395	mm

Conclusion :

Les données hydro climatiques du bassin versant de Beni Haroun laissent apparaître que la région est caractérisée par un climat tempéré, marqué par des précipitations importantes. Ces précipitations jouent un rôle primordial dans l'accélération des mouvements de terrains surtout que **16,26 %** des eaux de précipitations s'infiltrent dans le sous sol et atteignent les argiles marneuses à gypse et engendrent la diminution de leurs caractéristiques mécaniques (c et ϕ).

L'eau et le contraste thermique sont deux facteurs qui jouent un rôle important dans la désagrégation mécanique et chimique des roches de la région étudiée. Cette désagrégation modifie considérablement les caractéristiques mécaniques des roches. De plus, l'accumulation des eaux au niveau des surfaces de discontinuités (fissures, joints de stratification, diaclases...etc.) peut déclencher le ripage des bancs rocheux, ainsi que l'ouverture de discontinuités préexistantes.

L'infiltration est très importante, elle est de l'ordre de **99,95 mm**. Elle joue un rôle très important dans l'instabilité du site, car d'une part les eaux d'infiltration saturent rapidement les terrains de couverture argileuse et lubrifient la surface de contact entre les argiles rouges quaternaires et les couches d'argiles marneuses sous jacentes plus imperméables et souvent encroûtées, ce qui favorise l'apparition de surface de glissement, d'autre part, la circulation des eaux d'infiltration le long des couloirs des grands accidents tectoniques fragilise les formations néogènes. En effet, la circulation des eaux le long des zones de faiblesse provoque la dissolution des roches solubles (carbonates, gypse et sel) et un intense soutirage de particules solides très fines (argiles), aboutissant à la désolidarisation des éléments détritiques dans le cas des formations conglomératiques et à la création des vides dans le cas des formations argilo-marneuses gypsifères, ce qui conduit à des effondrements et/ou affaissements en profondeur, accompagnés en surface par des déplacements en masse si la topographie est favorable.

A tout cela s'ajoute le rôle du ruissellement superficiel, surtout en cas de fortes crues ce qui attaque le pied du versant et par conséquent le déclenchement de leur instabilité.

Chapitre III

Hydro chimie

Introduction :

L'étude hydrochimique a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux et leur potabilité, de suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et de déterminer leurs origines géologiques.

le développement de la végétation sur les affleurements des massifs carbonatés. Autrement dit le sol n'est pas assez développé pour jouer le rôle de producteur de gaz carbonique, agent principal dans le phénomène de dissolution des calcaires. Dès que l'eau de pluie pénètre dans le sol, elle se trouve en contact de différents gaz ayant une solubilité proche, tels que N₂, O₂, H₂, He, CO₂, NO₃ (H.Schoeller, 1959).

Les eaux commencent à dissoudre différents minéraux et roches tels que, le gypse (Ca SO₄ 2H₂O), l'anhydrite (Ca SO₄), les calcaires (CaCO₃), la dolomie (Ca Mg (CO₃)₂), le sel gemme (Na Cl) ; avec des coefficients de solubilité différents. Dans la zone aérée se produit une oxydation des sulfures et d'autres oxydes ferreux ou manganoux. Donc, d'autres acides prennent naissance suite à ces réactions chimiques tels que: l'acide sulfurique, résultant de l'oxydation des sulfures, acide nitrique provenant de la nitrification. Ces acides jouent un rôle non négligeable à coté de l'acide carbonique résultant de la dissolution du gaz carbonique provenant de l'atmosphère ou des sols cultivables et de la matière organique, dans l'attaque chimique.

L'étude hydrochimique a porté sur l'analyse et l'interprétation de 7 campagnes hydrochimiques (juillet2012 jusqu'à janvier 2013) des eaux superficielles. Dans la région étudiée, le terrain naturel contient des sels plus ou moins solubles, certains minéraux s'altèrent au contact de l'eau. Ainsi le chimisme des eaux de surface dépend essentiellement de la composition géologique des milieux traversés et du temps de séjours. Dans ce chapitre, on va étudier la qualité chimique des eaux superficielles du bassin versant de Beni haroun fin de comprendre le mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux des oueds. Pour atteindre ce but nous nous sommes intéressés aux relations éventuelles pouvant exister entre les précipitations et les éléments chimiques.

Les dosages des éléments chimiques ont été effectués au laboratoire de chimie des eaux de l'I.S.T de Constantine et ont porté aussi bien sur les éléments majeurs(Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻),. Trois méthodes d'analyses ont été utilisées : Dosage Titri métrique, Dosage Chloro métrique et Dosage par Spectrométrie d'absorption atomique. Sur terrain nous avons pris les paramètres physiques tel que : T°C, pH et la Conductivité électrique.

III.1. Matériel et Méthodes :

Les prélèvements sont effectuées selon une répartition et une fréquence différente d'un site à un autre, qui dépend de la nature des eaux et de type de formation géologiques, les eaux de surface sont échantillonnées en 2 stations positionnées au niveau des points : dans l'oued Rhumel et oued ElKebir.

Une analyse complète des éléments chimiques a été effectuée pour cette étude, les éléments majeurs (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--}), $T^\circ\text{C}$, pH et la Conductivité électrique. Environ 27 échantillons ont été analysés au total.

Les échantillons d'eau pour chaque prélèvement ont été conservés dans deux flacons. Le premier est acidifié à un $\text{pH} < 2$ à l'aide de l'acide nitrique pur, destiné à l'analyse des cations. Le deuxième flacon n'a subi aucun traitement et a été destiné à l'analyse des anions. On note que toutes les eaux ont été filtrées à $45 \mu\text{m}$ à l'aide des filtres seringues stériles (SFCA). La conductivité électrique (C.E.) et le pH, ont été mesurés in situ à l'aide d'un appareil portatif type Multiline P4 de la marque WTW. La précision respective avec laquelle ont été pris ces paramètres est $\pm 1\%$ et ± 0.01 .

Les dosages des éléments chimiques ont été effectués au laboratoire de chimie des eaux de l'I.S.T de Constantine, Trois méthodes d'analyses ont été utilisées : Dosage Titrimétrique, Dosage Chlorométrique et Dosage par Spectrométrie d'absorption atomique.

Le dosage des bicarbonates a été effectué par titrimétrie, le reste des anions par spectrophotomètre type Photolab Spectral de marque WTW alors que les cations majeurs ont été déterminés soit par absorption atomique à flamme type Perkin Elmer, 1100B soit par titrage potentiométrique.

Tableau (III) : Méthodes utilisées pour déterminer les paramètres des eaux de surface.

Parameters	Méthodes utilisées
Chloride (as Cl in mg/l)	Argentometric titration
Carbonate (as CO_3 in mg/l)	Titrimétrie
Carbonate (as CO_3 in mg/l)	Titrimétrie
Carbonate (as CO_3 in mg/l)	Titration
Carbonate (as CO_3 in mg/l)	Titration
Sodium (as Na in mg/l)	méthode Flamme photométrique
Potassium (as K in mg/l)	méthode Flamme photo métrique
Sulphate (as SO_4 in mg/l)	méthode Spectro-photométrique
Nitrate (as NO_3 in g/l)	méthode Spectro photo métrique



Photo. (01) : Oued Kebir (station 2)



Photo.(02) : Oued Rhumel (station 1)

Tableau (III.01): Caractéristiques des points de prélèvement

N°	Symbole de la station	Coordonnées Lambert			Lieu de prélèvement
		X	Y	Z (m)	
01	S01	884550	367550	315	Oued Rhumel
02	S02	870100	366400	310	Oued El kebir

Tableau (III.02): Teneurs moyennes des éléments chimiques

paramètres	T (C°)				Ca (mg/l)				Cl (mg/l)			
	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET
O.Rh (S1)	6,5	23	13,42	6,41	96,19	174,7	143,04	25,69	53,25	88,75	65,44	11,18
O.K (S2)	5,5	23	15,04	7,66	60,12	72,14	65,61	4,1	17,75	49,7	30,88	9,83
	pH				Mg (mg/l)				SO4 (mg/l)			
O.Rh (S1)	6,9	7,7	7,42	0,25	11,69	137,3	102,58	37,68	187	239	221,92	15,54
O.K	7,3	7,9	7,65	0,21	43	59,28	48,98	4,58	142	182	166,23	11,35
	CE				Na (mg/l)				HCO3 (mg/l)			
O.Rh (S1)	654,72	1215	1005,49	188,55	40,8	59,9	52,29	7,16	283,04	494,1	383,38	58,76
O.K (S2)	455	622,37	546,32	57,99	28,24	36,2	30,61	2,08	197,64	257,9	235,98	19,73
	TDS				K (mg/l)				NO3 (mg/l)			
O.Rh (S1)	450	890	573,42	232,26	9,32	11,98	10,39	0,69	0,2	0,7	0,42	0,22
O.K (S2)	510	1040	920,83	144,12	8,33	10,73	9,47	0,63	0,2	0,8	0,55	0,2

III.3 . Analyse des éléments majeurs :

L'examen du tableau 3 montre plusieurs corrélations significatives

On remarque que la conductivité est du aussi bien liée aux évaporitiques (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) qui aux formations carbonatées (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^-).

La présence de ces éléments est due à la dissolution des évaporites tel que NaCl , KCl , $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$, et des carbonates tel que CaCO_3 , $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$.

Le calcium a une double liaison, la 1^{ère} avec les éléments carbonatés Mg et HCO₃ et la seconde avec les éléments salifères. Cette liaison suggère une double origine qu'on pourra discuter plus bas.

De même que le magnésium, il semble aussi une deux liaison, l'une carbonatée et l'autre salifère ce qui pourrait suggère également une double origine comme pour le calcium.

