

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département des sciences et Techniques



N° Ref :.....

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER
Spécialité : Sciences Hydrauliques

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

Réalisé par :
-Beriber Izzeddine

Soutenu devant le jury :

A.Kabour	M.A.A	CUAB Mila	Président
I.Dib	M.A.A	CUAB Mila	Examineur
S .Kemouhk	M.A.A	CUAB Mila	Promoteur

Année universitaire : 2015/2016

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

Reconnaisances 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 prés 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).

Dédicaces

Grace a dieu tout puissant, Je dédie ce travail de fin d'études à ma famille, Ma très cher **mère** et mon **père**, pour leur patience, conseils, aident et aussi de m'encourager à la réalisation de ce modeste travaille.

Mes frères et sœurs.

Mes amis et collègues notamment les étudiants qui m'encourager ()

Merci pour les bons moments qui ont contribué à rendre ces années inoubliables. Bonne chance à tous.

Mon encadreur qui mon soutenu au long de mes travaux (je vous remercié).

Pruber axreddin

SOMMAIRE:

Introduction générale	02
Chapitre I :Cadre Morphologique	
I.1. Caractéristiques Morphologique.....	05
Introduction.....	05
I.1.1. Analyse morphométrique du bassin versant	05
I.1.1.1. Situation géographique.....	05
I.1.1.2. Situation administrative.....	05
I.2. Les reliefs	07
I.3. Les caractéristiques morpho métriques	08
I.3.1. La superficie (S)	09
I.3.2. Le périmètre (P).....	10
I.3.3. Indice de forme ou de compacité (Indice de Gravilius).....	10
I.3.4. Le rectangle équivalent	10
I.4. Les indices de reliefs (indices hypsométriques)	11
I.4.1. Les indices de taille et de forme.....	13
I.4.2. Les indice de l'organisation du réseau hydrographique.....	14
I.5. La densité de drainage	14
I.6. Le temps de concentration.....	15
I.7. Les altitudes.....	16
I.8. Les Pentas	16
Conclusion	18
Chapitre II: Cadre géologique	
II.1. Géologie Régionale.....	20
Introduction.....	20
II .1.1. Le domaine interne.....	20
II .1.1.1. Le Socle kabyle.....	20
II .1.1.2. La couverture sédimentaire du socle kabyle.....	21
II.1.1.2.1. La dorsale kabyle ou chaîne calcaire.....	21
II .1.1.2.2. Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK).....	22
II .1.1.2.3. Les Ollistostromes	22
II .1.2. Le domaine externe	22
II .1.2.1. Les séries de type flysch.....	22
II.1.2.2. Les séries telliennes.....	24
II.1.2.3. Les formations de l'avant pays	24
II.1.2.4. Les formations Post-nappes	24
I.1.3. Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie.....	25
II.2. Géologie locale.....	27
II.2.1. Présentation géologique du bassin néogène de Mila.....	27
II.2.1.1. Synthèse lithostratigraphique du bassin de Mila.....	27

II.2.1.2. Les formations triasiques.....	27
II.2.1.3. Les formations du jurassique.....	27
II.2.1.4. Les formations du Crétacé inf et sup.....	29
II.2.1.5. Les formations du Paléogène.....	30
II.2.1.6. Les dépôts Néogènes.....	30
II.2.1.7. Les dépôts Quaternaires.....	31
II.2.2. Géologie du secteur étudié.....	31
II.2.2.1. Les marnes du Paléocène.....	31
II.2.2.2. Les calcaires de l'Eocène attribués à l'Yprésien.....	31
II.2.2.3. Les marnes de l'Eocène (d'âge Lutétien).....	32
II.2.2.4. Les microconglomérats et grés sableux	32
II.2.2.5. Les argiles marneuses à gypse.....	32
II.2.2.6. Les conglomérats	32
II.2.2.7. Les calcaires lacustres.....	32
II.2.2.8. Les dépôts Quaternaires.....	32
Conclusion.....	34

Chapitre III: Cadre Hydroclimatologie

III .1 . Cadre hydroclimatologie	36
III.1.1. Introduction.....	36
III.1.2. Le Climat de l'Algérie	36
III.1.3. Climat du barrage de Béni Haroun	36
III.1.3.1 Étude des paramètres climatiques	37
III.1.3.1.1 Les précipitations	37
III.1.3.1.2. La pluviométrie moyenne annuelle	37
III.1.3.1.3 Précipitations moyennes mensuelles	40
III.1.3.1.4 Précipitations moyennes saisonnières	40
III.1.3.2 Les températures	41
III.1.3.2.1 Les températures moyennes mensuelles	42
III.1.3.2.1. Les températures moyennes annuelles (station béni Haroun 1984-2015).....	43
III.1.3.2.4 Diagramme omb ro-thermique	42
III.1.4 Indice de DEMARTONNE (aridité)	43
III.1.4.1 La station de Béni Haroun	44
III.1.4.2. La station de Hamala Grarem	46
III.1.5. Bilan hydrique	46
III.1.5.1 Station béni Haroun	46
III.1.5.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	46
III.1.5.1.2 Méthode de THORNTWAITE	47
III.1.5.1.3. l'évapotranspiration réelle (ETR).....	47
III.1.5.1.3 Calcul du bilan hydrologique pour la période :1984- 2015, Station de Beni Haroun.....	48
III.1.5.1.4. Interprétation du bilan hydrologique.....	
III.1.5.2. Station de Hamala Grarem	49
	51

III.1.5.2.1. L'Evapotranspiration potentielle (ETP).....	52
II.2.5.2.2.L' Evapotranspiration réelle (ETR)	52
III.1.5.2.3. Calcul du bilan hydrologique pour la station de Hamala Grarem 1984- 2015).....	52
III.1.5.2.4. Interprétation du bilan hydrologique	53
Conclusion.....	55

CHAPITRE IV : CADRE HYDROCHIMIQUE

Introduction.....	56
IV-1 : Choix et Localisation Des Stations De Prélèvement	56
IV-2 : Analyse des éléments majeurs.....	58
IV-2-1 : Les Matrices des corrélations.....	59
IV-2-1-1 : Matrice de corrélation :Station de oued Rhumel.....	59
IV-2-1-2 : Matrice de corrélation :Station de oued Endja.....	59
IV-2-1-3 : Matrice de corrélation : Station de oued dib.....	60
IV-2-2 : Etude des paramètres Physico-chimiques.....	60
IV-2-2-1 : Etude des paramètres physiques.....	60
IV-2-2-1-1 : Température.....	60
IV-2-2-1-2 : Potentiel d'Hydrogène (pH)	61
IV-2-2-1-3 : Conductivité Électrique	62
IV-2-2-2 : Les éléments chimiques.....	63
IV-2-2-2-1: Les cations.....	63
IV-2-2-2-1-1 : Le calcium (Ca ⁺⁺).....	63
IV-2-2-2-1-2 : Le magnésium (Mg ⁺⁺).....	64
IV-2-2-2-1-3 : Le sodium (Na ⁺)	65
IV-2-2-2-1-4: Le potassium (K ⁺).....	66
IV-2-2-2-2 : Les anions.....	66
IV-2-2-2-2-1 : Les chlorures (Cl ⁻)	66
IV-2-2-2-2-2 : Les sulfates (SO ₄ ⁻).....	67
IV-2-2-2-2-3 : Les bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	67
IV-2-2-2-2-4 : Les nitrates (NO ₃ ⁻).....	68
IV-3 :Aptitude des eaux à l'irrigation	69
IV-3-1 : Risque de sodicité et de salinité : Diagramme du SAR.....	69
IV-3-2. Classification de Wilcox	71
IV-4: Faciès chimique	73
IV-4-1: Classification des eaux.....	73
IV-4-1-1:Classification de Piper.....	73
IV-4-1-2: Les diagrammes des Faciès chimique.....	75
IV-5 : Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants	76
IV-5 -1: L'origine du sodium Na ⁺	76
IV-5 -1-1: Le couple Na ⁺ -Cl ⁻	76
IV-5 -1-2: Le couple Na ⁺ -SO ₄ ⁻	76
IV-5 -2: L'origine de magnésium Mg ⁺⁺	77
IV-5 -2-1: Le couple (Mg ²⁺ / Ca ²⁺) et SO ₄ ²⁻	77

IV-5 -3: L'origine du calcium Ca^{2+}	78
IV-5 -3-1: Le couple Ca^{2+} et HCO_3^-	78
IV-5 -3-2: Le couple Ca^{2+} et SO_4^{2-}	78
IV-5 - 4: L'origine de la salinité	79
IV-5-4-1: Les relations $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ -Conductivité électrique	79
IV-6 : Diagramme de Schöeller et Berkallof	79
IV-7 :Apport de l'Analyse en Composant (ACP).....	81
IV-7-1 :Caractéristique de la méthode	81
IV-7-2 : Principe de la méthode	81
IV-7-3: Traitement statistique.....	81
IV-8-4 :Matrice de corrélation.....	82
IV-9 :L'analyse de cercle de l'ACP.....	82
Conclusion	83
Conclusion générale.....	87

Liste des Figures

Chapitre I: Cadre Morphologique

Fig. (I-1):Situation du bassin versant du (Kébir-Rhumel) en Algérie (A. Mebarki, 1982).....	06
Fig. (I-2):Profil en long de l'oued Rhumel.....	08
Figure (I-03) : Découpage du bassin versant de Kébir Rhumel (ANRH).....	09
Figure (I-04) : La courbe hypsométrique et le diagramme de fréquences altimétrique.....	13
Chapitre II: Cadre Géologique	
Fig (II-1) :Schéma structural de la méditerranée occidentale. (M. DurandDelga, 1969).....	20
Fig (II-2):Esquisse structurale du Nord- Est Algérien. (W. Wildi, 1983).....	26
Fig (II-3):Carte géologique synthétique du bassin constantinois. (J.M. Vila, 1980).....	28
Fig (II-4): Carte géologique du bassin de Mila. (J.M. Vila, 1980).....	29
Fig (II-5):Colonne lithostratigraphiqueDu versant Est du barrage de Beni Haroun.....	33
Fig (II-6) :Carte géologique du site.....	34
Fig (II-7): Coupe géologique.....	34
Chapitre III: Cadre hydroclimatologie	
Figure (III-01) : Histogramme des précipitations moyennes annuelles (Station béni Haroun 1984 - 2015).....	38
Figure (III-02) : Histogramme de distribution des précipitations mensuelles.....	39
Figure (III-03) : Histogramme des précipitations saisonnières.....	39
Figure (III-04) : Répartition de précipitations saisonnières.....	40
Figure (III-05) : Courbe de l'évolution des températures mensuelles.	41
Figure (III-06) : La distribution des températures moyennes annuelles (Station Béni Haroun 1984-2015).....	42
Figure (III-07): Diagramme Ombro-thermique.(station béni Haroun 1984).....	43
Figure (III-08) : Représentation graphique de différentes composantes du bilan hydrologique pour la Station de Béni Haroun (1984 – 2015)	49
Figure (III-09): Représentation graphique du bilan hydrologique pour la station de Hamala (1984-2015).....	52
Chapitre Iv: Cadre Hydrochimique	
Figure IV-1 : Schema de situation des stations de prélèvement.....	56
Figure IV-2 :Évolution des valeurs de La Température au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	60
Figure IV-3 : Évolution des valeurs du pH au différents points de deprélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	61
Figure IV-4 : Évolution de la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ aux différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	63
Figure IV-5 : Évolution des teneurs du calcium au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	64
Figure IV-6 Évolution des teneurs du magnésium au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	65
Figure IV-7 :Evolution des teneurs de sodium au différents points de	65

prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	66
Figure IV-8 :Evolution de la teneurs du potassium aux différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	66
Figure IV-9 :Évolution des teneurs des chlorures aux différents des points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	67
Figure IV-10 : Evolution des teneurs des sulfates au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	67
Figure IV-11: Evolution de la teneur des bicarbonates au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	68
Figure IV-12 : Évolution de la teneur des nitrates aux au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013).....	69
Figure IV-13 : Classification des eaux d'irrigation du oued rhumel de B.V Béni Haroun.....	70
Figure IV-14 : Classification des eaux d'irrigation du oued EL Endja de B.V Béni Haroun.....	70
Figure IV-15 : Classification des eaux d'irrigation du oued EL Dib de B.V Béni Haroun.....	71
Figure 1IV-16 :Classification des eaux d'irrigation du station 01 de BV. Béni Haroun.....	72
FigureIV-17 :Classification des eaux d'irrigation du station 02 de BV. Béni Haroun.....	72
Figure IV-18 :Classification des eaux d'irrigation du station 03 de BV. Béni Haroun.....	73
Figure IV-19 : Diagramme de Piper station O.R.....	74
Figure IV-20 : Diagramme de Piper station O.EN.....	74
Figure IV-21 : Diagramme de Piper station 03.....	75
Figure IV-22 :O.Dib.....	75
Figure IV-23 :O.Rhumel	75
Figure IV-24 : O.Endja.....	75
Figure IV-25 : O.Dib.....	76
Figure IV-26 :O.Rhumel	76
Figure IV-27 : O.Endja.....	76
Figure IV-28 :O.Dib	76
Figure IV-29 : O.Rhumel.....	76
Figure IV-30: O.Endja.....	77
Figure IV-31 :échange de base O.Dib.....	77
Figure IV-32 :échange de base O.Rhumel.....	77
Figure IV-33 :échange de base O.Endja.....	77
Figure IV-34 O.Dib.....	77
Figure IV-35 :O.Rhumel.....	77
Figure IV-36 :O.Endja.....	77
Figure IV-37 :O.Dib.....	78
Figure IV-38 :O.Rhumel	78
Figure IV-39 :O.Endja.....	78
Figure IV-40 O.Dib.....	78
Figure IV-41 :O.Rhumel	78
Figure IV-42 :O.Endja.....	78
Figure IV-43 O.Dib	79
Figure IV-44 :O.Rhumal	79

Figure IV-45 :O.Endja.....	79
Figure IV-46 O.Dib.....	79
Figure IV-47 :O.Rhumel	79
Figure IV-48 :O.Endja.....	79
Figure (IV-49): Plan factoriel F1-F2 des variables.....	83

Liste des tableaux

Chapitre I: Cadre Morphologique

Tableau(I-1): Les indices des reliefs.....	12
Tableau(I-2): Les indices de relief	13
Tableau(I-3): Les indices de taille et de forme.....	14
Tableau(I-4): Les indices de l'organisation du réseau hydrographique.....	15
Tableau(I-5): Les classes des altitudes dans le bassin.....	16
Tableau(I-6): Caractéristiques morpho métriques du bassin de béni Haroun	18

Chapitre III: Cadre hydroclimatologie

Tableau. (III- 01) : Précipitation moyennes annuelles à la station de Béni Haroun.....	37
Tableau. (III-02) : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Béni Haroun.....	38
Tableau (III-03) : Précipitation saisonnière (station béni Haroun)	39
Tableau (III-04) : Les moyennes mensuelles des températures interannuelles (station Béni Haroun 1984-2015).....	40
Tableau. (III-05) : Températures moyennes annuelles en °C (Station Béni Haroun1984 – 2015).....	41
Tableau. (III-06) : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) Station de Hamala 1984 – 2015).....	44
Tableau.(III-07) : Températures moyennes mensuelles en °C (station Hamala 1984 – 2015).....	44
Tableau (III-08) : Calcul de l'ETP par la formule de Thorntwaite (station béni Haroun).....	46
Tableau (III-09) : Bilan hydrologique - Station de Béni Haroun (1984-2015).....	48
Tableau (III-10) : Calcul de l'ETP par la formule de Thorntwaite (station Hamala).....	50
Tableau (III-11) : Bilan hydrologique - Station de Hamala Grarem (1984 - 2015).....	51

CHAPITRE IV: CADRE HYROCHIMIQUE

Tableau IV-1: Méthodes utilisées pou déterminer les paramètres des eaux du surface.....	56
Tableau IV-2: Caractéristiques des points de prélèvement.....	58
Tableau IV-3 : Caractéristiques globales des éléments chimiques.....	58
Tableau IV-4 : Matrice de corrélation entre les éléments chimiques pour un seuil de %5.(station O.R).....	59
Tableau IV-5 : Matrice de corrélation entre les éléments chimiques pour un seuil de %5.(Station O.EN).....	59
Tableau IV-6 : Matrice de corrélation entre les éléments chimiques pour un seuil de %5. (stationO.D).....	60
Tableau IV-7 : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique	62
Tableau IV-8 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique	62
Tableau IV-9 : résultats des PH équilibre du oued Dib station (03).....	80
Tableau IV-10 : résultats des PH équilibre du oued Endja station (02).....	80
Tableau IV-11: Les résultats des PH équilibre du oued rhumale station (01	80
Tableau IV-12: Valeurs propres	82

Tableau IV-13 : Cosinus carrés des variables	82
Tableau IV-14 : Cosinus carrés des individus	83

Résumé

Ce travail entre dans le cadre de la protection et de la surveillance de la qualité des eaux du bassin versant Béni Haroun . L'analyse complète et détaillée des résultats de mesure de la qualité des eaux des trois station effluents des oueds (rhumle ,Endja et Dib) de la région Est de l'Algérie a été effectuée pour la période de juillet 2007 jusqu'à janvier 2008. A partir de l'analyse de la variabilité temporaire de la qualité des eaux de bassin versant, les barrages qui ont un comportement semblable par rapport à un ensemble de paramètres ont été regroupés.

L'interprétation des analyses physicochimiques a montré que la dégradation de la qualité des eaux est du essentiellement à l'agriculture (Engrais), aux rejets des eaux usées urbains et industrielles.

هذا العمل هو جزء من حماية ومراقبة نوعية مياه سد بني هارون. وقد قمت بتحليلا شاملا لنتائج قياس جودة المياه من ثلاثة وديان أساسية (واد النجاء. واد الرمال ، واد الديب) الموجودة في المنطقة الشرقية من الجزائر (ولاية ميله) في الفترة الممتدة من جويلية 2007 إلى جانفي 2008 . وبعد التحليل المؤقت لجودة تجمع المياه السطحية وقد تم تجميع السدود التي لها سلوك مماثل فيما يتعلق بمجموعة من المعلمات.

أظهر تفسير التحاليل الفيزيائية والكيميائية أن تدهور نوعية المياه في الزراعة الرئيسية (الأسمدة) ، لتصريف مياه الصرف الصحي الحضري والصناعي .

This work is part of the protection and surveillance of water quality Beni Haroun watershed. The comprehensive and detailed analysis of the measurement results of the water quality of three effluents station ouedes (rhumele, and Dib .Endja) in the eastern region of Algeria was conducted for the period from July 2007 to January 2008 . from the analysis of the temporary variability of the quality of water catchment, dams that have similar behavior in relation to a set of parameters have been grouped.

The interpretation of physicochemical analyzes showed that the degradation of water quality is the main agriculture (fertilizers), to discharges of urban and industrial wastewater and the low rate of reforestation.

Introduction Générale

Introduction générale :

Le projet hydraulique de Béni 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 naturelles. Pour le transfert des eaux régularisées par le barrage de Béni 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 hydriques 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, 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 Endja, Oued Rhumel et Oued Dib) 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 (Béni Haroun).
- L'évolution spatiale des paramètres physicochimiques de la qualité des eaux dans ces trois affluents des oueds (Endja -Rhumel- Dib).

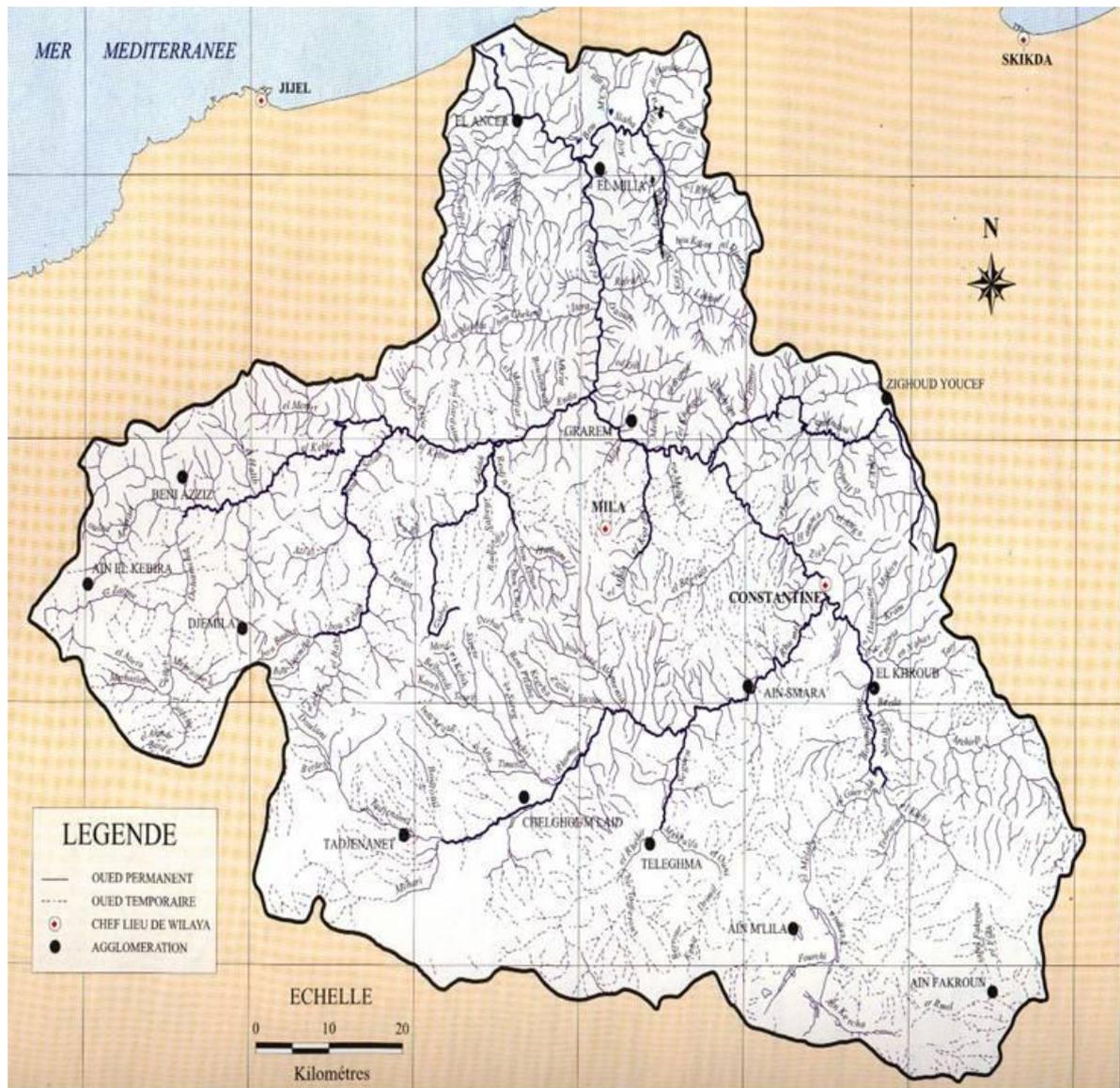


Fig .1 : situation du barrage Béni Baroun dans le bassin versant (Kébir-rhumel)

Chapitre I

Cadre Morphologique

I.1. Caractéristiques Morphologique

I.1.1. Analyse morphométrique du bassin versant :

I.1.1.1. Situation géographique :

Le site du barrage de Béni Haroun est situé à l'aval de la confluence de deux Oueds importants à l'Est le Rhumel qui prend sa source en amont de Belaa et à l'Ouest Oued Endja qui prend sa source au environ de Djemila [6] .

Le barrage de Béni 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 = 820 000 m, Y= 369 000 m [6] .

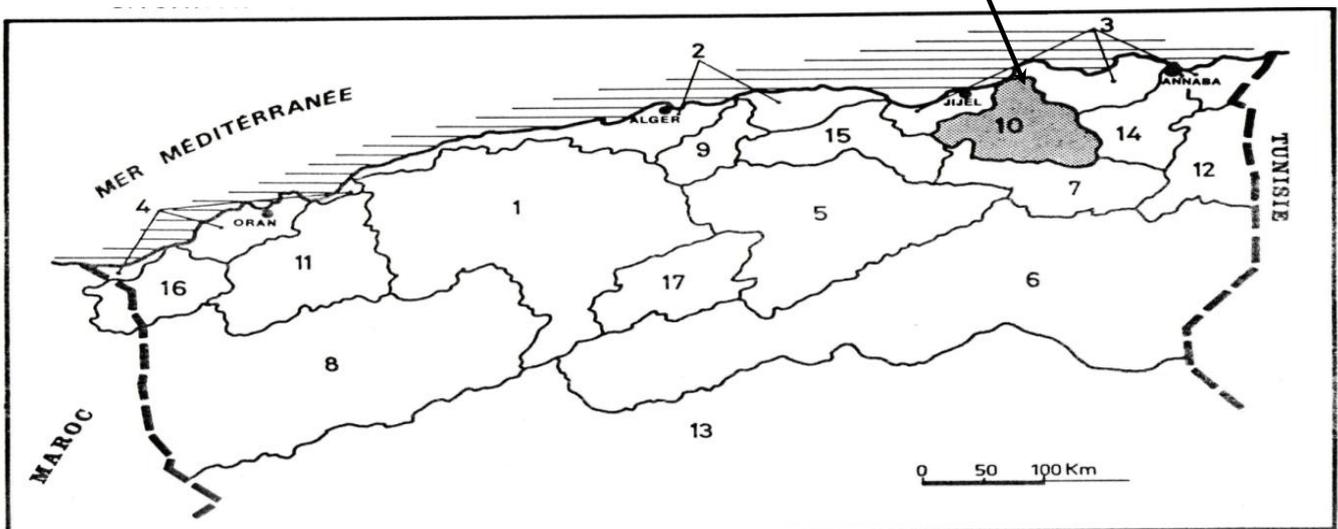
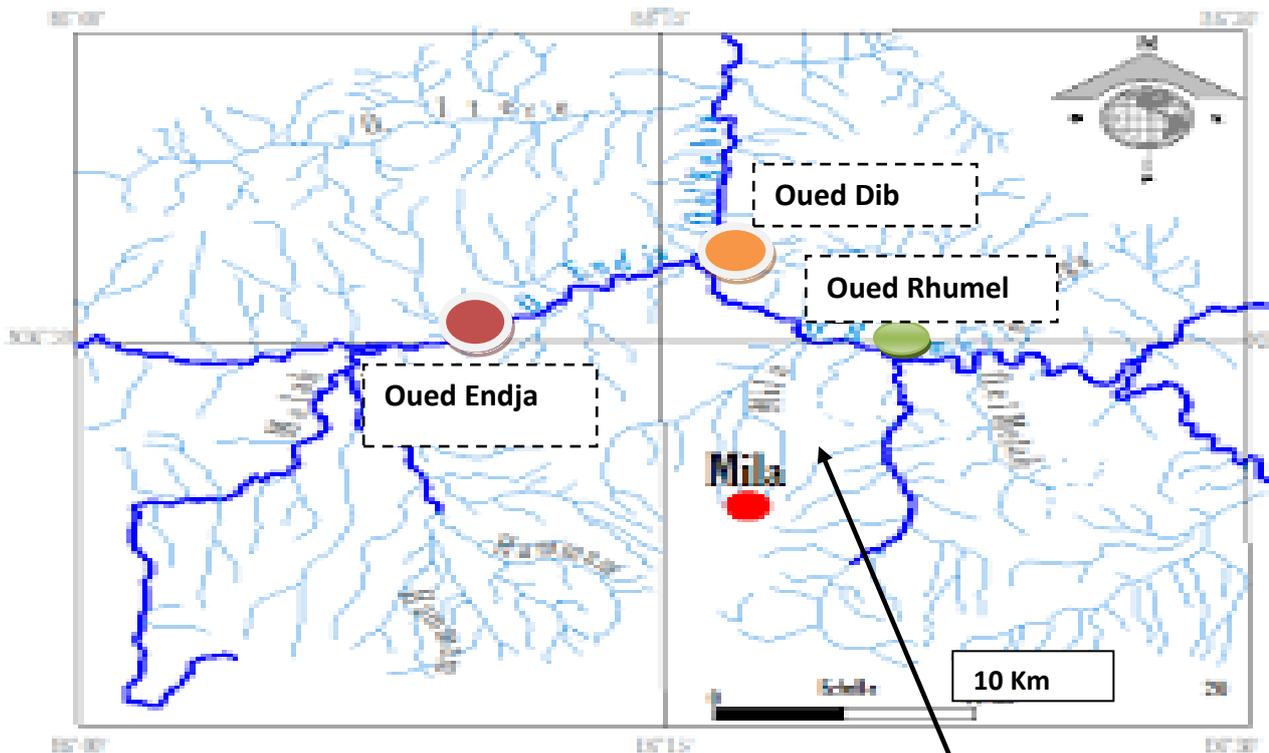
Il constitue l'ouvrage clé du projet de transfert de Béni Haroun dont l'objectif est de transférer les ressources mobilisées au barrage de Béni Haroun vers les 6 Wilayas de Batna, Kenchela, Mila, Oum El Bouaghi, Constantine et Jijel.

Le barrage a une capacité de 963 millions de m³ et permettra la régularisation d'environ 435 millions de m³ par an [6].