Les éléments salifères (Na, K, Cl, So₄) semblent bien corrélés avec les bicarbonates (Ca, Mg, HCO₃).

Le débit a une seule corrélation significative avec la température mais cette relation est même l'écoulement n'apparaît qu'en période de hautes eaux où la température est faible et inversement.

Tableau(III.03): Matrice de corrélation entre les éléments chimiques pour un seuil de 5 % :

	T	pH	Cond	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	Q _{Mé}
T	1											
pH	0,311	1										
Cond	0,125	-0,306	1									
Ca	0,018	-0,438	0,956	1								
Mg	0,119	-0,378	0,836	0,865	1							
Na	-0,046	-0,097	0,561	0,572	0,519	1						
K	-0,036	-0,066	0,37	0,387	0,293	0,671	1					
Cl	0,259	-0,11	0,87	0,818	0,737	0,552	0,368	1				
SO4	0,042	-0,193	0,81	0,782	0,607	0,525	0,5	0,764	1			
HCO3	0,079	-0,317	0,872	0,882	0,794	0,506	0,367	0,826	0,711	1		
NO3	0,019	0,272	-0,111	-0,143	-0,225	-0,134	0,316	-0,113	-0,016	-0,098	1	
Q _{mé}	-0,64	-0,015	-0,178	-0,117	-0,12	0,01	-0,152	-0,209	-0,115	-0,108	-0,015	1

III.4. Etude des paramètres Physico-chimiques :

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination des l'états chimiques des polluants existants dans l'eau. Quatre paramètres ont été étudiés : La température (T°), le potentiel d'hydrogène (pH), la minéralisation et la conductivité électrique.

III.4.1. La Température :

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux. En effet, elle joue un rôle important dans la solubilité des sels dissouts et dans l'activité chimique.

Les mesures effectuées sur terrain à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué de -10° à 100° C, on montré que la température des eaux varie entre 5.5°C et 25°C sur l'ensemble de la zone d'étude. Cette variation est fonction de la température de l'air et des saisons Tableau.2 Suivi, pendant l'été la température varie entre 19 et 25°C alors qu'en hiver elle chute jusqu'à 5°C.

III.4.2. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau est défini par la concentration des ions (H⁺) contenues dans la solution. Par définition, le pH est le log décimal de l'inverse de cette concentration totale :
$$\text{pH} = \text{Log} \left[\frac{1}{H^+} \right].$$

Ce paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau naturelle est lié aux terrains traversés.

Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'anhydride carbonique, l'alcalinité et la température

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Habituellement il varie entre **(6,9 et 7,7)** pour station (1) .et entre **(7,3 et 7,9)** pour station(2) Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons **fig .(III.02)**

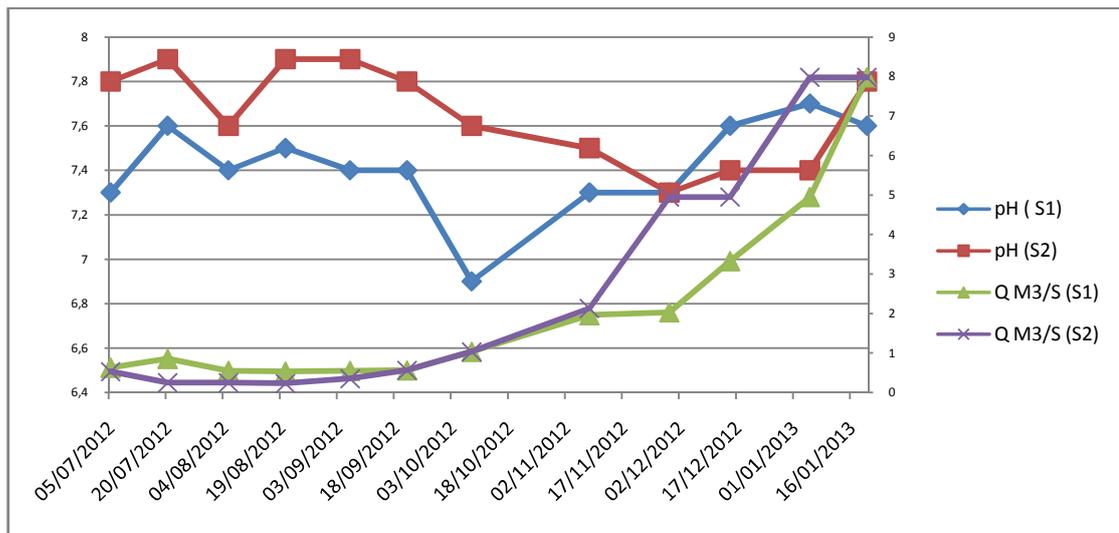


Fig.(III.02) : Évolution des valeurs du pH au niveau de deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013)

III.4.3. La Conductivité Électrique :

Elle traduit la propriété qu'a l'eau de laisser passer le courant électrique. La conductivité augmente avec la concentration des ions en solution, elle permet donc une estimation de la minéralisation des eaux. La mesure de ce paramètre a été faite pour l'ensemble des points de prélèvement à l'aide d'un conductimètre et les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 20°C.

Les valeurs de ce paramètre montrent que tous les points d'eaux pendant notre campagne restent inférieures à la norme recommandée pour les eaux destinées à alimentation en eau potable ou pour les eaux d'irrigation. Les faibles valeurs ont été enregistrées pendant la période des hautes eaux, suite aux apports pluvieux qui diluent les concentrations, par contre à la période des basses eaux, les conductivités atteintes des valeurs extrêmes, pour la station S2, elle draine les terrains fortement salés liés au Trias. **fig .(III.03)**

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très Approximativement la minéralisation globale de l'eau

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm. L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante, dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres.

Tableau(III.04): Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique.

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
CE < 100 $\mu\text{s/cm}$	minéralisation très faible
100 <C.E< 200 $\mu\text{s/cm}$	minéralisation faible
200 <C.E< 333 $\mu\text{s/cm}$	minéralisation moyenne
333 <C.E< 666 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
666 <C.E< 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation importante
C.E> 1000 $\mu\text{s/cm}$	Minéralisation élevée

Tableau(III.05): Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.

Conductivité électrique (exprimée en $\mu\text{s/cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	excellente
400 à 750	bonne qualité
750 à 1500	médiocre mais eau utilisable
> à 1500	minéralisation excessive

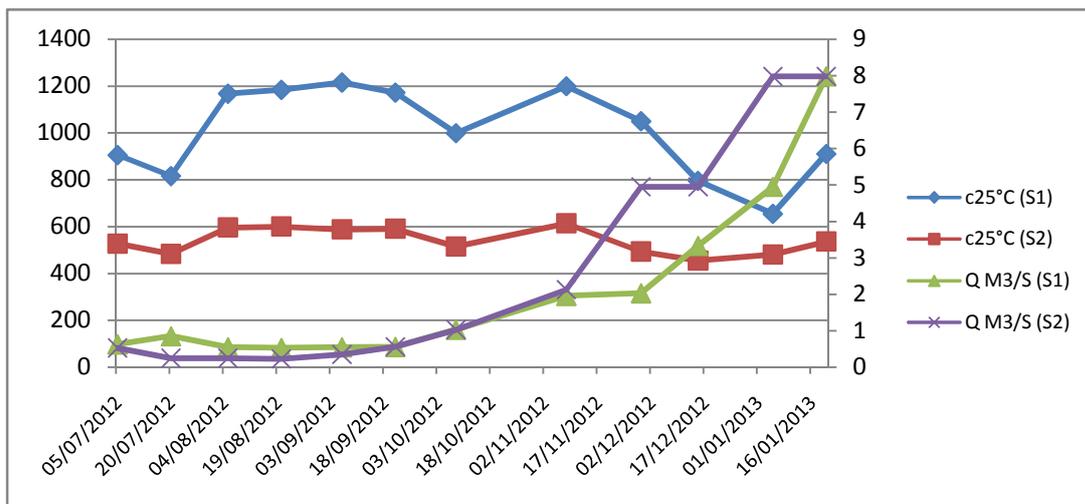


Fig.(III.03) : Évolution de la conductivité en $\mu\text{S/cm}$ au niveau de deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013).

III.5. Les éléments chimiques :

III.5.1. Les éléments majeurs :

III.5.1.1. Les cations :

III.5.1.1.1. Le calcium (Ca^{++}) :

Il résulte de la dissolution des carbonates en présence du gaz carbonique dans l'eau. Selon le processus suivant :



Le calcium peut provenir également de la dissolution du gypse (CaSO_4) $_2$ (H_2O). Les résultats obtenus des tous les prélèvements sur les cinq stations sont présentés sur le tableau 2.

Ce tableau montre que tous les échantillons présentent des concentrations inférieures aux normes de potabilité des eaux, alors que leurs évolutions dans le temps montre une concentration en période des basses eaux suivi par un phénomène de dilution en période de hautes eaux, **fig (III.04)** Ce phénomène est beaucoup plus visible au niveau de la station S1, drainent les facteurs salés du Trias. On remarque en général que l'évolution du débit se fait d'une manière inverse avec les teneurs au niveau de la station S1 car la station de jaugeage des débits se trouve juste à l'aval de cette dernière.