I.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 versants en Algérie, on note que le bassin versant du barrage de Béni Haroun appartient au grand bassin du (Kébir-Rhumel).(Fig.(I-01)).



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.(I-01): Situation du Bassin Versant du (Kébir-Rhumel) en Algérie.[2]

I.2. Les reliefs

Les grands ensembles du relief

Le bassin versant (Kébir-Rhumel) est constitué d'un relief compartimenté. Au nord, l'épine dorsale du tell oriental, un ensemble de sommets alignés d'ouest en Est appelé «chaîne numidique ». Au Sud, les hautes plaines à forte influence continentale, dévoilant chacune des caractères et des problèmes géomorphologiques propres [6] .

Du Nord au Sud on peut distinguer les unités suivantes:

a. Le versant nord de la chaîne numidique

La chaîne numidique par son versant nord représente les limites supérieures du bassin, séparant les hautes plaines au sud du bassin et les plaines côtières. De direction ouest-est, elle est composée d'une suite de massifs à altitudes modestes: djebel Sidi Driss est le point culminant dans le bassin atteint 1364 m. L'altitude décroît chaque fois qu'on se dirige vers l'est [6] .

Cette chaîne jouant le rôle de ligne de partage des eaux, descend vers les hautes plaines, où par endroits elle est relayée par des massifs culminants vers 1300m à 1400m. C'est le cas de djebels Chettaba (1316m), Ouahch (1281m) au Nord –Est du bassin[6] .

De nombreux cours d'eaux naissent sur les pentes de cette chaîne et descendent soit vers le nord, soit vers le sud comme l'oued Smendou. Les grands ensembles comme l'oued Rhumel comme dans notre bassin, descendent des hautes plaines, ils ont pu creusées de profondes vallées aux versants raides, à la traverser des ces massifs, ou ils ont pu tailler d'étroites gorge comme celui de Beni Haroun, à son passage de la chaîne Zouagha.

Dans ces secteurs aux pentes fortes, les processus d'érosion ont selon la nature lithologique des terrains, d'une ampleur plus ou moins grande.

b. Les piedmonts sud-tellien

Ils correspondent au bassin néogène de Constantine. C'est une grande dépression S'étendant de Mila à l'ouest jusqu'à Zighoud youcef à l'est du bassin. Ils sont limités par les Hautes plaines au sud. Il s'agit de basses collines aux formes molles, taillées dans du matériel tendre et un réseau de ravins donne au relief un aspect disséqué.

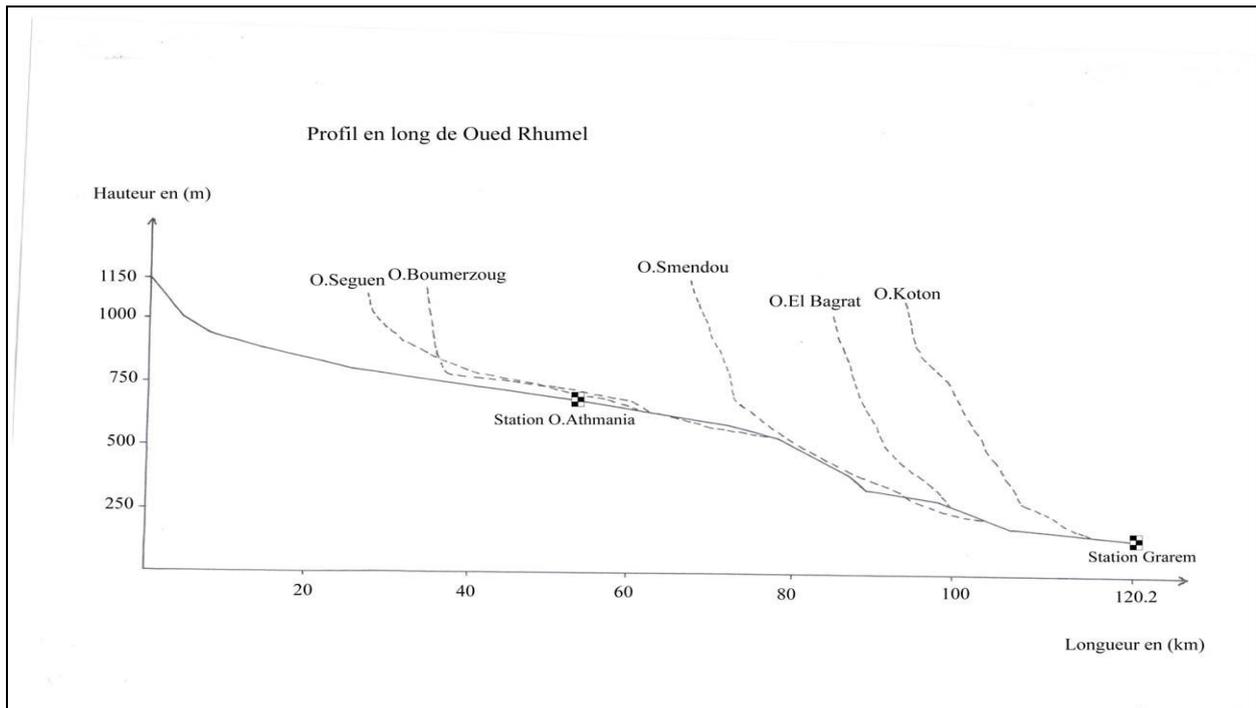


Figure (I-02): Profil en long de l'Oued Rhumel. [24]

I.3. 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 :

Les indices des reliefs.

Le rectangle équivalent.

Le périmètre (P).

Indice de Gravilius .

La superficie (S).

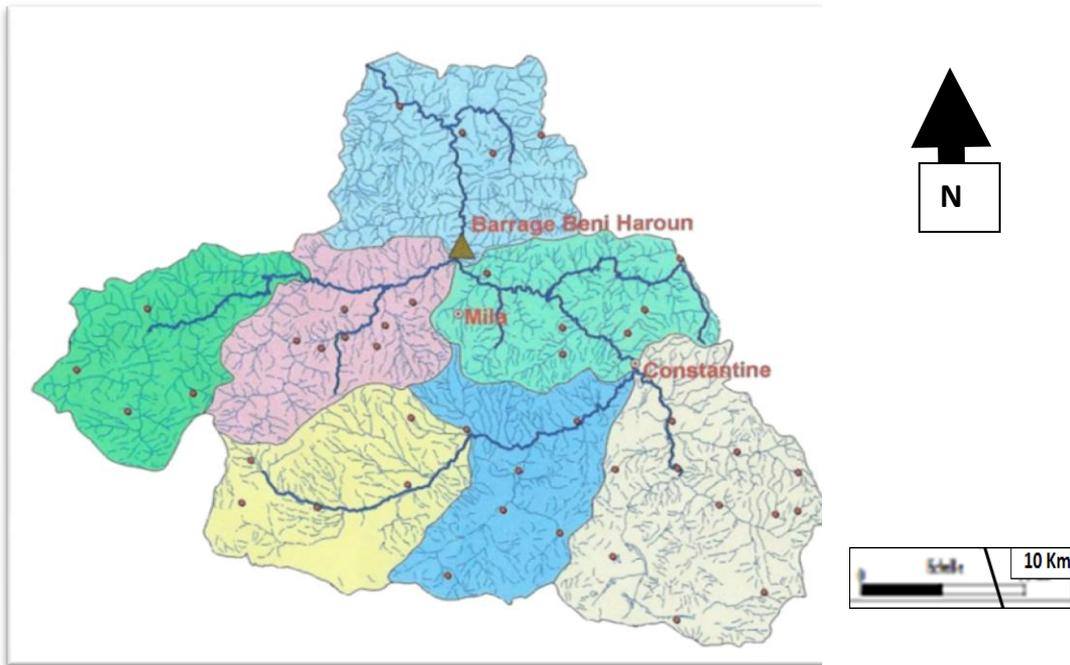
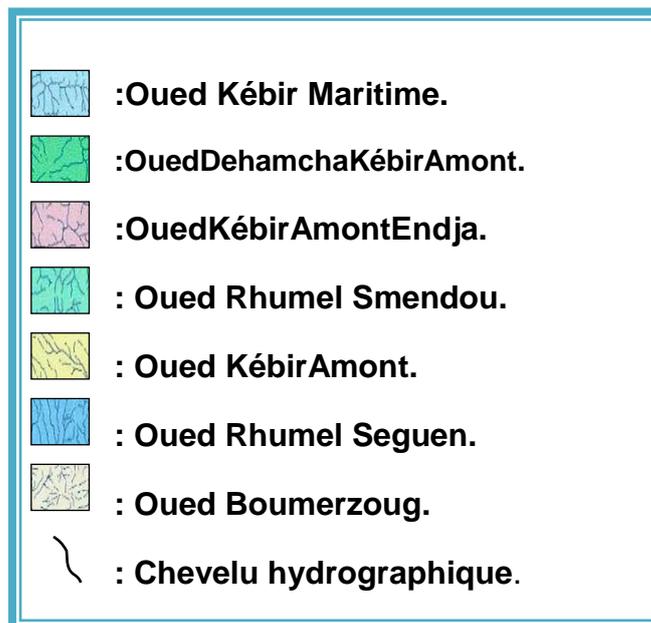


Figure (I-03) : Découpage du bassin versant de Kébir-Rhumel (ANRH).

LA LEGENDE :



I.3.1. 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 ben Haroun est de l'ordre de 5328km².

I.3.2. Le périmètre (P) :

Le périmètre des sous bassin étudié est de l'ordre de 404.8 km.

I.3.3. Indice de forme ou de compacité (Indice de Gravilius) :

Il est donné par la formule suivante.

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

Avec : C : Indice de compacité;

P : Périmètre du bassin versant (km).

S : Superficie du bassin versant (km²).

$$\text{Donc : } C = 0.28 * 404.8 / \sqrt{5328}$$

$$C = 1.55.$$

Il ressort de ces données que le C = 1.55 c'est-à-dire supérieur à 1. Ceci indique que le bassin versant de béni Haroun est de forme rectangulaire

I.3.4. 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:

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

Avec : C : indice de compacité;

S : Superficie du bassin versant (km²);

L : longueur du rectangle équivalent en km.

On obtient :

$$L = \frac{1.31 \cdot \sqrt{5328}}{1.128} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.31} \right)^2} \right]$$

L=171.30 km. Tableau (I-03)

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

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

On obtient :

$$l = \frac{1.31 \cdot \sqrt{5328}}{1.128} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.31} \right)^2} \right]$$

l = 31,10 Km.

I.4. Les indices des reliefs (indices hypsométriques) :

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, d'infiltration, et d'évaporation. C'est un élément essentiel dans le comportement hydrologique d'un bassin versant. Le but recherché, est la détermination :

- Les classes du relief.
- La hauteur moyenne et médiane.
- La pente moyenne et médiane.

Les résultats figurant dans le tableau (I-01) permettent de déduire ce qui suit :

- La hauteur maximale dans le bassin est de 1729 m. Elle correspond au sommet de Djebel Guerion à la partie Nord-est du bassin.
- La hauteur minimale est de 173 m, ce qui donne une dénivelée simple de 670m.

Dans le Tableau (I-01) on a présenté les indices des reliefs :

Tableau (I-01): les indices de relief [24] .

Paramètres Sous bassins	S (Km ²)	P (Km)	Lwp (Km)	L(MAX) (Km)	Lp (km)	Lt (km)	L(tota)l (km)	H(max) (m)	H(min) (m)
Rhumel Amont	1217	162.5	58.93	52	322.6	430.2	752.8	1212	719
Rhumel-seguen	1162	200.7	53.8	59.7	312.8	511.1	823.9	1285	548
Boumerzoug	1868	217.9	81.1	62.1	534.3	724.7	1259	1729	608
Rhumel-smendou	1081	170.1	81.74	49	649.2	263.6	912.8	1256	173
Bassin (Kébir-Rhumel)	5328	404.8	161.1	90.3	1818.9	1929.6	3748.5	1729	173

Avec :

- S : La superficie du B.V (km²).
- P : Périmètre du B.V (km).
- Lwp : La longueur totale du talweg principal (km).
- L.max : La longueur maximale du B.V (km).
- Lp : La longueur du triangle équivalent (km)
- H.max : La hauteur maximale dans le B.V (m).
- H.min : La hauteur minimale dans le B.V en mètre.

• **La courbe hypsométrique :**

Cette courbe est représentée graphiquement sur la **Fig. (I-04):**

Nous obtenons la répartition altimétrique des surfaces du bassin versant (Kébir-Rhumel), Tableau (I- 01-02) qui nous permet de représenter les courbes suivantes :

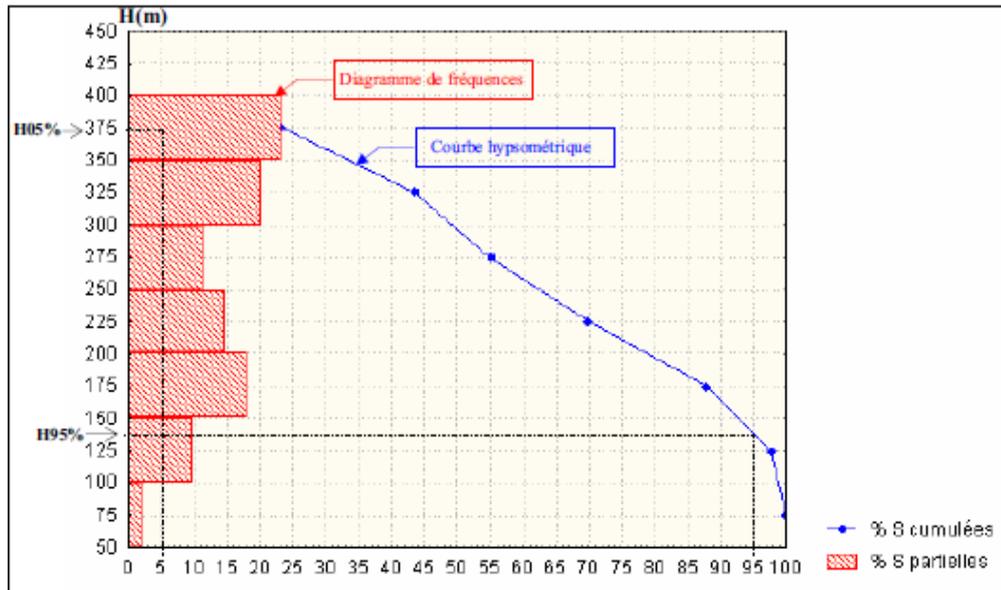


Figure (I-04) : la courbe hypsométrique et le diagramme de fréquences altimétrique Bassin (Kébir-Rhumel) [24]

Tableau (I-02): les indices de relief du bassin versant (Kébir-Rhumel) . [24]

Paramètres	H	H 95% (m)	H 5% (m)	D (m)	Ig (m/km)	DS (m)	Io	Ir
Sous bassin								
Rhumel-amont	1413.19	/	/	/	/	/	0.00005	0.023
Rhumel-segun	2162.04	/	/	/	/	/	0.00012	0.019
Boumerzoug	2593.68	/	/	/	/	/	0.00017	0.030
Rhumel-smendou	3293.94	/	/	/	/	/	0.00027	0.022
Bassin(Kébir-Rhumel)	2131.71	410	1080	670	3.91	285.50	0.00011	0.059

I.4.1. Les indices de taille et de forme :

La forme et la taille d'un bassin jouent un rôle important dans la propagation et la genèse de l'écoulement superficiel et la généralisation des crues lors des épisodes pluvieux sur les indices morpho métriques suivants :

1. L'indice de compacité (Ic), $Ic = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$
2. L'indice de circularité (Icr), $Icr = \frac{4 * \pi * S}{p^2}$
3. L'indice d'élongation (E), $E = \frac{2 * \sqrt{\frac{S}{\pi}}}{Lmax}$
4. L'indice de forme (If), $If = \frac{S}{[Lmax]^2}$

Tableau (I-03): les indices de taille et de forme du bassin versant (Kébir-Rhumel). [24]

Paramètres / Sous bassin	Ic	Icr	Dcr	If	L	I
Rhumel amont	1.30	0.58	0.76	0.45	61.44	19.81
Rhumel-seguen	1.65	0.36	0.64	0.33	86.99	13.36
Boumerzoug	1.41	0.49	0.79	0.48	87.63	21.32
Rhumel-smendou	1.45	0.47	0.76	0.45	69.5	15.56
Bassin ben Haroun	1.55	0.41	0.91	0.65	171.30	31.10

I.4.2. Les indice du réseau hydrographique ;

Ces indices ont pour but de déterminer les caractéristiques morphométriques du réseau de drainage. A ce titre, on peut axer l'analyse morphométrique du réseau de drainage seulement sur deux indices jugés importants [6] :

I.5. La densité de drainage :

La densité de drainage est définie pour un bassin donné de superficie (S), comme la longueur totale des cours d'eau de tous ordres sur la surface drainée. Elle est liée par deux facteurs principaux, la lithologie est l'abondance des précipitations. On calcul suivant les formule :

$$Dd = \frac{\sum Lx}{S}$$

- La densité temporaire :

$$Ddt = \frac{\sum Lxt}{St}$$

- La densité permanente : $Ddp = \frac{\sum LXp}{Sp}$

I.6. Le temps de concentration (TC) :

Le temps de concentration est un indicateur de temps que mettra la première goutte tombée au point hydrologique le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire.

Le temps de concentration peut être déterminé en utilisant plusieurs formules empiriques, dans le cas du bassin de (Kébir-Rhumel), le temps de concentration est calculé sur la base de la formule de Giandotti :

$$Tc = \frac{4 * \sqrt{S} + 1.5 * Lwp}{0.8 * \sqrt{Hm}}$$

Le **Tableau (I-04)**: résume les résultats obtenus de la densité de drainage globale, permanente, temporaire et le temps de concentration :

Tableau (I-04): les indices de l'organisation du réseau hydrographique bassin versant (Kébir-Rhumel) [6] .

Paramètres Sous bassin	DPd (km/km ²)	Ddt (km/km ²)	Dd (km/km ²)	Tc (Heures)
Rhumeamont	0.27	0.35	0.62	18.15
Rhumel- seguen	0.27	0.44	0.71	14.13
Boumerzoug	0.29	0.39	0.67	15.55
Rhumel- smendou	0.60	0.24	0.84	13.65
bassin(Kébir- Rhumel)	0.34	0.36	0.70	23.91

I.7. Les altitudes :

Les altitudes dans le bassin de notre étude varient de 200 à 1700 m.

Le tableau ci-dessous, montre les tranches d'altitudes dans le bassin. Les fréquences altimétriques apportent plusieurs précisions. La classe maximum de la courbe des fréquences altimétriques, se situe entre 800 et 900 m, avec une superficie de 1461,2 km² de l'aire réceptrice du bassin

Tableau (I-05): Les classes des altitudes dans le bassin versant (Kébir-Rhumel) [6]

Classes d'altitudes	Superficie (Km ²)
<200	20.81
200 -300	69.19
300 -400	178.07
400 -500	263.23
500 - 600	253.55
600 -700	446.38
700 -800	1337.93
800 -900	1461.32
900 -1000	1145.22
1000 -1100	88.55
1100 -1200	42.34
1200 -1300	18.51
>1400	2.90
TOTAL	5328

I.8. Les pentes :

Calculées par le programme MAPINFO, sur la carte établie par S.Touil (2001), les classes des pentes sont les suivantes :

➤ **La classe très faible (<3%) :**

D'une superficie de 2671,20 km², soit 50,14% de la surface totale du bassin, cette classe de pente y est très répandue, elle regroupe la partie des hautes plaines au sud du bassin et les bords des oueds, constitués de formations quaternaires. Ces zones à topographie plus ou moins planes.

➤ **La classe moyenne (3-25%) :**

La superficie de cette classe est de 1722, 59 km², soit 32,33% de la superficie totale du bassin versant (Kébir-Rhumel). Cette classe désigne les piedmonts montagneux des Djebels Kellel, Bergli, Lakhal et Chettaba au Nord Est du bassin, les piedmonts de Djebels Oum Settas, Felten, elle concerne des zones dans la partie centrale du bassin, et au Sud Est du bassin aux piedmonts du Dj.Guerioun, constituées essentiellement de formations miopliocène exposés au ruissellement à caractère torrentiel [6].

➤ **La classe forte (25-35%) :**

Cette catégorie de pentes désigne les versants montagneux, d'une superficie de 559,85 km², soit 10,5 % de la superficie totale du bassin versant (Kébir-Rhumel). Elle apparaît sur les versants de Djebel Chettaba au Nord - Est du bassin, au centre sur les versants de Djebels Felten et Oum Settas, et en grande partie au nord sur le versant Sud de la chaîne numidique [6].

➤ **La classe très forte (>35%) :**

Cette classe est la moins répandue dans le bassin, d'une superficie de 237,56 km², soit 4,45 % de la superficie totale du bassin versant (Kébir-Rhumel). Elle désigne les sommets montagneux des djebels Sidi Driss, Bit Djezia au Nord du bassin, Ouahch au Nord -Est, et les versants des chaînes calcaires des Djebels Oum Settas à l'Est du bassin, et Guerioun Nif N'sser au Sud du bassin [6].

Tableau (I-06) : Les Caractéristiques morpho métriques du bassin versant

(Kébir - Rhumel)

Caractéristiques morpho métriques du bassin versant	Valeur correspondante
Superficie (S) en km ²	5328
Périmètre (P) en km	404.8
Indice de Gravilius (C)	1.55
Longueur du rectangle équivalent (L) en km	70.17
Largeur du rectangle équivalent (B) en km	31.49

I.8. Conclusion :

Notre bassin versant du **(Kébir - Rhumel)**, couvre une surface de **5328 Km²** un périmètre de **404,8 Km**.

Le bassin à une forme rectangle équivalent puisque il possède un coefficient égale à 1,55.

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

Chapitre II

Cadre géologique

II.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 Fig (II-02).

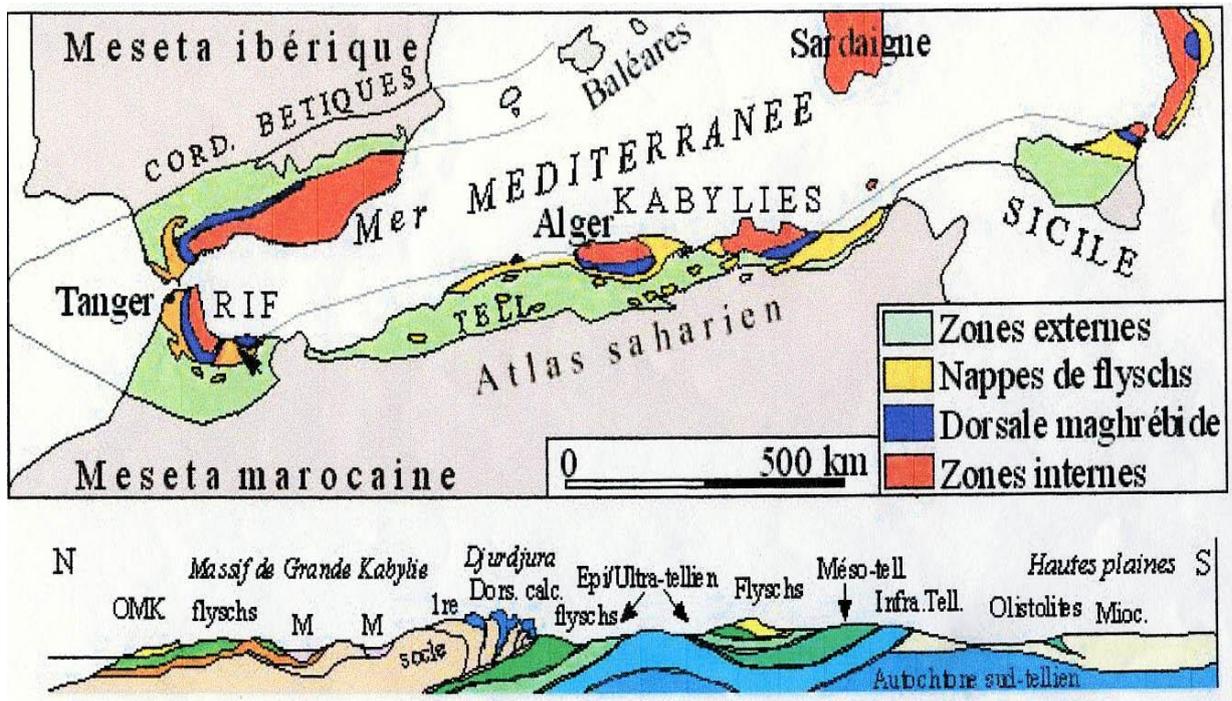


Fig (II-01) : Schéma structural de la méditerranée occidentale [1]

En Algérie, la branche Sud de la chaîne Alpine est subdivisée en deux grands domaines [6]

- **Le domaine interne:** situé au Nord, il comporte les formations cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire, cet ensemble est largement charrié vers le Sud .
- **Le domaine externe :** situé plus au Sud, il comporte les formations des flysch et les formations telliennes. ces formations telliennes reposent partiellement sur l'autochtone Saharien .

II .1.1. Le domaine interne :

Il regroupe le socle Kabyle et sa couverture sédimentaire.

II .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 flysch et les formations telliennes .

II .1.1.2. La couverture sédimentaire du socle kabyle :

II .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 [6].

1. La dorsale interne :

Qui montre sur un soubassement paléozoïque une série complète du Permien-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.

II .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 .

II .1.1.2.3. Les Ollistostromes :

Ce sont des formations tectono-sédimentaires à débris de flysch intercalés dans des passées grés-micacés. L'âge de ces formations est supposé Aquitanien à Burdigalien inférieur probable .

II .1.2. Le domaine externe :

Il correspond au domaine de flysch et au domaine tellien.

II .1.2.1. Les séries de type flysch :

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 .

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 pélito-quartzitique.
- Un Cénomanién micro bréchique 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.

A la base : des argiles sous numidiennes, vari-colores de teinte rougeverte ou violacée à tubatomaculum d'âge Oligocène supérieur.

- Des grès numidiens de couleur jaunâtre à blanchâtre en bancs épais à quartz rouléstrès hétérogènes d'âge Aquitaniens à Burdigaliens inférieurs (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.

II.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.

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.

- **Une série méso-tellienne :**

Cette série correspond aux formations carbonatées du Jurassique. Elle est considérée comme la couverture de la plate-forme constantinoise.

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).

II.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.

- **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.

II.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 réduite (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).

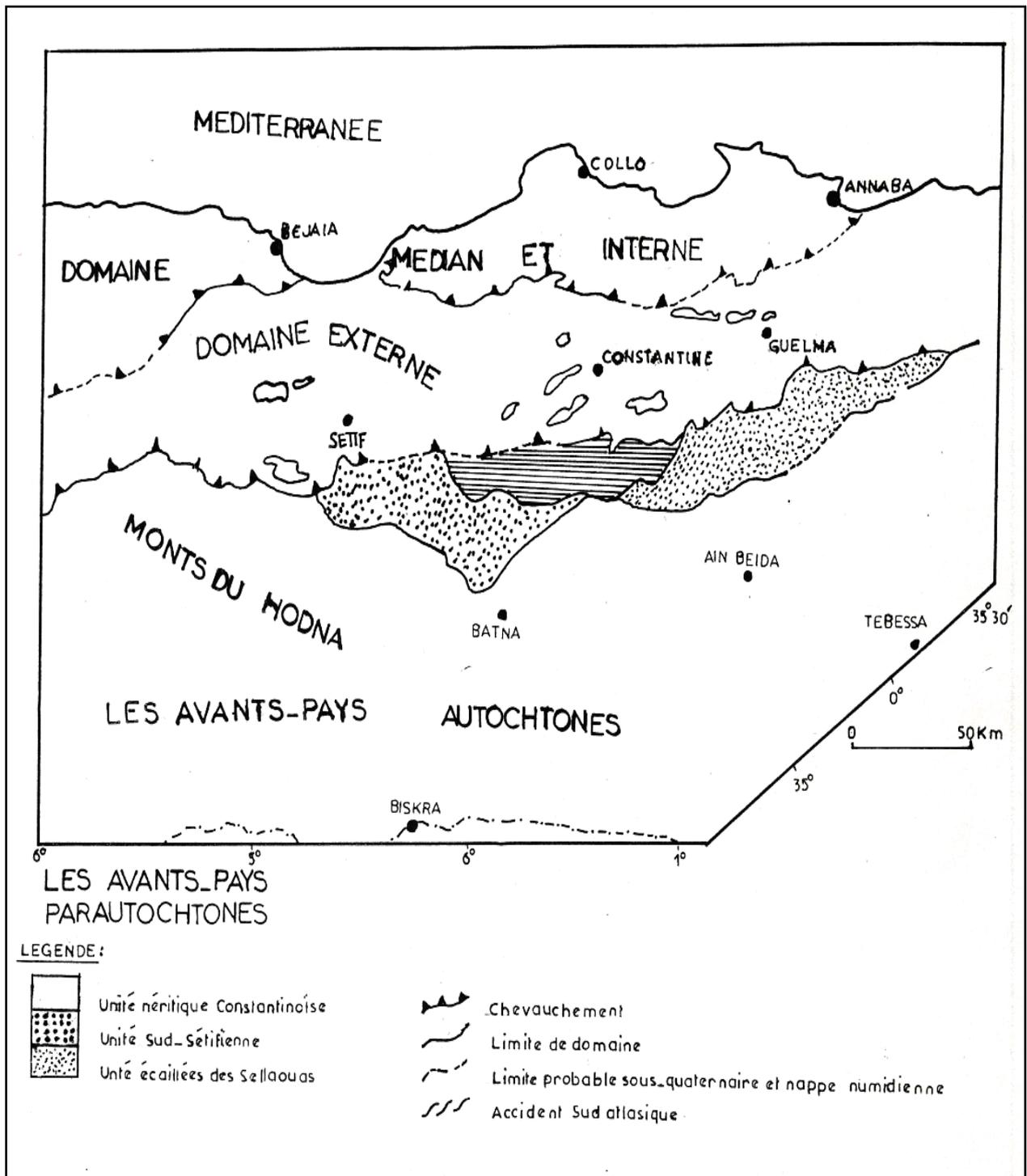


Figure (II-2): Esquisse structurale du Nord- Est Algérien [1].