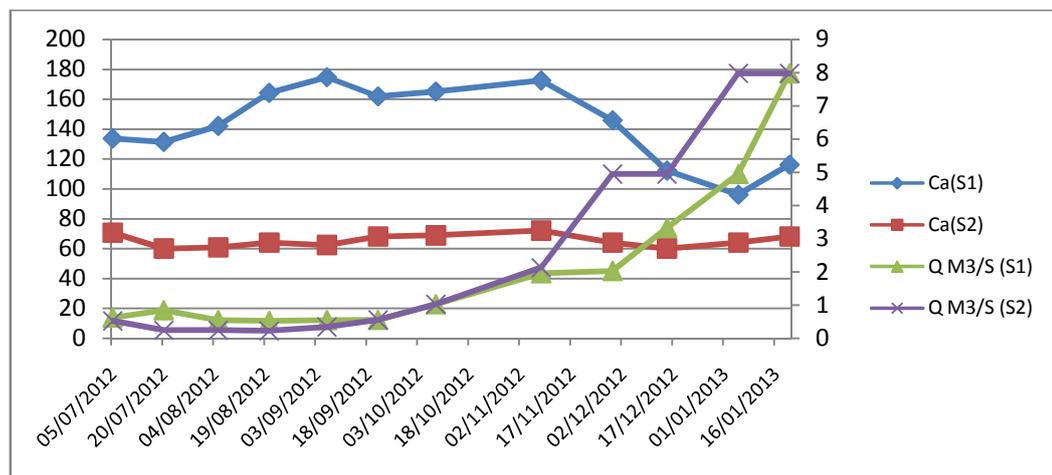
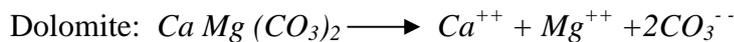
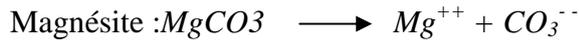


Fig.(III.04) :Evolution des teneurs du calcium aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013)

III.5.1.1.2. Le magnésium (Mg⁺⁺) :

La mise en solution de cet ion dans l'eau prend beaucoup de temps, il provient de la dissolution des roches magnésiennes et dolomitiques, il provient aussi des formations métamorphiques tel que les micaschistes. Le processus de dissolution se fait selon la formule suivante :



Les concentrations observées au niveau des différents points de prélèvement sont présentées dans le tableau 2.

L'évolution des teneurs de magnésium est identique à celle du calcium. Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau de la station 1, mais elles restent toujours sous la norme de potabilité. Cette différence est due à la présence des formation dolomitiques de la station 1 **Fig .(III.05)**

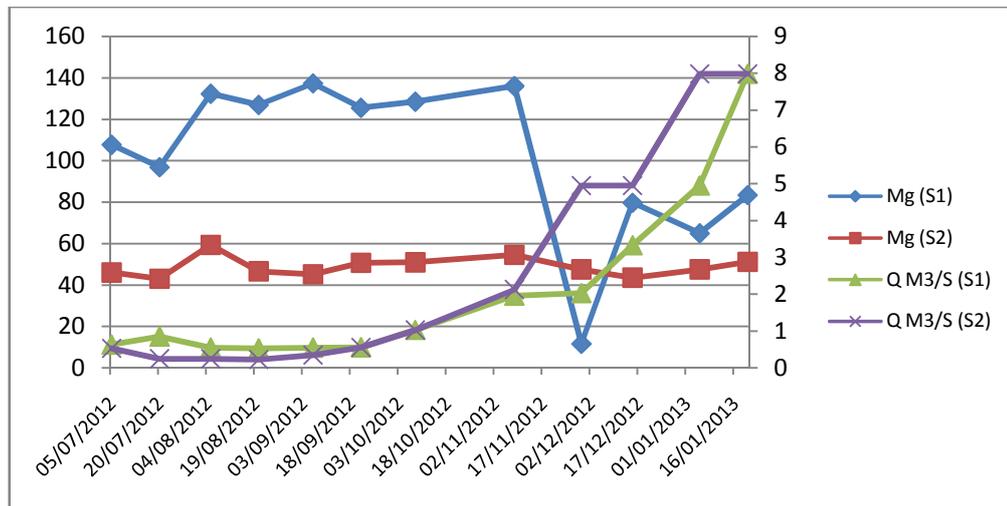


Fig.(III.05) : Évolution des teneurs du magnésium au deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013)

III.5. 1.1.3. Le sodium (Na⁺) :

Le sodium provient du lessivage des formations riches en NaCl, des formations argileuses, argilo-marneuses et des rejets des eaux usées d'origine domestique.

Pour les eaux de bonne qualité chimique, la teneur en sodium doit être inférieure à 100 mg/l, l'existence de cet élément dans la région est liée à la dissolution des formations triasiques à l'amont qui peuvent contenir des évaporites. Tableau.2.

L'analyse de la **fig. (III.06)** montre que les teneurs en sodium présentent des valeurs inférieures aux normes de potabilité., traduisant un apport pendant la période de crue. Ce ci peut être dû à des lâchés par des station de traitement. Profitant des forts débits pour dissimuler leurs rejets trop chargés. On remarque en général que l'évolution du débit se fait d'une manière inverse avec les teneurs au niveau de la station S1.

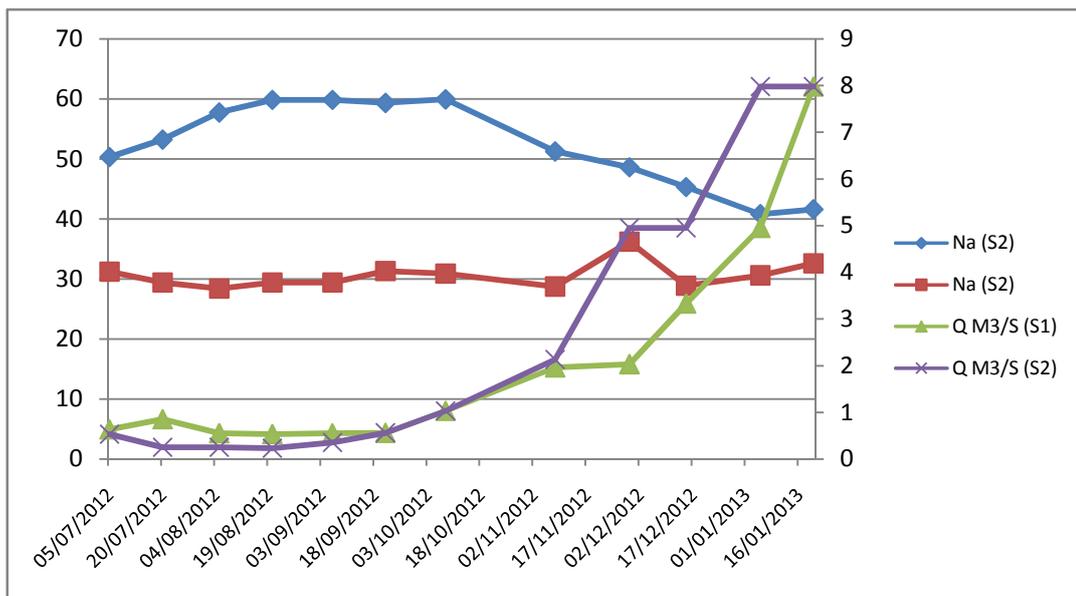


Fig.(III.06) : Evolution des teneurs de sodium aux deux points de prélèvement (Juillet 2012- Janvier2013)

III.5. 1.1.4. Le potassium (K^+) :

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Ce minéral est caractérisé par son alcalinité et sa radioactivité. Tableau 2.

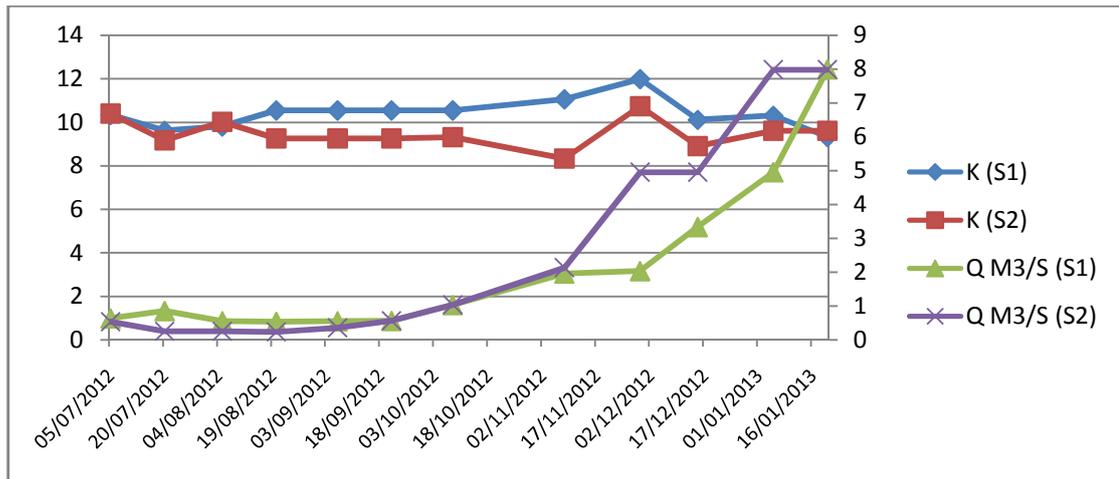


Fig.(III.07) : Evolution de la teneurs du potassium aux différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013)

Les concentrations observées au niveau des tous les points de prélèvement montrent des teneurs inférieures aux normes, mais nous constatons que les valeurs sont relativement proches, On remarque en général que l'évolution du débit se fait d'une manière inverse avec les teneurs au niveau de la station S1 .

III.5. 1.2. Les anions :

III.5. 1.2.1. Les chlorures (Cl^-) :

La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau. Généralement les chlorures rencontrés dans les eaux proviennent essentiellement de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salés, de l'utilisation des engrais et les rejets des eaux d'origine industrielle et domestique. Tableau2.

Les résultats d'analyse montrent que toutes les teneurs sont très inférieures à la norme de l'OMS. Dans la majorité des cas les valeurs sont inférieures à 100mg/l, **Fig.(III.08)** . On assiste à une concentration pendant la période de basses eaux et une dilution pendant la période des hautes eaux. On remarque également ici que la station S1 se démarque des restes des stations. On remarque en général que l'évolution du débit se fait d'une manière inverse avec les teneurs .

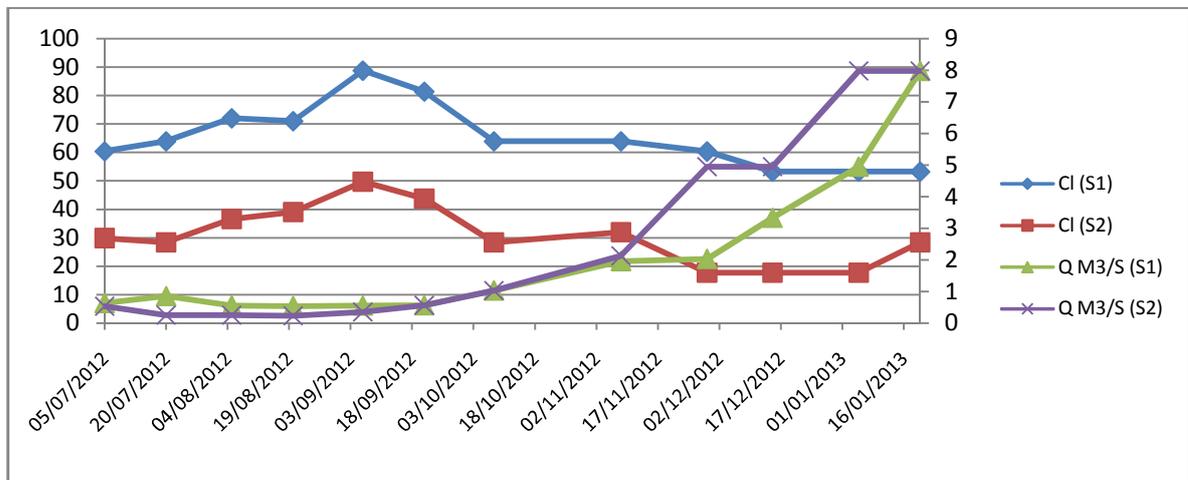


Fig.(III.08) : Évolution des teneurs des chlorures aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013)

III.5. 1.2.2. Les sulfates (SO₄²⁻) :

Les sulfates sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion très variable. L'eau de pluie peut en fournir des quantités importantes par oxydation dans l'atmosphère de l'anhydrite sulfureuse lors de la combustion du charbon et du pétrole, ou par le lessivage des terrains argileux et marneux. Les concentrations observées sont indiquées dans le tableau 2.

Les concentrations observées montrent des teneurs inférieures aux normes de l'OMS, alors que les valeurs des teneurs au niveau de la station S1 montre des valeurs supérieures à celles des stations aval suite a des phénomènes de dilutions. **Fig.(III.09)** . On remarque en général que l'évolution du débit se fait d'une manière inverse avec les teneurs au niveau de la station S1 .

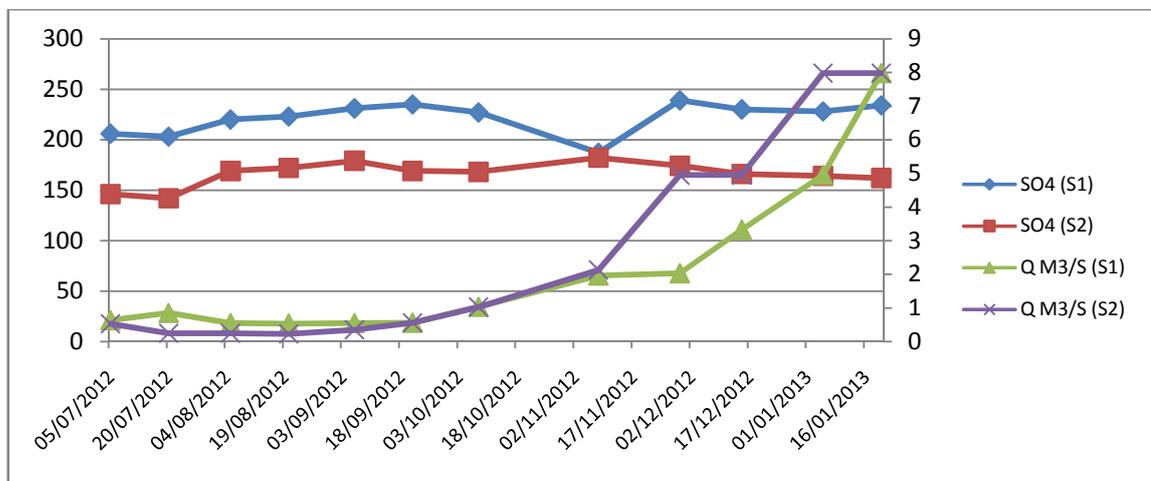


Fig.(III.09) : Evolution des teneurs des sulfates aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2013)

III.5. 1.2.3. Les bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique (CO₂), selon l'équation générale :



La concentration des eaux en HCO₃⁻ est fonction de la lithologie des terrains traversés (calcaire, dolomite), du pH de l'eau, de la tension de CO₂ et de la température de l'eau.

Les concentrations observées sont indiquées dans le tableau 2.

Les plus grandes valeurs sont enregistrées au niveau de la station S1 (494,1mg/l). En période de basses eaux, ces valeurs sont plus fortes et deviennent de plus en plus faibles lorsqu'on se rapproche de la cuvette, suite à une dilution, Fig (III.10) .

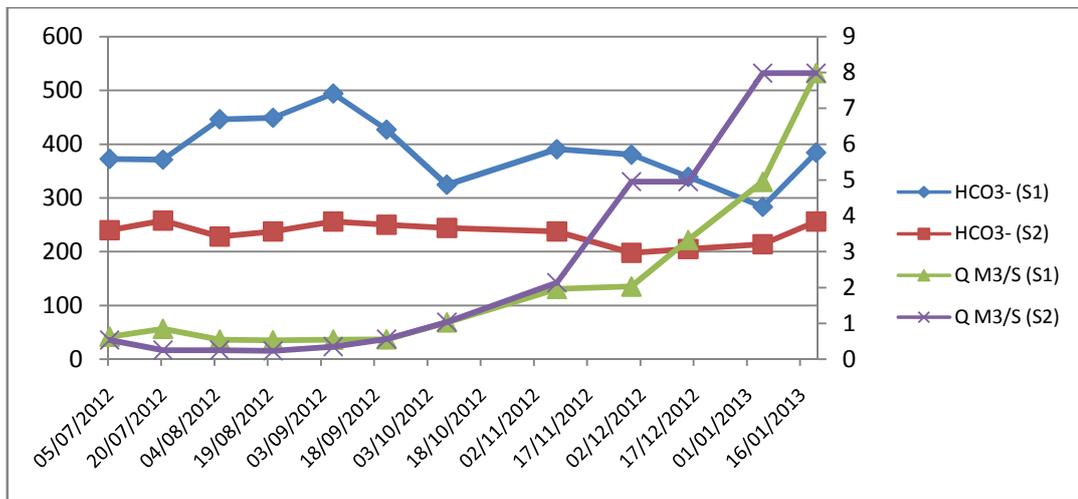


Fig.(III.10) : Evolution de la teneur des bicarbonates aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier2014)

On remarque que la station S1 se démarque toujours du reste des stations. On remarque en général que l'évolution du débit se fait d'une manière inverse avec les teneurs au niveau de la station S1 .

III.5.1.2.4. Les nitrates (NO₃⁻) :

Les nitrates sont des ions naturels présents partout dans l’environnement. Ils sont le produit de l’oxydation de l’azote (qui représente 78% de l’atmosphère) par les microorganismes dans les plantes.

Le nitrate est la forme oxydée de l’azote qui est la plus stable, mais il peut être réduit en nitrite, modérément réactif, par action microbienne. Le nitrate étant un sel très soluble dans l’eau, très mobile dans le sol ; pénètre dans la nappe phréatique lorsque sa quantité dépasse ce que les plantes peuvent utiliser. Les résultats des analyses des nitrates sont mentionnés au tableau 2.

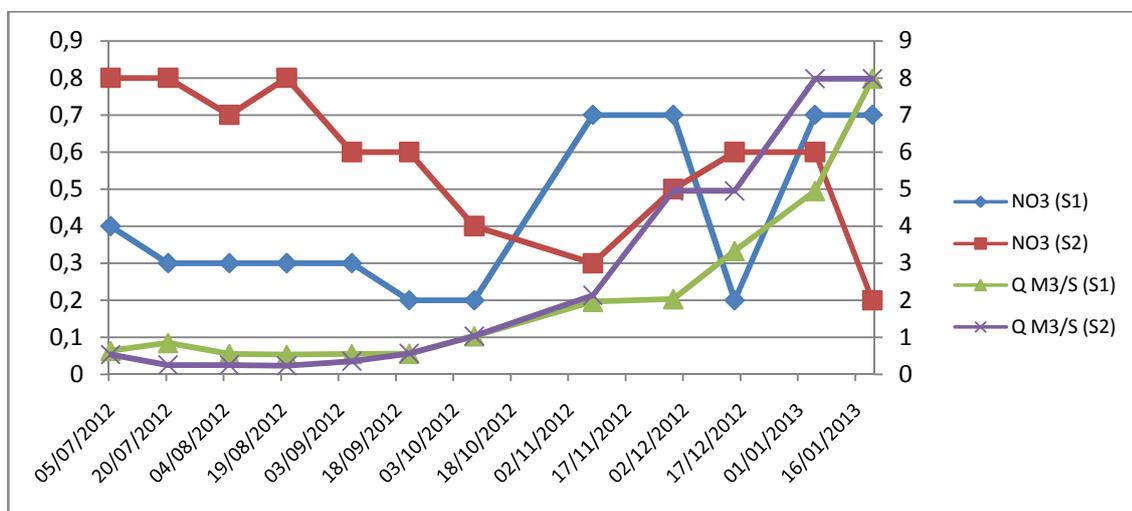


Fig.(III.11) : Évolution de la teneur des nitrates aux deux points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

Les plus fortes concentrations sont enregistrées au niveau des stations S1. En période des hautes eaux, ces concentrations deviennent plus fortes lorsqu’on se rapproche de la cuvette, suite à une concentration le long de l’écoulement. L’évolution de ces teneurs est représentée dans la fig (III.11) . Contrairement aux éléments précédents la réunion d’une grande masse d’eau véhicule une quantité plus importante en éléments azotes (NO₃⁻).