II.2. Géologie locale :

II.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 .

II.2.1.1. Synthèse lithostratigraphique du bassin de Mila :

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

II.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).

II.2.1.3. Les formations du jurassique :

Les formations du jurassique affleurent au Djebel Chettaba, Djebel Akhal et M'cid 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.

II.2.1.4. Les formations du Crétacé inférieur et supérieur :

- 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).

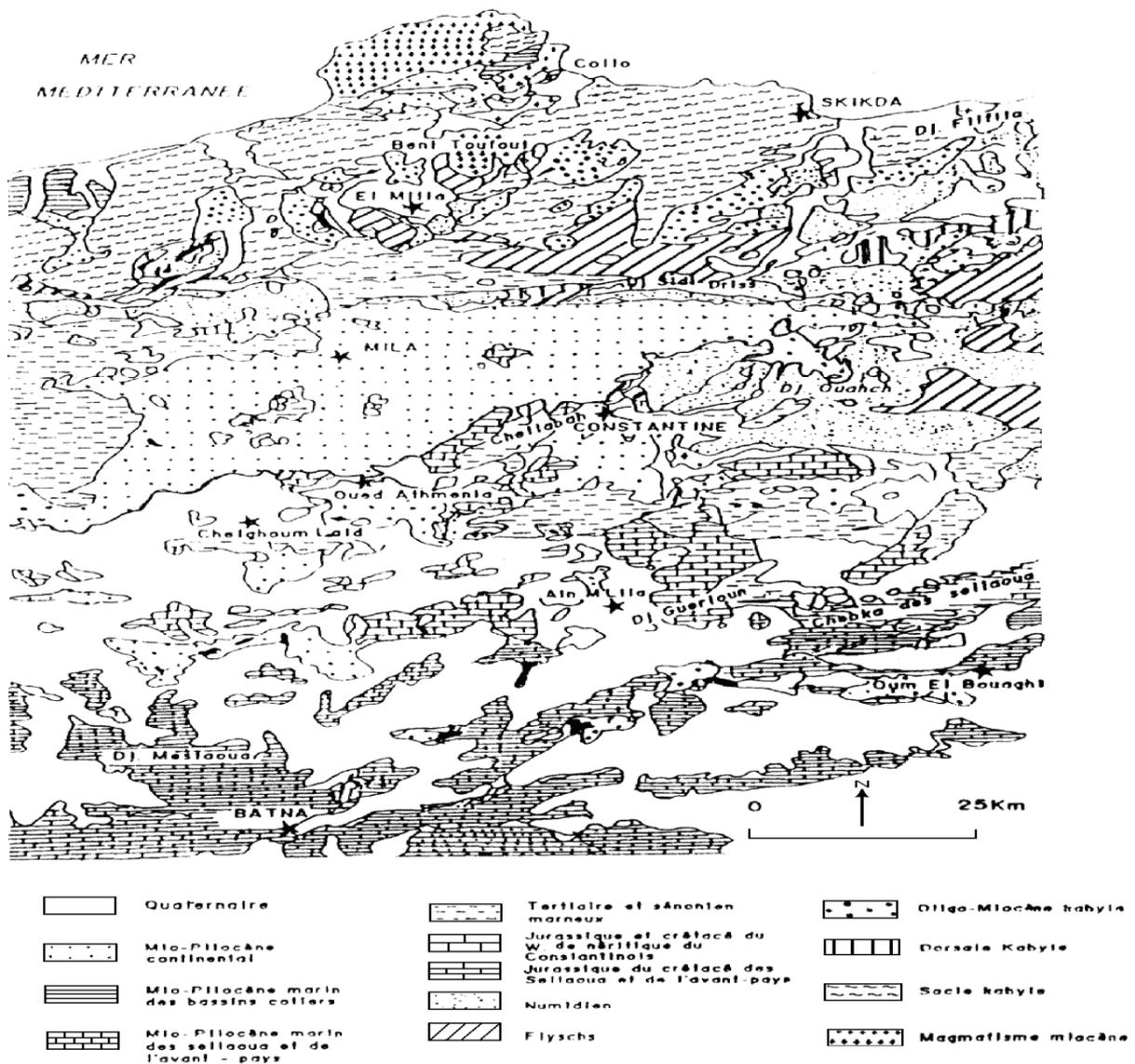
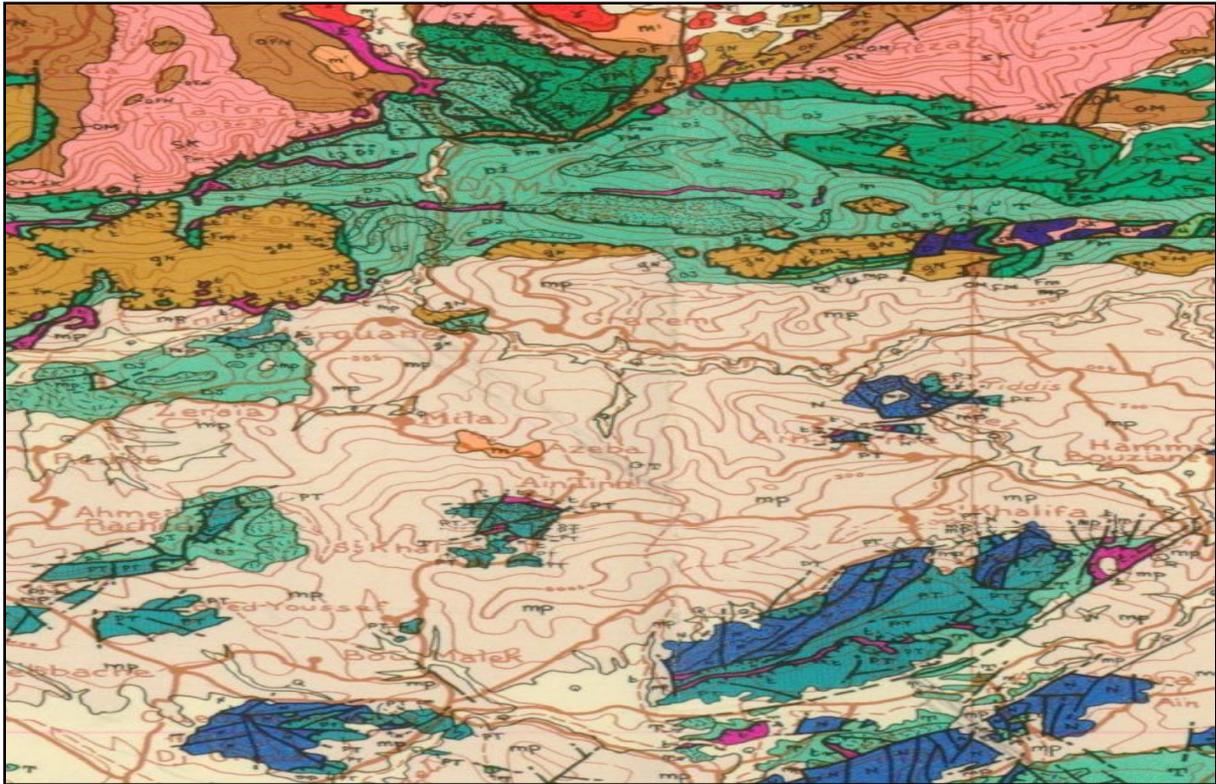


Figure (II-3): Carte géologique synthétique du bassin constantinois. [5]



ROCHES ERUPTIVES RÉCENTES

- γ Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.
- Θ Complexe stratifié de Yaddène et roches effusives de la région d'Hammam Meskoutine (Θ).

ROCHES RÉCENTES ET CYCLES POSTÉRIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR

- q Quaternaire indifférencié (Villafranchien à actuel).
- p Pliocène marin des zones côtières.
- mp Mio-Pliocène continental.
- m' Burdigalien supérieur-Langhien de la marge littorale.
- m Miocène marin transgressif indifférencié des nappes telliennes et de leur avant-pays allochtone, parautochtone ou autochtone.

SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE

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

NAPPE NUMIDIENNE

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

NAPPES DE FLYSCHS KABYLES

FLYSCHS MAURÉTANIENS

- FM Séries internes d'Aïn Naceur, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de Bou Tafab, 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 (Penchèvre) Séries externes (ex-"Medjanien") et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mez-zouch et de Ziane.
- FM Cas de la série des Achaïches (série médiane).
1- Crétacé
2- Jurassique
3- Perno-Trias et Carbonifère.
- UAB Unité Sendouah-Labelloût à substratum basique.

FLYSCHS MASSYLIENS

- Fm Séries typiques à phanites ou à brèches vertes et rouges.
- Fw Cas de la série du Qjebel Filfila
1- Crétacé
2- Jurassique.
- Unités de type Adissa et Sénonien marneux à microbrèches ou à blocs.
A- Eocène
F- Sénonien marneux à microbrèches ou à blocs.

Figure (II-04): Carte géologique du bassin de Mila [24].

- **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.

II.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 flyschöïde. 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).

II.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).

II.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.

II.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.

II.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.

II.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 (épaisseurs de 2 à 15cm). On trouve

également de minces couches de marnes schisteuses en intercalation avec les calcaires.

II.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.

II.2.2.4. Les microconglomérats et grès sableux :

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

II.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.

II.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.

II.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.

II.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 Fig(I-05) .

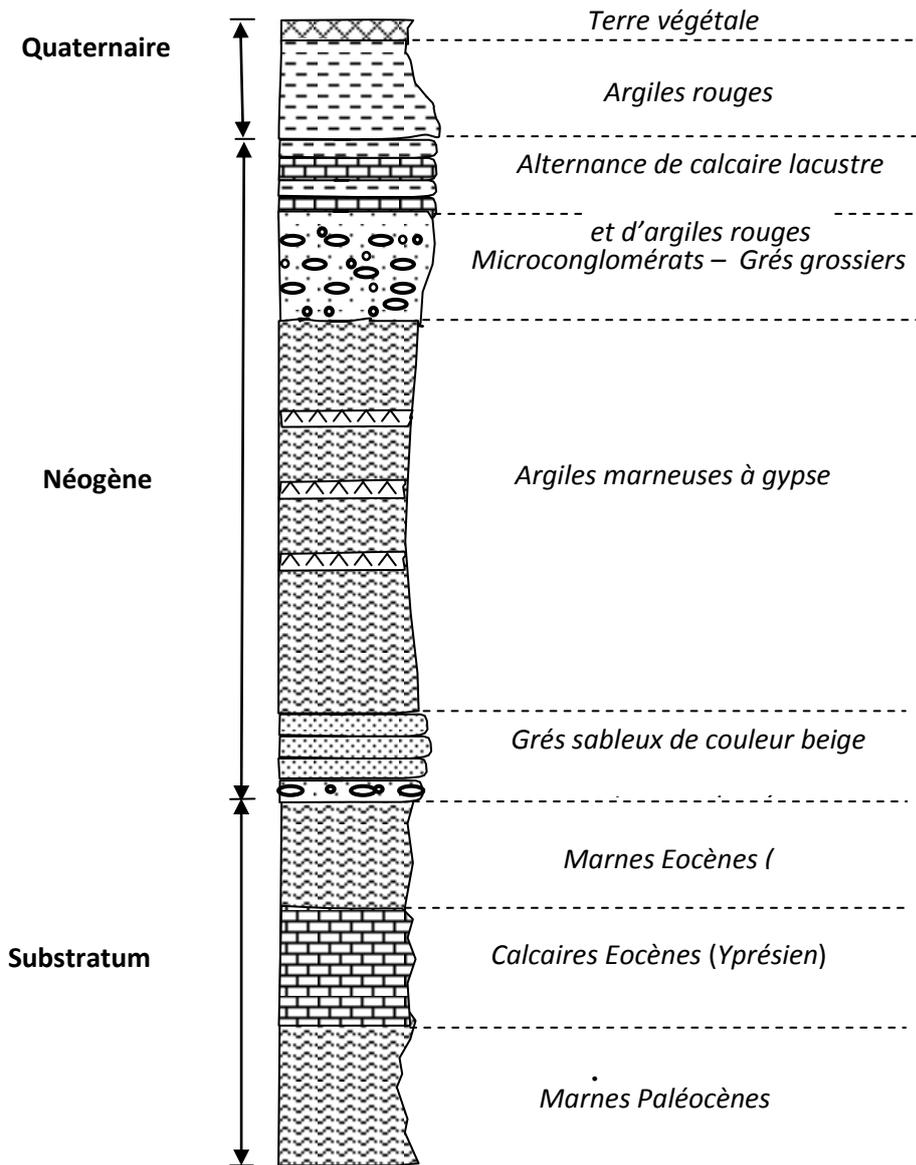


Figure (II-5): Colonne lithostratigraphique du versant Est du barrage de Béni Haroun [31]

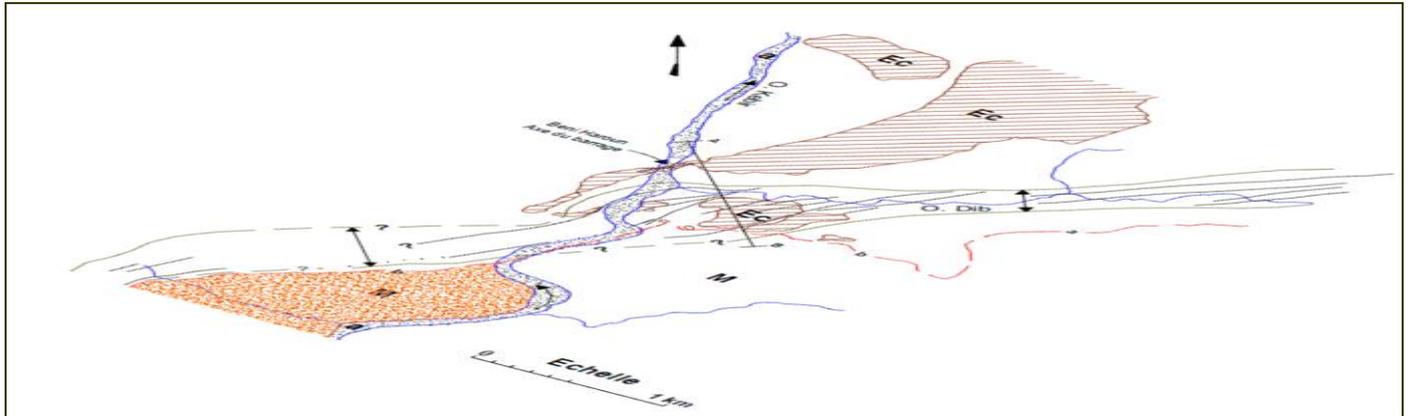


Figure (II-6) : Carte géologique du site de l'étude [31]

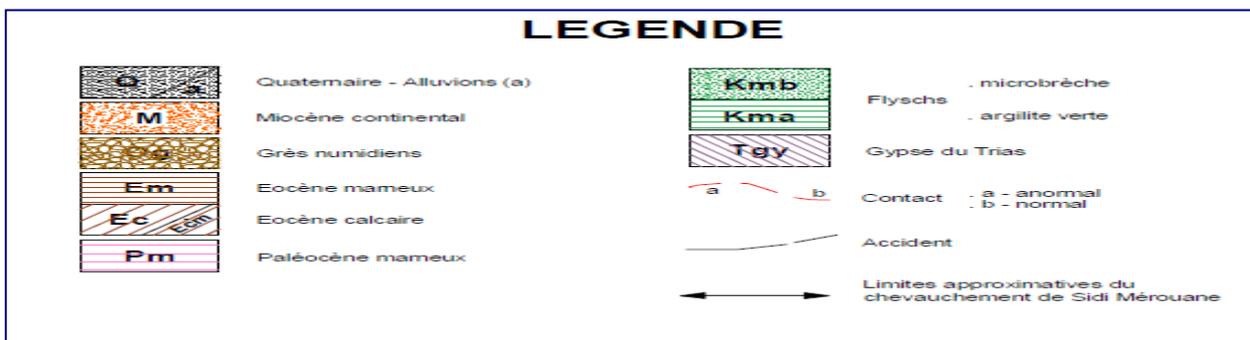
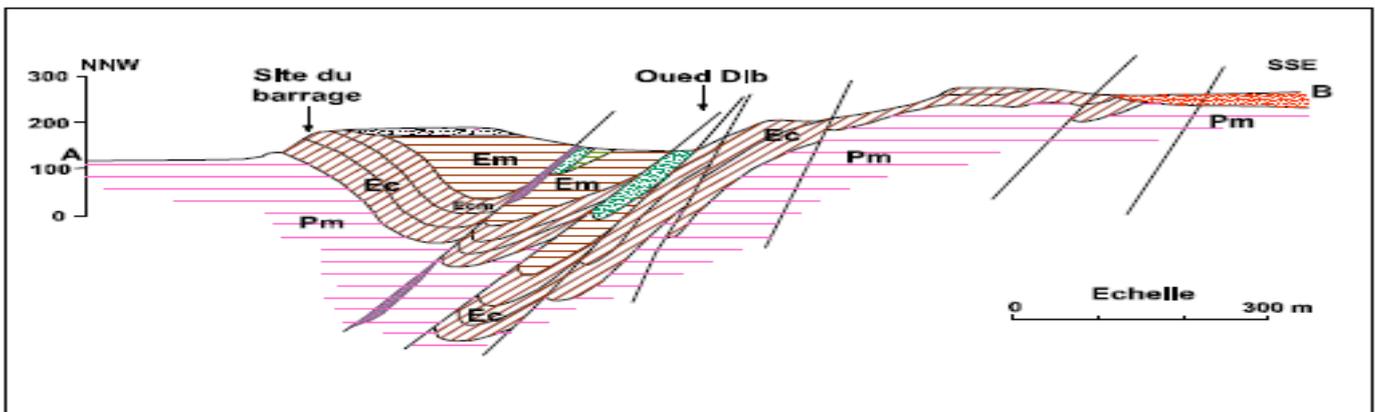


Figure (II-7): Coupe géologique NNW – SSE de site de l'étude [31]

II.3. Conclusion :

Le chapitre consacré à la géologie a montré que la région à l'étude présente une géologie très hétérogène caractérisée par des formations sédimentaires. Dans l'âge le plus ancien, on trouve le Trias jurassique quaternaire constituée généralement par les calcaires, les grès, les marnes et les alluvions.

Chapitre III
Cadre
hydroclimatologie

III.1 Cadre hydroclimatologique :

III.1.1 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 :

- Evapotranspiration potentielle (ETP)
- Evapotranspiration réelle (ETR)
- de l'infiltration (I)
- précipitation (P) et température (T)

III.1.2. Le Climat de l'Algérie :

Le climat est de type méditerranéen sur toute la frange nord de l'Algérie qui englobe le littoral et l'Atlas tellien (été chaud et sec, hiver humide et froid), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas saharien.

III.1.3. Climat du barrage de Béni Haroun :

Le barrage de Béni Haroun est situé sur l'Oued E'lkébir à environ 50 km de la confluence de oued Endja et l'Oued Rhumel.

Le bassin de l'Oued Endja, appartient à la région de l'Algérie 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 Seybouse.

Le bassin du Béni Haroun comprend deux secteurs bien distincts : Le secteur occidentale, bien montagneux (les côtes sont d'environ 1400 m) et plus pluvieux, formée par le bassin de l'Oued Endja est caractérisé par un régime des pluies relativement élevé (en moyenne, environ 700 mm/an). Dans le bassin il couvre une superficie du bassin oued Endja 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 628.38 mm/an en moyenne) (Tableau I.01). 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 Kébir.

III.1.3.1 Étude des paramètres climatiques:

III.1.3.1.1 Les précipitations :

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.

III.1.3.1.2. La pluviométrie moyenne annuelle :

On dispose d'une série de mesure hydrométrique réalisée par l'agence nationale des ressources hydrique (ANRH) a la station de Béni Haroun par une série pluviométrique durant 32 ans de (1984 à 2015).

Pour cette période, on remarque que le maximum a été observé en **1984** avec **1066,09 mm**, et le minimum en **2007** avec **63.71 mm**.

Le tableau (III.01) montre que l'année la plus pluvieuse été enregistré a l'année 1984, où les précipitations dépasse les 1000 mm.

Tableau. (III- 01) : Précipitation moyennes annuelles à la station de Béni Haroun(1984-2015)

Année	P (mm)	Année	P (mm)
1984	1 066,09	2000	228,09
1985	635,87	2001	285,18
1986	869,54	2002	381,81
1987	516,28	2003	451,31
1988	720,56	2004	778,90
1989	491,43	2005	641,90
1990	822,11	2006	526,60
1991	682,00	2007	63,71
1992	702,19	2008	792,80
1993	429,56	2009	751,30
1994	718,76	2010	607,10
1995	573,58	2011	600,70
1996	441,78	2012	705,20
1997	738,08	2013	859,00
1998	475,74	2014	706,00
1999	445,38	2015	761,60

Nous traduisons le **Tableau. (III-01)** dans un graphe **Figure (III-01)** où en retrouve en abscisse les années et en ordonnées les précipitations annuelles.

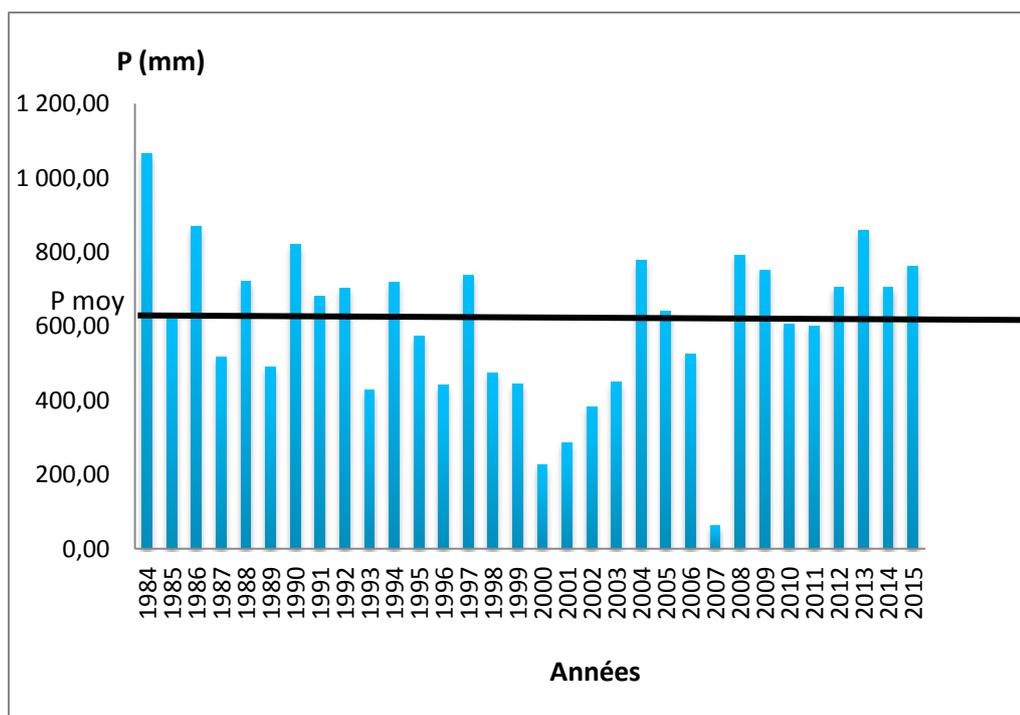


Figure (III-01) : Histogramme des précipitations moyennes annuelles (Station béni Haroun 1984 - 2015)

III.1.3.1.3 Précipitations moyennes mensuelles :

L’histogramme figure(III.02) des précipitations mensuelles montre la variation des précipitations d’un mois à un autre, le mois de Décembre est le mois où ci enregistre le maximum des précipitations (120.8 mm), Le minimum, à la station est enregistré au mois de juillet (2.01 mm) tableau (III-02)

Tableau. (III-02) : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Béni Haroun

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU
P (mm)	30,18	42,40	75,94	120,80	107,05	81,75	65,20	56,20	30,56	12,34	2,01	3,93

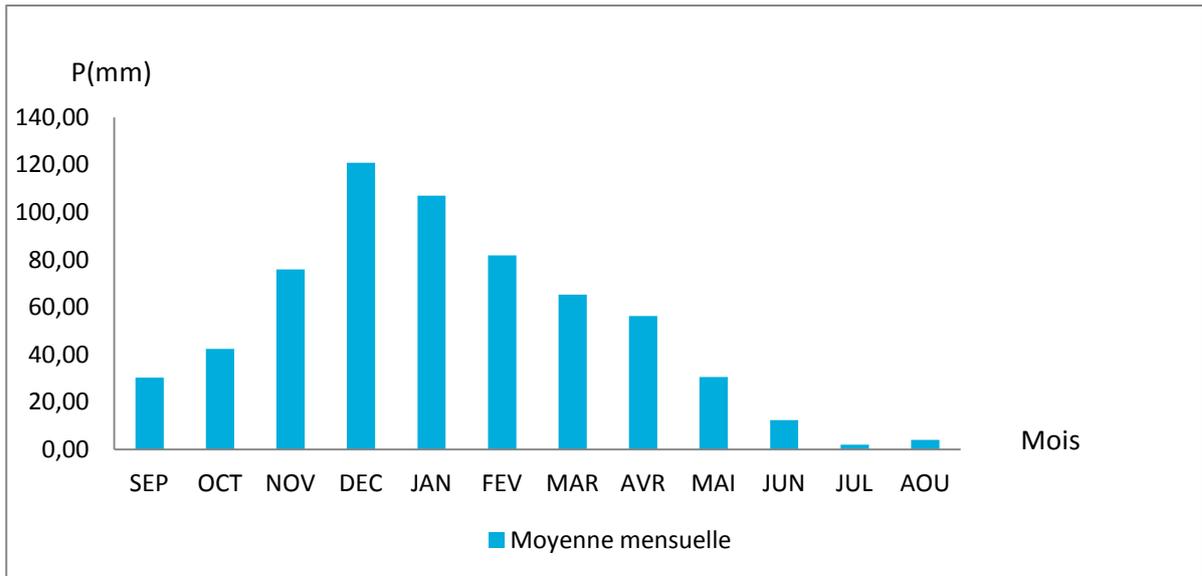


Figure (III-02) : Histogramme de distribution des précipitations mensuelles.

III.1.3.1.4 Précipitations moyennes saisonnières:

Tableau (III-03) : précipitation saisonnière (station béni Haroun)

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P moyenne saisonnière (mm)	148.52	309.6	151.96	20.44
P (%)	23,64	49,27	24,18	2,91

La Figure (III-03) montre la répartition saisonnière des précipitations, où la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec une précipitation de 309.6 mm soit 49.27% de précipitation globale.