III.6. Aptitude des eaux à l’irrigation :

Étant donné que la région est à vocation agricole, la majeure partie de la zone du bassin est occupée par les cultures maraîchères, de ce fait une étude chimique détaillée des eaux pour l’irrigation s’avère nécessaire pour mettre en évidence le danger que présentent certains éléments chimiques pour les plantes et le sol. Les normes de qualité de l’eau destinée à l’irrigation tiennent compte des caractères chimiques de l’eau, en particulier sa salinité, de la nature des cations mais également de la nature des cultures, du type de sol, du climat, de la méthode d’irrigation et les propriétés du drainage du sol.

III.7. Risque de sodicité et de salinité : Diagramme du SAR :

Le danger que représentent les concentrations élevées en éléments chimiques tel que le Sodium (Na^{++}), implique une étude de l'évolution de la minéralisation de l'eau pour l'irrigation.

Le principe consiste à une représentation graphique qui met en évidence les valeurs de la conductivité en fonction du S.A.R.

Le SAR est définie comme étant une mesure de pouvoir de remplacement des ions Ca^{++} et Mg^{++} par la Sodium (Na^+) dans les argiles et les colloïdes. En effet, pour un SAR donné, la vitesse d'infiltration augmente au fur et à mesure que la salinité de l'eau augmente, il peu être estimé par la relation de RICHARD (1954) :

$$S.A.R = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}}$$

Où :

Na : la concentration de Na^+ en méq/l .

Ca : la concentration de Ca^{++} en méq/l .

Mg : la concentration de Mg^{++} en méq/l .

La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau permet de faire une classification de l'eau destinée à l'irrigation.

Après avoir reporté des différents valeurs sur le graphe Fig(III.12) ; nous remarquons que les eaux du bassin versant de Zerdazas présentent en général un degré de salinité faible(C_2 et C_3). Les eaux d'oued Rhumel (S1), présente des valeurs élevées par rapport aux autres points avec des valeurs qui dépassent les 750 ~ S/Cm, mais à l'aval du bassin, les conductivités deviennent de plus en plus faibles avec un degré d'alcalinisation faible d'oued kebir (S2).

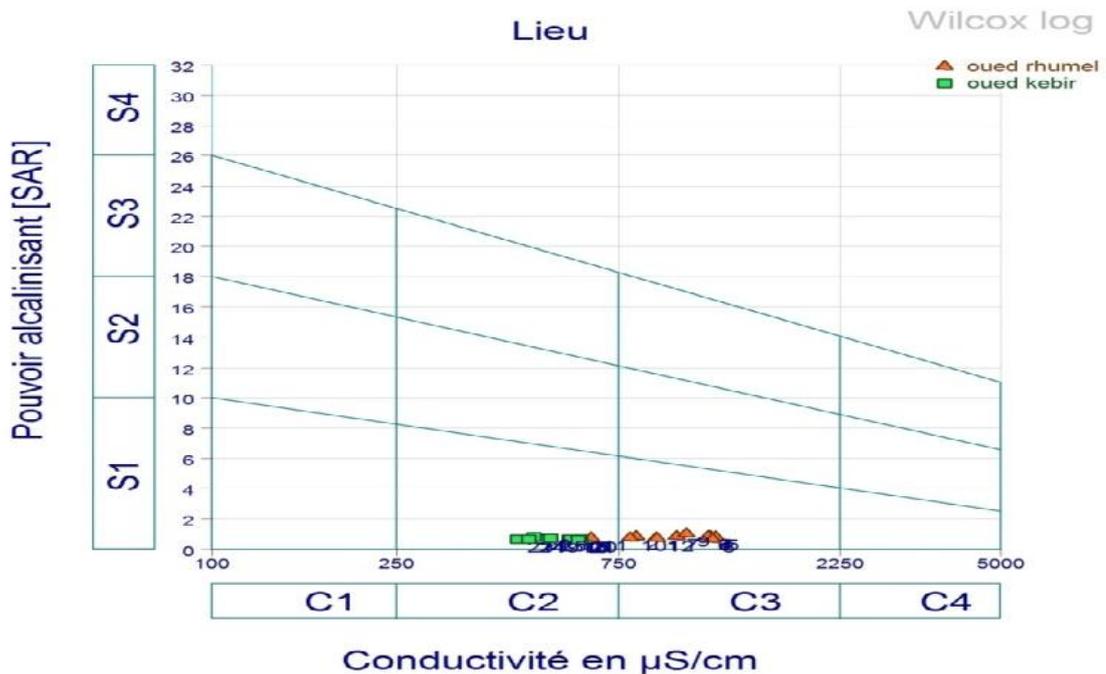


Fig.(III.12) : Classification des eaux d’irrigation du barrage de Béni Haroun selon la méthode de S. A .R D’après : Richard.1954

III.8. Influence de la sodicité et de la salinité de l’eau sur la perméabilité du sol :

III.8.1. Classification de Wilcox :

En milieu salé, la conduite de l’irrigation est fortement influencée par la perméabilité du sol. Dans un sol salé imprégné de Na Cl, la perméabilité reste bonne tant que la solution saline percolant présente une charge élevée en électrolytes. Cette charge maintient les argiles floculées. Maintenant, si l’eau d’irrigation est chargée en sodium, le nombre d’ions Na⁺ combiné avec le sol, augmente, cependant une quantité équivalente en cations et essentiellement en Ca⁺⁺ est déplacée. On assiste à une dégradation de la structure, avec un gonflement des argiles,

ce qui entraîne une imperméabilisation du milieu. Le processus de dessalement et de drainage risque alors d’être stoppé. Dans le cas où le calcium est dominant, l’échange de base se fait dans le sens inverse créant ainsi un sol floculé et plus perméable. L’apport de Ca SO₄ au sol peut par l’échange de base, améliorer la texture du sol ainsi que son drainage.

Cette classification basée sur la conductivité, et le pourcentage du Sodium (Na⁺) soluble est définie par la formule suivante.

$$Na(\%) = \frac{(Na + k).100}{Ca + Mg + (Na + K)}$$

Tout les éléments sont exprimés en méq/l, cette formule nous donne la charge du sodium(Na⁺) dans l’eau d’irrigation ; puisque si le nombre de Na⁺ combiné avec le sol augmente on aura une dégradation de la structure avec gonflement des argiles se qui rend le milieu imperméable.

L'augmentation de la charge de Na^+ influence négativement le développement des plantes. Le diagramme de Wilcox est une représentation graphique du pourcentage du Sodium (%Na) en fonction de la conductivité électrique ; permettant de déterminer le risque de salinité des eaux.

D'après le digramme de **Wilcox fig .(III.13)** , on constate que la majorité des eaux du bassin sont Excellentes pour l'irrigation, avec un pourcentage de Sodium ne dépasse pas les 30%.

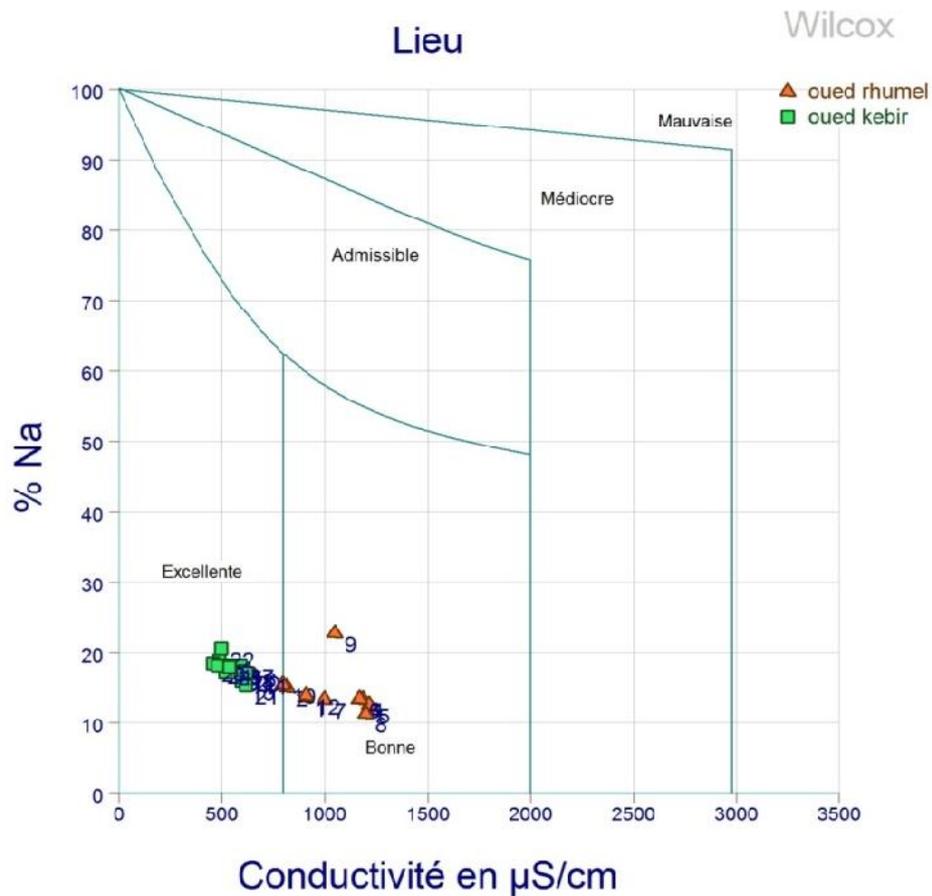


Fig.(III.13) : Classification des eaux d'irrigation du bassin versant de Béni Haroun d'après la méthode de Wilcox

III.9. Faciès chimique :

III.9.1. Classification des eaux:

III.9.1.1. Classification de Piper:

Le diagramme de Piper permet d'établir une classification simple qui différencie les faciès chimiques des eaux.