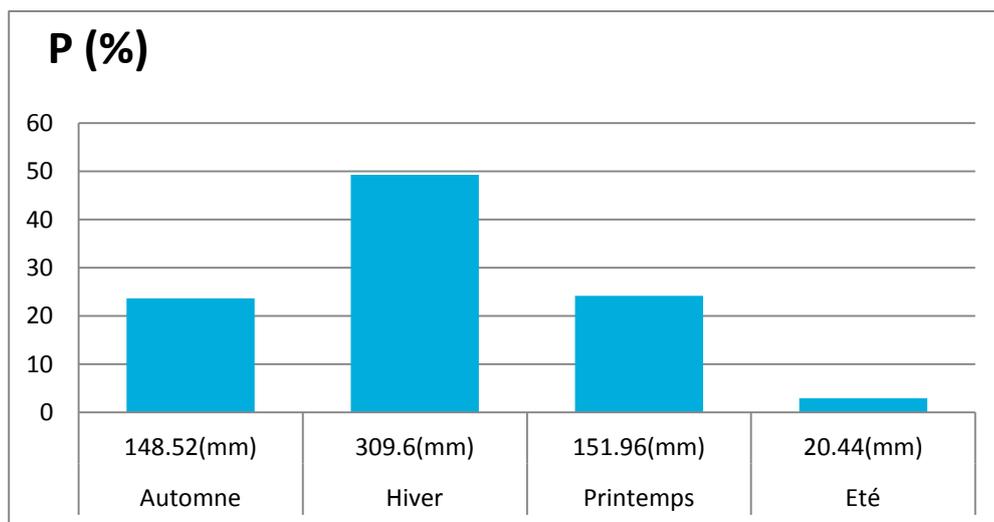


Figure (III-03) : Histogramme des précipitations saisonnières

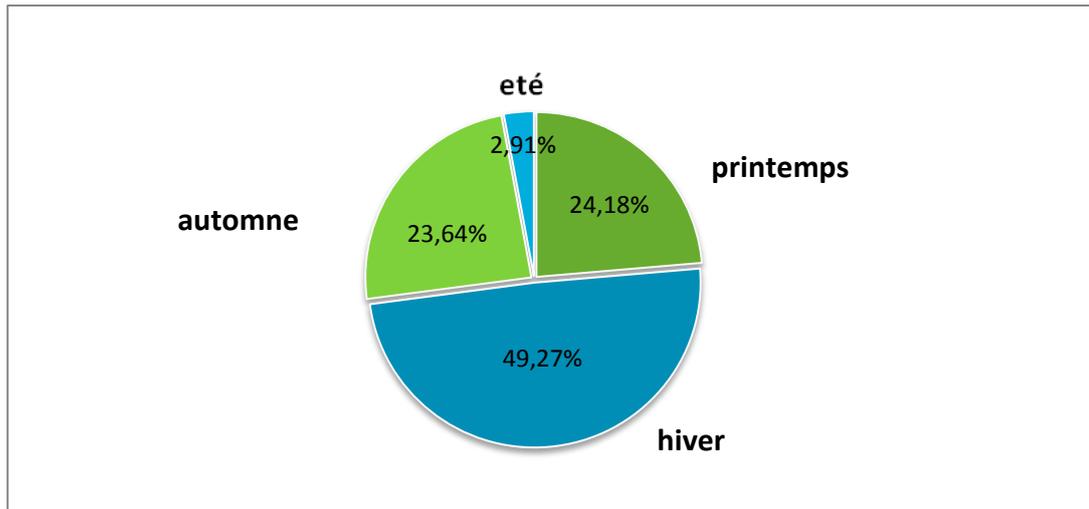


Figure (III-04) : Répartition de précipitations saisonnières

III.1.3.2 Les températures :

Introduction :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent directement sur le climat qui a une interaction avec des 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.

III.1.3.2.1 Les températures moyennes mensuelles :

L'examen des Tableau(III-04) montre bien que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de **19.30 °C** pour la station de Béni 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 °** et le mois plus froid est février **8.85 C °**

Tableau (III-04) : Les moyennes mensuelles des températures interannuelles (station Béni Haroun 1984-2015)

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	T (moy)
T moyenne mensuelle (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
T MAX (C°)	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 (C°)	24,27	20,96	14,48	11,83	9,77	8,85	11,2	12,41	16,98	21,98	24,43	23,25	

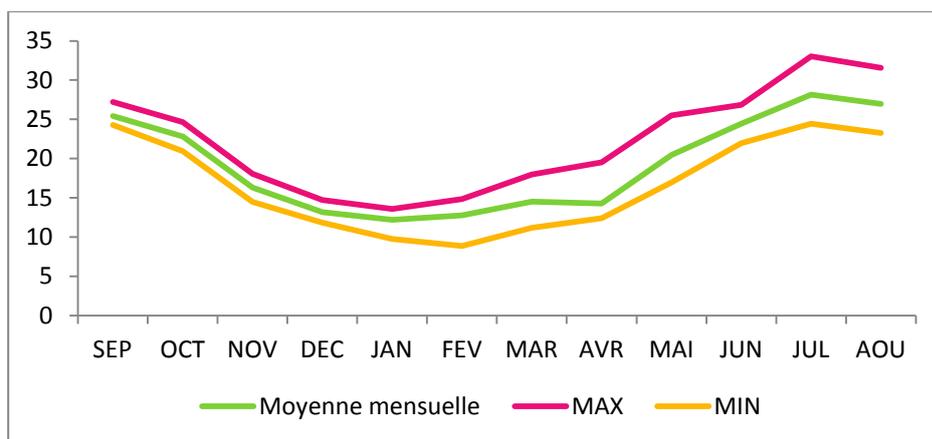


Figure (III-05) : Courbe de l'évolution des températures mensuelles.

III.1.3.2.1. Les températures moyennes annuelles :

La moyenne annuelle de la température est de l'ordre **19.30°C**.

Tableau. (III-05) : Températures moyennes annuelles en °C

(Station Béni Haroun 1984 – 2015)

Année	TC°(Moyenne)	Année	TC°(Moyenne)
1984	19,18	2000	18,95
1985	19,4	2001	19,17
1986	19,41	2002	19,3
1987	19,4	2003	18,53
1988	19,35	2004	19,11
1989	19,27	2005	19,57
1990	18,97	2006	20,33
1991	19,08	2007	20,31
1992	19,03	2008	20,31
1993	19,11	2009	20,63
1994	19,92	2010	19,13
1995	19,21	2011	19,05
1996	19,19	2012	17,73
1997	19,32	2013	17,7
1998	18,48	2014	17,4
1999	19,12	2015	17

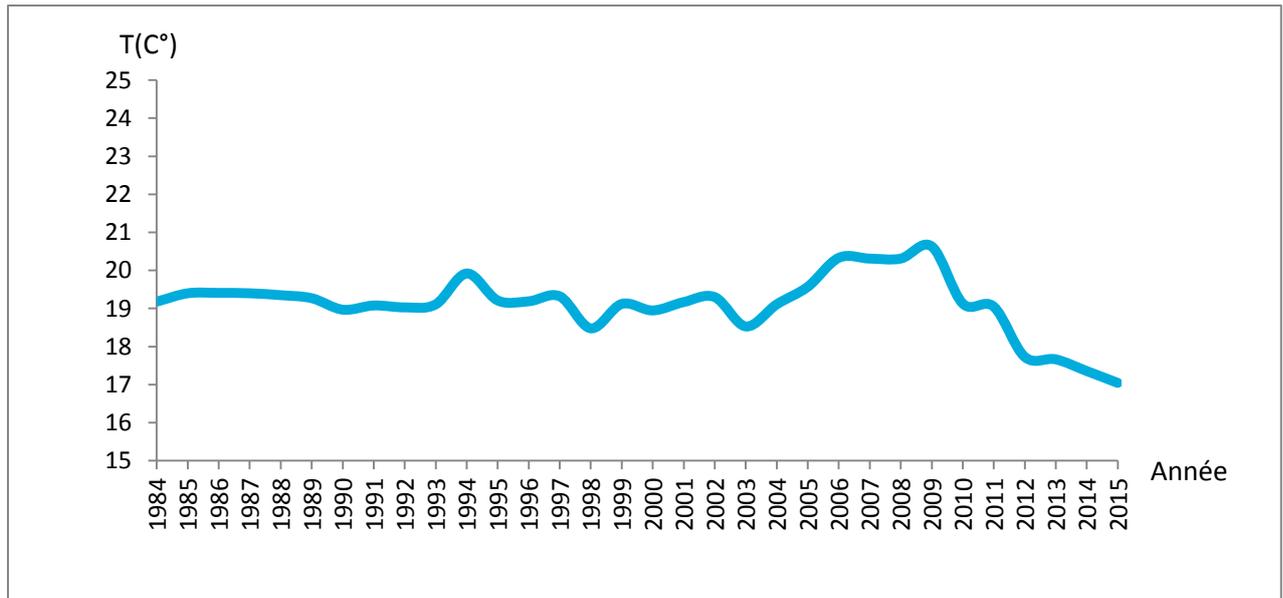


Figure (III-06) : La distribution des températures moyennes annuelles

(Station Béni Haroun 1984-2015)

III.1.3.4 Diagramme ombro-thermique :

D'après le graphe ombro-thermique établis selon la règle de Gausсен et Bagnouls on constate que :

Un mois sec est défini selon Gausсен et Bagnouls comme celui ayant un total de précipitation égale ou inférieur au double de la température moyenne du même mois ($P \leq 2T$).

- La courbe de précipitation se situe au dessus de la courbe thermique fin du mois d'octobre jusqu'au début d'mai,
- La période sèche s'étend début du mois d'mai au mois mi-octobre. Cette période s'étale sur plusieurs mois secs successifs.

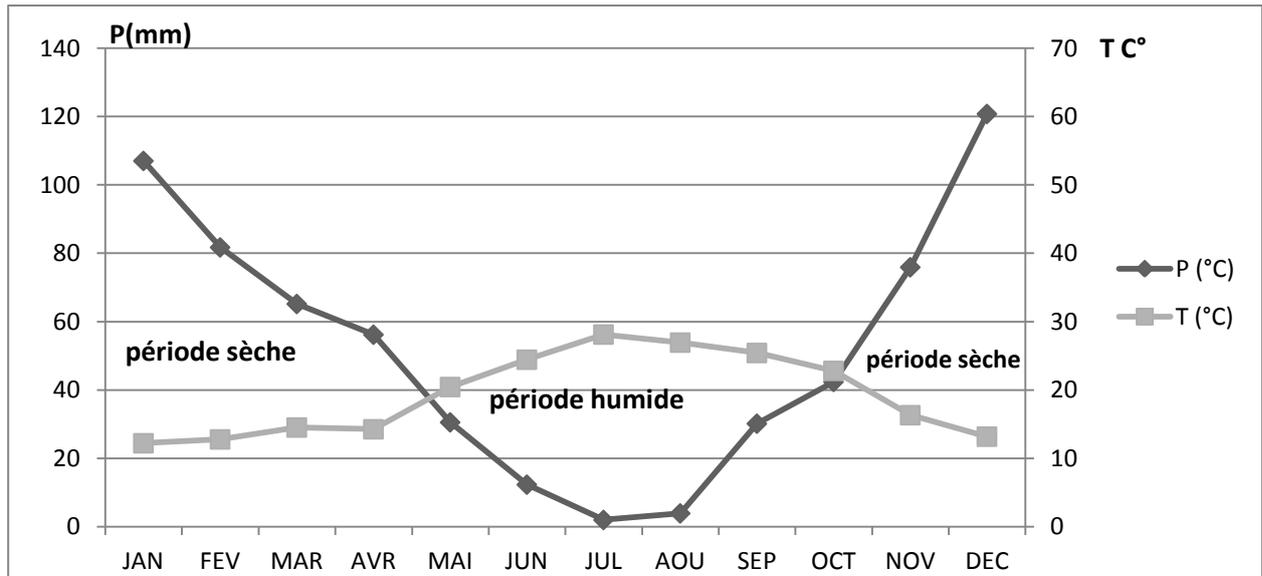


Figure (III-07) : Diagramme Ombro-thermique.(station beni Haroun 1984-2016)4

Les résultats représentées dans le **Figure (III-08)**, résultent la combinaison dans deux paramètres climatiques, il permet de déterminer la période sèche et humide.

D'après la figure **(III-08)**, la période sèche s'étend d'mi-octobre jusqu'à le début d'mai, et la période humide est entre début d'mai jusqu'à d'mi-octobre.

III.1.4 Indice de DEMARTONNE (aridité) :

DEMARTONNE au 1933 à introduit un indice d'aridité, fonction de température et précipitation

$$I = \frac{P}{T+10} \dots\dots\dots II-4$$

- I : Indice d'aridité de DEMARTONNE.
- P : Précipitation moyenne annuelle (mm).
- T : Température moyenne annuelle (°C).

- Selon Demartonne :
- I < 5 : Climat hyper-aride.
 - 5 < I < 7.5 : Climat très sec.
 - 7.5 < I < 10 : Climat sec.
 - 10 < I < 20 : Climat tempéré.
 - 20 < I < 30 : Climat humide.

III.1.4.1 la station de Béni Haroun :

P = 628.38 (mm)

T = 19.30 (C°)

$$I = \frac{628.38}{10 + 19.30} = 21.45$$

I = 21,45

Donc le climat est tempéré.

III.1.4.2. La station de Hamala Grarem :

Tableau.(III-06) : Précipitations moyennes mensuelles en (mm)

(Station de Hamala 1984 – 2015)

mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total(mm)
P moy (mm)	33,41	43,469	75,14	114,5	107,1	77,516	60,24	55,712	30,2	11,32	1,7112	5,731	616,04

Tableau.(III-07) :Températures moyennes mensuelles en °C

(station Hamala 1984 – 2015)

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	moy
TC° (moy)	22,78	18,23	12,76	9,67	8,11	9,71	11,78	14,14	18,87	22,89	26,64	27,01	16.88

P = 616.04 (mm)

T = 16.88 (C°)

$$I = \frac{616.04}{10 + 16.88} = 22.92$$

I = 22.92

D'après la formule DEMARTONNE ces stations Béni Haroun et Hamala sont caractérisées par un climat tempéré.

III.1.5. Bilan hydrique :

III.1.5.1 Station béni Haroun :

La réalisation de bilan hydrologique est indispensable pour l'évaluation des réserves d'eau transmises ou emmagasinées dans une région. Il est donné par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + Wa \dots\dots\dots II-5$$

Avec : P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

I : Infiltration (mm).

R : Ruissellement (mm).

Wa : variation des réserves (souvent négligeable).

III.1.5.1.1. 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.

III.1.5.1.2 Méthode de THORNTWAITE :

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

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

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

$$a = 0.016.I + 0.5$$

ETP: Evapotranspiration potentiel (cm).

T: Température moyenne annuelle (°C).

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

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

$$I = \sum_{In}^{12}$$

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

$$I = 95.94$$

$$a = 0.016 \cdot I + 0.5 = 2.04$$

Selon la méthode de THORNTWAITE, $ETP_c = 66.57 \text{ mm}$

Tableau (III-08) : Calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite (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	19,30
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	116,91	93,65	47,36	30,64	26,22	28,77	37,32	35,97	74,95	107,90	143,63	131,61	874,73

III.1.5.1.3. l'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle désigne les pertes d'eau sous forme de vapeur d'eau, elle correspond à une 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 d'ETR et de déficit d'écoulement nous utilisons des méthodes empiriques.

- 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.

a- Méthode de TURC :

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

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

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

$$P = 628,38 \text{ (mm)}$$

$$\text{Donc : } L = 1141,95$$

$$\text{Alors : } ETR = 572.96 \text{ mm}$$

$$I = 95.94$$

$$a = 2.04$$

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

B - Formule de COUTAGNE

Elle tient compte de la pluviométrie et de la température également et elle a la forme suivante :

$$D = P - m \cdot P^2$$

D : déficit d'écoulement [mm],

P : pluie annuelle [mm],

$m = 1/(0.8 + 0.16 T)$: coefficient régional ($m=0.42$ pour la France)

$$m = 0,29$$

$$D = 0,51 \text{ m/an}$$

C- méthode de Wundt :

La valeur d'ETR ou DE est déduit de diagramme de Wundt qui tient compte de la température et de la précipitation moyenne annule.

III.1.5.1.3. Calcul du bilan hydrologique pour la période :1984- 2015, Station de Beni Haroun :

Le calcul du bilan hydrique permet de qualifier les transfères d'eau issues des précipitation, et convient de caractériser un sol du point de vue sécheresse ou humidité.