La représentation des données sur le diagramme de Piper, montre que l'ensemble des points pour les stations (O.K) et (O.Rh) se positionnent entre les deux pôles Chlorurée sulfaté calcique magnésiennes, et Bicarbonaté calcique et magnésienne **fig . (III.14)**

L'examen de cette figure permet de voir que la quasi totalité des échantillons prélevés a un faciès bicarbonaté magnésien à calcique rarement sulfaté magnésien. Ces échantillons correspondent à la période de crue.

Les faciès dominants sont en liaison directe avec la géologie qui laisse affleurer des formations carbonatées telles que les calcaires, les dolomies d'âge Crétacé de la plate forme néritique constantinoise, par contre les faciès sulfaté ne représentent qu'un faible pourcentage à cause des eaux de pluie par l'effet d'oxydation dans l'atmosphère de l'anhydrite sulfureuse lors de la combustion du charbon et du pétrole, ou par le lessivage des terrains argileux et marneux gypsifères.

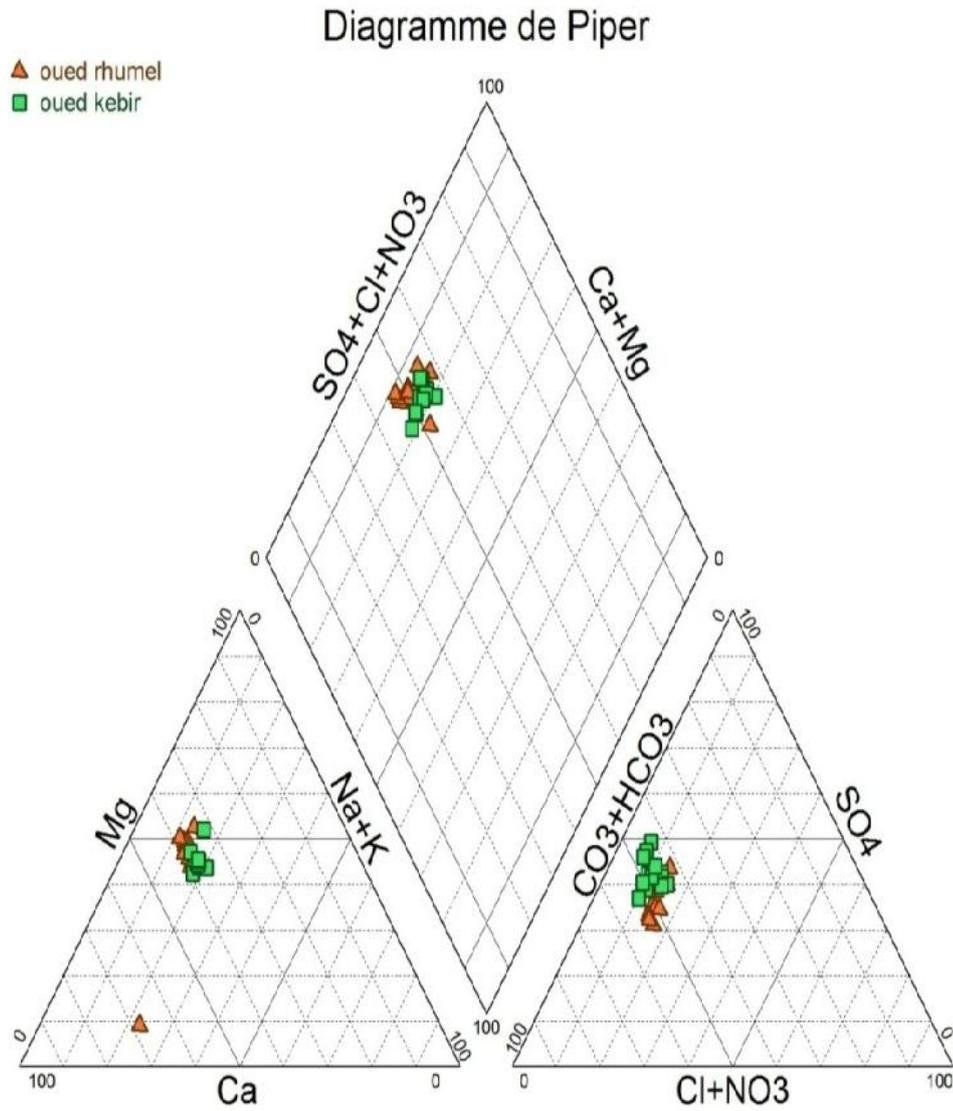


Fig.(III.14) : Diagramme de Piper

Conclusion :

Cette étude nous a permis de montrer l'évolution spatiale et temporaire des éléments chimiques des eaux du surface du bassin versant de Béni Haroun : les teneurs de ces éléments restent au dessus des norme admissible fixée par l OMS

Pour l'irrigation, les eaux du barrage sont des eaux de bonne qualité et ne présentent aucun risque sur les cultures.

Les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} ont toujours une origine interne au système. Ils proviennent, surtout, de la dissolution des roches calcaires (CaCO_3) et dolomitiques (Ca,MgCO_3). Le calcium peut aussi provenir du gypse $\{\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})\}$. Ils indiquent, principalement le temps de séjour de l'eau dans l'aquifère.

Les ions Cl^- , Na^+ et K^+ , ils sont d'origine, principalement, externe. Ils peuvent provenir des formations salifères du Trias ou des formations marneuses et argileuses. Na et K peuvent provenir de l'altération des minéraux silicatés. En revanche l'élément Cl peut avoir une origine météorique (lessivage des formations lithologiques par les apports pluviométriques). Ces ions sont, généralement, très peu abondants dans les terrains carbonatés, excepté dans des conditions particulières de gisement (Bakalovicz, 1979)

les eaux naturelles contiennent, pratiquement, toujours des ion sulfatent SO_4^{-2} dans des proportions très variables. Leur présence résulte de la légère solubilité des sulfates de calcium dans les roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures se trouvant dans les roches. Cependant, ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures (Bakalovicz, 1979).

L'origine des bicarbonates HCO_3^- est attribuée elle aussi à la dissolution des formations carbonatées (calcaire),

Conclusion générale

Conclusion générale :

Au cours de cette étude, nous avons contribué à l'analyse des risques de pollution dans le bassin versant qui alimente la cuvette du barrage de Béni Haroun. Ce bassin fait partie des bassins côtiers Constantinois, c'est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie, qui se trouve dans les zones hydrologiques des montagnes plissées du littoral.

La géologie de la région est très diversifiée avec une lithologie très hétérogène grâce à sa position, dans l'Atlas Tellien du Tell oriental (Kabylie de Collo et le Nérétique constantinois). Cette zone est caractérisée par sa complexité litho-structural, dont les formations les plus anciennes sont d'âge Permo-Trias et les plus récents sont d'âge Quaternaire. La lithologie dominante est représentée par des calcaires, des marnes, des grés et des argiles, ce qui nous permet de dire que les terrains perméables représentent 27% et les terrains imperméables 73%. Donc le ruissellement est supérieur par rapport à l'infiltration.

L'étude géomorphologique a montré que le bassin versant du barrage de Béni Haroun est caractérisé par une morphologie variée, avec une superficie de l'ordre **(6595 Km²)** et un périmètre de l'ordre de **(172 Km)**, de forme allongée. On note que le talweg principal a **(190 Km)** de longueur avec un chevelu hydrographique très dense et un écoulement temporaire.

L'étude hydroclimatologique montre que la région de Béni Haroun est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie avec un climat Sub-Humide selon De MARTONNE avec un indice d'aridité de l'ordre de **(20,89)** Du point de vue climatique la région est caractérisée par :

Une précipitation moyenne annuelle de **(612,12 mm)** ;

Une température moyenne annuelle de **(19,3 °C)** et la saison pluvieuse va de la mois-Octobre jusqu'au mois d'Avril, l'été est sec et chaud et s'étend du mois de Juin au mois de Septembre

Le bilan hydrologique selon la méthode de THORNTHWAITE montre que l'évapotranspiration réelle annuelle est de l'ordre de **(412,65 mm)**.

Le ruissellement est de l'ordre de **(99,92 mm)** et l'infiltration plus faible soit **(99,55 mm)**, ce qui totalise un excédent de **(16,26 %)** des précipitations. Il faut noter également que le bassin versant est formé en grande partie par des terrains imperméables.

Le déficit agricole commence à partir du mois de Juillet et s'étale jusqu'au mois d'Octobre, ce qui nécessite une irrigation.

La RFU atteint son maximum entre les mois de Décembre et Avril, mais à partir du mois d'Avril elle commence à baisser suite à un épuisement de stock.

Le suivi hydrochimique des eaux du bassin versant du barrage de Béni Haroun au cours d'un demi cycle hydrologique a permis de donner un aperçu sur la qualité de ces eaux.

Les apports extérieurs représentés par les eaux météoriques peu minéralisées alimentent le ruissellement. Une dilution des éléments chimiques proportionnelle à l'intensité et à la durée des précipitations, malgré le parcours des eaux au cours de leur écoulement, les eaux du bassin versant restent toujours faiblement chargées avec une minéralisation totale inférieure à 1200mg/L . Le faciès est chloré –sodique, cependant pour mettre en évidence les liens qui existent entre les éléments eux mêmes,

Les résultats obtenus nous ont permis de dire que les eaux du bassin versant de Béni Haroun sont aptes à être utilisées pour l'agriculture et A.E.P.

ANNEXE

Annexe I

Tableau n°1: Evacuateur de crue de barrage beni haroun :

Niveau de la retenue	Débit (m3/s)
200	0.58
201	277.62
202	666.76
203	1162.79
204	1760.54
205	2454.82
206	3240.44
207	4112.22
208	5064.97
209	6093.51
210	7192.65
214	12191.54

Tableau n°2: Températures moyennes mensuelles en °C durant la période : 1984 – 1997 (Station de Hamala).

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
1984	22,94	18,74	13,70	9,78	9,98	11,00	11,95	14,71	18,07	22,89	27,41	26,80	17,33
1985	22,84	18,49	14,00	9,98	8,23	10,88	12,16	14,99	18,97	23,59	27,90	27,50	17,46
1986	22,19	18,29	13,25	9,93	8,48	10,72	11,97	14,50	18,27	23,89	28,00	27,97	17,29
1987	24,09	19,64	13,30	10,33	10,17	9,90	11,82	14,46	18,98	23,29	27,60	28,12	17,64
1988	22,94	18,89	13,75	10,18	8,78	10,80	12,93	14,30	18,97	23,84	27,62	27,32	17,53
1989	22,49	18,94	13,25	10,63	8,48	11,17	12,96	14,36	18,67	23,34	27,16	27,42	17,41
1990	23,74	18,89	12,65	9,83	9,98	10,60	12,56	14,46	17,92	24,14	26,66	26,33	17,31
1991	23,79	18,69	13,70	9,75	8,53	9,87	12,70	14,31	18,82	22,54	26,76	27,00	17,21
1992	23,69	18,74	12,25	9,98	8,23	10,72	12,76	14,06	17,97	22,69	27,16	26,80	17,09
1993	23,64	18,64	13,20	10,80	8,88	10,92	13,98	16,51	18,02	23,59	27,11	27,42	17,73
1994	22,64	18,54	13,00	9,78	8,93	10,97	12,50	14,52	19,02	23,54	30,76	28,60	17,73
1995	22,70	18,92	13,20	10,50	8,70	11,00	12,60	15,59	18,59	24,20	27,30	27,15	17,54
1996	23,49	18,60	13,50	9,81	9,01	10,87	13,96	15,01	18,40	23,80	27,00	27,25	17,56
1997	22,50	18,50	12,84	10,50	9,88	10,60	13,37	14,20	18,01	23,51	27,50	28,00	17,45
1998	22,30	14,60	10,10	6,50	7,20	8,20	9,50	13,40	16,30	23,70	26,60	25,50	15,33
1999	23,10	19,30	10,40	7,50	7,20	5,50	10,10	13,40	21,10	24,30	25,50	28,90	16,36
2000	21,90	15,90	12,30	9,10	4,60	8,20	11,20	14,60	20,10	22,30	26,90	26,40	16,13
2001	23,50	19,20	11,56	10,55	7,65	10,22	12,56	14,22	18,65	22,65	27,95	27,25	17,16
2002	22,40	17,33	12,30	11,02	7,55	11,12	11,58	14,11	18,24	22,55	27,82	27,65	16,97
2003	22,50	16,53	12,56	9,65	5,66	8,66	12,33	14,85	17,25	22,26	26,85	25,66	16,23
2004	24,50	18,56	12,47	9,88	5,99	9,33	10,22	14,66	19,58	23,54	25,98	26,59	16,78
2005	21,30	18,30	11,98	10,23	4,99	8,11	10,33	13,54	19,69	22,56	26,59	26,98	16,22
2006	22,30	17,98	11,88	8,33	8,66	9,25	11,88	14,54	18,87	23,22	26,85	28,57	16,86
2007	23,85	17,56	12,88	9,98	9,56	9,23	12,58	15,32	18,83	23,33	27,65	28,84	17,47
2008	22,35	17,20	13,57	9,55	9,58	10,10	12,66	13,99	20,57	24,55	28,55	29,22	17,66
2009	21,56	18,88	13,55	10,57	8,22	10,14	12,45	14,10	21,66	22,36	28,23	27,58	16,27
2010	21,30	18,57	12,35	8,54	5,65	8,63	10,21	14,55	18,35	22,53	27,65	27,36	16,31
2011	21,10	17,66	11,54	9,35	6,25	8,65	10,25	13,66	17,99	21,33	26,88	27,88	16,05
2012	22,50	18,88	11,65	8,25	6,55	9,22	10,33	13,25	18,24	20,33	27,58	27,66	16,20
moyenne mensuelle	22,76	18,24	12,64	9,68	7,99	9,81	11,94	13,93	18,76	23,12	27,36	27,44	16,97
T MAX	24,50	19,64	14,00	11,02	10,17	11,17	13,98	16,51	21,66	24,55	30,76	29,22	17,73
T MIN	21,10	14,60	10,10	6,50	4,60	5,50	9,50	13,25	16,30	20,33	25,50	25,50	15,33

Annexe II

Tableau n°3: précipitation moyennes mensuelles en °C durant la période : 1984 – 1997
(Station de Hamala :

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
1 984	45,00	200,00	13,10	380,00	120,00	43,00	160,00	47,90	38,00	0,00	11,00	0,00	1 058,00
1 985	47,00	26,50	49,50	63,20	200,00	80,00	120,00	37,70	8,00	7,50	0,00	0,00	639,40
1 986	14,90	50,80	120,30	157,80	105,70	230,00	94,00	58,80	40,00	00,00	0,00	0,00	872,30
1 987	11,30	25,80	53,30	23,30	110,70	105,00	100,00	48,24	20,00	20,50	0,00	0,00	518,14
1 988	24,40	0,00	40,30	300,00	100,00	64,00	62,00	107,00	16,00	0,00	0,00	0,00	713,70
1 989	36,70	102,10	50,40	27,00	140,00	0,00	34,00	55,00	60,90	0,00	0,00	0,00	506,10
1 990	0,00	8,00	150,00	250,00	78,50	100,00	95,00	76,00	60,40	0,00	0,00	0,00	817,90
1 991	11,50	96,20	42,00	20,00	100,00	74,00	82,00	170,00	72,00	14,00	15,50	0,00	697,20
1 992	21,50	20,00	35,00	250,00	110,00	95,50	50,00	41,70	60,50	8,00	4,96	0,00	697,16
1 993	19,00	0,00	40,50	225,00	100,00	28,98	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	421,48
1 994	41,50	79,80	92,00	84,80	200,00	40,00	90,00	35,00	4,60	58,80	0,00	0,00	726,50
1 995	43,20	40,30	96,70	47,80	85,80	35,00	91,00	81,50	50,40	13,12	0,00	0,00	584,82
1 996	32,00	50,00	49,20	60,00	140,00	30,00	18,00	28,50	15,90	16,00	0,00	16,50	456,10
1 997	30,00	70,00	160,00	140,00	87,47	80,00	63,00	76,00	18,00	17,90	3,00	5,00	750,37
1 998	76,66	24,56	133,50	31,60	14,40	28,70	18,70	80,00	60,00	23,10	2,30	7,00	500,52
1 999	103,21	39,50	38,57	80,80	63,60	14,40	34,50	25,50	19,10	29,30	1,23	15,80	465,51
2 000	6,32	18,33	12,90	36,50	12,60	13,10	23,22	24,10	58,70	15,60	-	12,50	233,87
2 001	85,90	17,38	27,40	12,10	67,50	17,50	10,92	25,00	32,30	-	-	6,40	302,40
2 002	13,70	11,50	129,90	97,20	13,40	27,20	29,60	18,40	12,50	2,70	-	17,80	373,90
2 003	36,10	55,50	39,20	155,60	55,60	-	-	89,50	-	-	0,89	-	432,39
2 004	37,30	33,10	155,60	202,90	84,40	32,20	50,20	85,60	62,70	44,00	0,90	2,00	790,90
2 005	14,20	19,50	85,80	86,20	126,60	149,30	50,00	113,30	5,20	0,00	0,50	2,70	653,30
2 006	35,50	28,10	35,60	161,80	101,80	85,30	37,30	10,60	45,70	0,00	0,30	2,82	544,82
2 007	38,90	-	-	-	8,35	15,10	-	-	-	-	-	-	62,35
2 008	35,50	41,60	49,20	185,13	202,20	125,10	33,70	95,10	15,54	20,30	-	3,28	806,65
2 009	46,20	62,30	110,00	88,60	120,00	150,22	47,32	96,56	35,20	3,03	0,00	5,80	765,23
2 010	35,90	23,50	35,56	98,60	148,30	123,38	46,62	71,55	34,20	13,00	1,20	0,40	632,21
2 011	38,80	43,30	36,23	62,30	145,20	135,26	41,22	61,80	12,34	11,20	4,60	8,30	600,55
2 012	15,86	52,60	115,20	69,20	183,20	132,00	34,62	81,51	15,38	6,33	4,60	6,60	717,10
Total	998,05	1 240,27	1 996,96	3 397,43	3 025,32	2 054,24	1 524,92	1 741,86	873,56	324,38	50,98	112,90	17 340,87
Moyenne mensuelle	34,42	44,30	71,32	121,34	104,32	73,37	56,48	62,21	32,35	12,48	2,12	4,18	597,96
Moyenne saisonnière	1 147,18			4 044,56			1 882,62			415,87			

Annexe III

Tableau n°4: Evaporation et pluviometrie beni haroun (Juillet 2012-Janvier2013)

juin-2012	8,356	10,5
juil-2012	9,086	2,0
août-2012	10,480	4,0
sept-2012	5,438	49,0
oct-2012	4,106	9,5
nov-2012	1,912	35,0
déc-2012	1,248	55,5
janv-2013	1,210	112,0

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

1. **MR .R-GURIEM(1998)**,étude hydrogéologique du bassin versant de l'Oud SAFSAF ,wilaya de Skikda,p19
2. Faculte des sciences de la terre. COSTONTINE.
3. **ABH-CSM (1999-2000)**. Les cahiers de l'Agence. Agence de bassin hydrographique constantinois,
4. Seybouse-Mellegue, Constantine le bassin de la Seybouse Revu. Science de la terre. Constantine,No1, 35p.
5. **MR .D- JEBBAR(2004-2005)**,contrubution a l'étude hydrogéologique de l'aquiferecotier de la plaine de SKIKDA,p5,p14.
6. Faculte des science de la terre. COSTANTINE.
7. **MR.MEDJERABAYMEN (2013)**, étude hydrogéologique de la zone industielle de SKIKDA p55,p56.
8. Faculte des sciences de la terre.COSTANTINE.
9. **DR.GUERIREMRABEH (2010-2011)**, contribution a l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'oued SAF-SAF amont SKIKDA.p 15,16,18,p27**mebarki A, (1994) :** le barrage d'Hamam Grouz (Haut Rhumel, Constantinois) : bilan
10. Perspectives d'un aménagement hydraulique en zone semi-aride, Méditerranée, Revu. Institut
11. Sciences de la terre. Constantine, 34p, 15-22.
12. **MEBARKI A, et BENCHEIKH-LEHOCINE. M, (1997) :** sources et charges de pollution dans le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie orientale).élément d'étude pour la protection des ressources en eau, Rhumal, Revu. Institut Science de la terre. Constantine, n.o5, p, 33-52.
13. **Vila.J.M, (1980)**. La plaine alpine d'Algérie orientale et ses confins Algéro- tunisiens. Doctorat.
14. d'Etat. Université pierre et Marie curie, Paris VI.
15. Mr,Kamoukh Sami(2004-2005)étude hydrologique du bassin versant du barrage du Zardezas(centre universitaire de Mila),mémoire Magister,p48-53.
16. Mr,Kamoukh Sami(2004-2005)étude hydrologique du bassin versant du barrage du Zardezas(centre universitaire de Mila),mémoire Magister,p31,35.
17. Adams S,Titus R, Pietersen K.,Tredoux G., Harris C,. Hydrochemical characteristics of aquifers near surtherland in the Western Karoo,southafrica:Journal of hydrology 2001; 241pp.91-103.
18. Methas,fryara.E, Banner J L. Controls on the regional- scale salinization of the Ogallala aquifer, southern high plains, Texas, USA. Applied geochemistry; 2000;15: 849-864.
19. Schurch M., Vuataz F D, groundwater components in the alluvial aquifer of the Alpine Rhone river vally, Bois de Finges area, Wallis Canton, Switzerland. Hydrogeology journal; 2000; 8 pp.549-563.
20. Boutaleb S. Impact de la géologie et du climat des bassins versants sur la qualité des eaux d'une grande nappe alluviale en climat semi-aride. Application aux relations hydrologiques entre le haut-Atlas-Occidental et la plaine du Souss.Th. Doct. Univ. Sci. d'Agadir Maroc 170p. 2000.
21. Brouste L. Hydrochimie et géochimie isotopique de la nappe phréatique de la Comarca Lagunera(Nord-Mexique).Th. Doct. Univ. Paris XI Osray. 1996.

22. Marjoua A. Approche géochimique et modélisation hydrodynamique de l'aquifère de la Chaouia côtière .Maroc :(Origine de la salinité des eaux). Th. Doct. Univ.Paris VI,179p. 1995.
23. Laraque A. Comportements hydrochimiques des açudes du Nord-Est Brésilien semi-aride(évolution et prévisions pour un usage en irrigation). Th. Doct. Univ. Montpellierii. 1991.
24. BEAUREGARD (de) j. (1978) : les bas débits des cours d'eau en France, étiages normaux et exceptioneles.Fréquence, répartition, Bull.BRGM, Orléans, Revu, (2) III, n°3, p. 215-223.
25. BETHEMONT J. (1977).De l'eau et des hommes. Essai géographique sur l'utilisation des eaux continentales.éditions, Bordas, Paris, 280p.
26. ERFOUCHI M. S. (1981). Approche hydroclimatique, ressources en eau et aménagement dans la wilaya de Skikda, Mém. D.E.A. Université Nancy II, 62p.
27. KERFOUCHIM.S. (1984).Le bassin de Saf-Saf .Irrigation et aménagement des ressource en eau. Thèse Doct. 3^{ème} cycle, Nancy II 440 p.
28. LABORDE J-P, (1997): Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, université de Nice-sophia Antipolis, URA1476 CNRS, 7p.
29. LOUHI A, (1996).Pollution des eaux et des sols. Cas de la région de Annaba, Etude des interférences et dosage de Al, Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Sn, V et Hg par la spectrométrie d'émission
30. Plasma-ARC (DCP-AES), absorption atomique (SAA) et spectrophotométrie UV/VIS.Th.Doct.Univ.Annaba.167 p.
31. MUTIN G, (1997).l'eau : une ressource rare dans GAMBLIN A, Maghreb, Moyen-Orient : mutations. Dossier des images économiques du monde, Dossier 17, paris, SEDES, p85-132.
32. FRECAUT R. (1975) : Contribution à l'étude statistique des étiages.Application au domaine tempéré océanique, Rev.Géogr. Est, Nancy, TXV, n°1-2, p 89-99.
33. Bouguerne A. Etude comparative par analyse hydrologique et hydrochimique des eaux de
34. Surface des bassins versants de Oued. Rhumel et Oued Boussellem. Mémoire de magister. Univ. Batna. Algerie. 2001.
35. Debiecheth.Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse. Nord-Est Algérien. Doc. Univ. Franche Comté. France. 2002.
36. Mekaoussi H. Etude hydrochimique du bassin versant barrage Fontaine des Gazelles.Thèse de magister .Univ. Batna .Algerie. 2003.
37. Tiria . Qualité des eaux de surface de ouedreboa. Batna. Mémoire de magister. Univ. Batna. Algerie. 2005.
38. Belhadj M.Etude de la pollution des eaux du barrage Zit-Emba-Skikda. Mémoire de magister. Univ. Batna. Algerie. 2006.
39. Kemmoukh S.Dégradation de la qualité des eaux du barrage de Zerdezas suite à une pollution naturelle.Algerie. 2006.
40. BENCHAAAR. C (1999).Apport de l'analyse en composantes principales dans l'application des mécanismes hydrochimiques des oueds Seybouse, Kibir Est et Kibir Ouest (Est Algérie). Mémoire Magister. I. De chimie. Université de ANNABA.

41. BENCHEIKH-LEHOCINE M. Et MEBARKI A., (1999) : Débits de rejets et vulnérabilité à la pollution des eaux des bassins de Kébir-Rhumel et de la Seybouse (Algérie orientale). Actes des journées d'information et d'étude (Constantine, 20-21oct.1998), la nouvelle politique de l'Eau, les Agences de bassins hydrographiques et le bassin Constantinois-Seybouse-Méllègue, ABH-CSM, Constantine, 1999, p.69-79.
42. **GAAGAI.AISSAM .** ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE BABAR SUR OUED EL ARAB REGION EST DE L'ALGERIE. P.61-64
43. BELKHIRI. L 2005: Etude hydrogéologique et problème de la qualité des eaux souterraines de la plaine d'Ain Azal Mémoire magister, départ d'hydraulique –Univ. Batna.165pages.
44. **GAAGAI.AISSAM .BOUGUARNE .A** 2001 : Etude comparative par analyse hydrologique
45. Et hydro chimique des eaux de surface du bassin versant de oued boussalem, Oued Rhumel
46. Mémoire Magister, départ d'hydraulique –Univ.Batna.184 pages.
47. **GAAGAI.AISSAM .DEBIECHE.T.H** 2002 : Evolution de la qualité des eaux (Salinité, Azote, Métaux Lourds) sous l'effet de La pollution salin agricole et industrielle
48. Thèse doctorat Univ De Franche.Comte-france 199 pages.
49. **GAAGAI.AISSAM .LIER.J**(1982) l'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaire, eau de mer.
50. 8ième édition, DUNOD, Paris France.1383 pages.
51. Merabet souad. Memoire . Evaluation de la qualite physico-chimique des eaux brutes et distribuees du barrage reservoir de beni haroun .p .3-12
52. Merabet souad. De villers j., squilbin m., yourassowsky c. 2005
53. Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion
54. De l'environnement.
55. MERABET SOUAD .www.eau-tensift.net/.../1_Grille_de_qualité. Avril 2010
56. MERABET SOUAD .**KOHONEN T. 1984** Automatic monitoring of river water quality- Water Science Technology 16 289-294
57. ANBT (**Agence Nationale des Barrages**). WILAYA DE MILA