Pour établir ce bilan, il faut d'abord calculer la RFU (réserve facilement utilisable), contenue dans le sol, il s'agit de la quantité d'eau que pourrait contenir un sol pour assurer le fonctionnement physiologique des plantes.

En se basant sur les paramètres climatiques majeurs P et ETP, on peut aussi calculer d'autres paramètres pour chaque mois qui sont : ETR, DA et l'excédent de bilan hydrique Tableau (III -09).

Tableau (III-09) : Bilan hydrologique - Station de Béni Haroun (1984-2015).

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	116,91	93,65	47,36	30,64	26,22	28,77	37,32	35,97	74,95	107,90	143,63	131,61	874,73
P (mm)	30,18	42,40	75,94	120,80	107,05	81,75	65,20	56,20	30,56	12,34	2,01	3,93	628,38
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETPc (mm)	120,41	90,84	40,73	25,73	22,81	24,46	38,44	39,57	90,68	131,64	178,10	152,66	956,07
RFU (mm)	0,00	0,00	35,21	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	39,88	0,00	0,00	0,00	575,09
ETR (mm)	30,18	42,40	40,73	25,73	22,81	24,46	38,44	39,57	90,68	52,22	2,01	3,93	413,16
P-ETP (mm)	-86,73	-51,25	28,58	90,17	80,84	52,98	27,88	20,23	-44,38	-95,56	-141,62	-127,67	/
EXD	0,00	0,00	0,00	30,28	84,24	57,29	26,76	16,63	0,00	0,00	0,00	0,00	215,22
DA	86,73	52,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,41	176,09	148,73	543,21

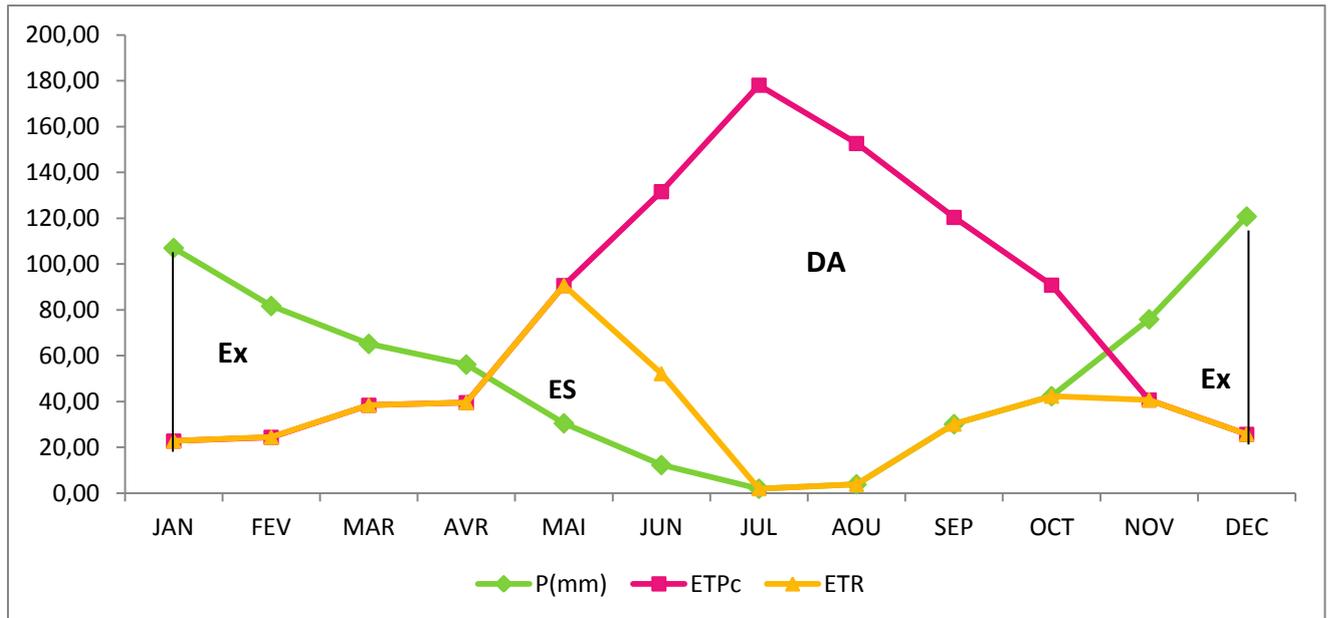


Figure (III-08) : Représentation graphique de différentes composantes du bilan hydrologique pour la Station de Béni Haroun (1984 – 2015)

DA : Déficit Agricole

EX : Excédent

ES : Epuisement de stock

III.1.5.1.4. Interprétation du bilan hydrologique :

On remarque dans Tableau (III -09) et Figure (III-08) montre que le DA commence à partir de Mi-mai et se prolonge jusqu’au fin d’Octobre a ce moment, il y’a une nécessité d’arroser (irrigation).

Au-delà de mois d’ Mi-octobre, il y’a recharge la RFU atteint son maximum. Mais à partir de 4ème semaine de Avril il y’a baisse de la RFU qui s’accompagne d’un épuisement du stock.

1. Estimation du ruissellement (R) :

Pour estimer le ruissellement superficiel, on utilise la formule de TIXERON-BERKALOFF

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

Avec : **P = 628.38 mm**

ETPc = 956,07

$$\Rightarrow R = \frac{(628,38)^3}{3 \cdot [874,73]^2}$$

$\Rightarrow R = 90.48 \text{ mm}$

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

$$R\% = \frac{90.48 \times 100}{628,38}$$

$R\% = 14.40 \%$

Donc le ruissellement représente **14,40 %** des précipitations.

2. Détermination de l'infiltration (I) :

$$P = \text{ETR} + R + I + W_a$$

Considérons : $W_a = 0$

$$P = \text{ETR} + R + I \Rightarrow I = P - \text{ETR} - R = E_x - R$$

$$I = 628.38 - 413,16 - 90.48 = 107,13 \text{ mm}$$

$I = 124.74 \text{ mm}$

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

$I\% = 19,85 \%$ de précipitations

III.1.5.2. Station de Hamala Grarem :

III.1.5.2.1 Evapotranspiration potentielle (ETP):

D'après les données de la station de Beni Haroun : **$I = 80.09$** et **$a = 1.78$**

Tableau (III-10) : Calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite (station Hamala)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
T (°C)	22,78	18,23	12,76	9,67	8,11	9,71	11,78	14,14	18,87	22,89	26,64	27,01	16,88
I	9,93	7,09	4,13	2,71	2,08	2,73	3,66	4,83	7,47	10	12,59	12,86	80,09
a	0,66	0,61	0,57	0,54	0,53	0,54	0,56	0,58	0,62	0,66	0,7	0,71	1,78
ETP (mm)	102,8	69,19	36,64	22,37	16,37	22,55	31,79	44,04	73,58	103,7	135,9	139,27	798,25

ETP = 784,48 mm

II.2.5.2.2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

ETR = 538,3 mm

III.1.5.2.3. Calcul du bilan hydrologique pour la station de Hamala Grarem 1984-2015):

I = 80,09

a = 1,78

RFU = 100 mm.

Tableau (III-11) : Bilan hydrologique - Station de Hamala Grarem (1984 - 2015).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
T	22,78	18,23	12,76	9,67	8,11	9,71	11,78	14,14	18,87	22,89	26,64	27,01	16,88
I	9,93	7,09	4,13	2,71	2,08	2,73	3,66	4,83	7,47	10,00	12,59	12,86	80,09
A	0,66	0,61	0,57	0,54	0,53	0,54	0,56	0,58	0,62	0,66	0,70	0,71	1,78
P	33,41	43,47	75,14	114,50	107,07	77,52	60,24	55,71	30,21	11,32	1,71	5,73	616,04
ETP	93,40	59,28	28,63	16,26	11,36	16,40	24,33	35,31	63,61	94,32	128,54	132,20	50,67
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	96,20	57,51	24,62	13,66	9,88	13,94	25,06	38,84	76,96	115,07	159,38	153,36	784,48
RFU	0,00	0,00	50,52	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	53,25	0,00	0,00	0,00	603,77
ETR	33,41	43,47	24,62	13,66	9,88	13,94	25,06	38,84	76,96	64,57	1,71	5,73	351,86
P-ETP	-59,99	-15,81	46,51	98,24	95,71	61,12	35,91	20,40	-33,40	-83,00	-126,83	-126,47	/
EXD	0,00	0,00	0,00	52,36	97,19	63,58	35,18	16,87	0,00	0,00	0,00	0,00	265,18
DA	59,99	15,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,50	157,67	147,63	431,61

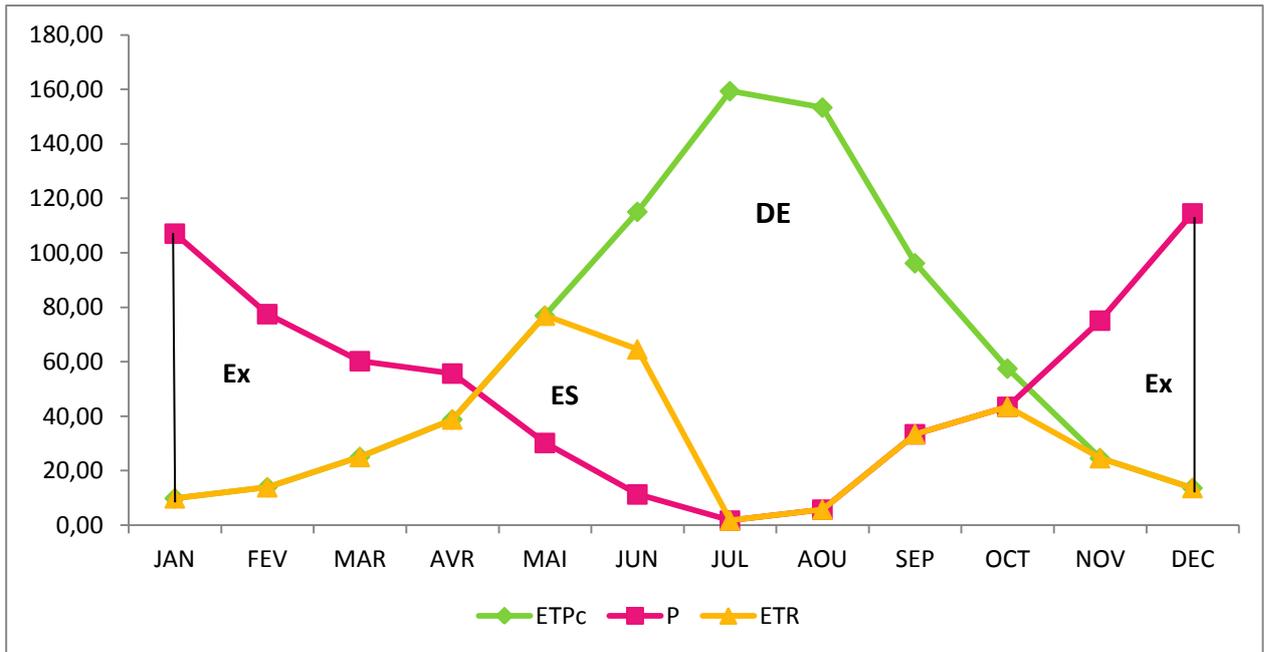


Figure (III-09): Représentation graphique du bilan hydrologique pour la station de Hamala (1984-2015).

III.1.5.2.4. 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 :

On remarque dans Tableau (III -11) et Figure (III-09) montre que le DA commence à partir de Mi-mai et se prolonge jusqu'au fin d'Octobre a ce moment, il y'a une nécessité d'arroser (irrigation).

Au-delà de mois d' Mi-octobre, il y'a recharge la RFU atteint son maximum. Mais à partir de 4ème semaine de Avril il y'a baisse de la RFU qui s'accompagne d'un épuisement du stock.

- 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.
- 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.
- 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 **19.85 %** rend l'instabilité du versant la plus grande.

- Le déficit agricole s'étend sur la période sèche de l'année où un épuisement des réserves est observé.
- 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.

- **Estimation du ruissellement (R) :**

Selon Thornthwaite :

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

Avec : P = 616,04 mm

ETPc = 784,48 mm

$$\Rightarrow R = \frac{(616,04)^3}{3 \cdot [784,48]^2}$$

$$\Rightarrow R = 126.63 \text{ mm}$$

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

$$R(\%) = 20.56 \%$$

Donc le ruissellement représente **20.56 %** des précipitations.

- **Calcul de l'infiltration (I) :**

$$P = ETR + R + I$$

$$I = P - ETR - R$$

$$= 616.04 - 351,86 - 126,63$$

$$I = 137.55 \text{ mm.}$$

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

$$I = 22.33 \%$$

Conclusion :

Après l'étude climatologique de la région qui comprend le bassin de l'Oued el Endja, montre que le climat prédominant est de nature méditerranéen tempéré avec des influences orographiques appréciables dans les secteurs Sud et Ouest. Les températures moyennes dans le bassin varient entre **8,85 °C** en hiver (février) et **33,01 °C** en été (Juillet). (Tableau III.05)

Les données hydroclimatiques du bassin versant de Beni Haroun laissent apparaître que la région est caractérisée par un climat tempéré, marqué par des précipitations importantes de 628.38 mm, avec une température moyenne annuelle égale à 19.3 °C, la région caractérisée par deux saisons, l'une humide s'étendant du mois de Novembre au mois de Mai. Une évapotranspiration réelle de 413 mm et ruissellement de 108.09 mm.

La RFU atteint son maximum, c'est-à-dire qu'il y'a une recharge à partir de mois de Novembre, mais à partir du mois d'Avril, il y a baisse de RFU qui s'accompagne:

- Le déficit agricole commence à partir du mois de Mai et se prolonge jusqu'au mois d'Octobre.

CHAPITRE IV

CADRE HYDROCHIMIQUE

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.

L'étude hydrochimique a porté sur l'analyse et l'interprétation de 7 campagnes hydrochimiques (juillet 2012 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 Béni Haroun afin de comprendre le mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux des oueds. Pour atteindre ce but 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'ADE Mila et ont porté aussi bien sur les éléments majeurs(Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--}), utilisées sur terrain nous avons pris les paramètres physiques tel que : $T^\circ\text{C}$, pH et la Conductivité électrique.

Matériel et Méthodes :

Les prélèvements sont effectués selon une répartition, qui dépend de la nature des eaux et du type de formation géologiques, les eaux de surface sont échantillonnées en 3 stations positionnées au niveau des points : dans l'oued Rhumel , oued Endja et oued Dib. (Figure IV-1)

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.

Les échantillons d'eau pour chaque prélèvement ont été conservés dans deux flacons. Le premier est acidifié à un 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 μm à l'aide des filtres seringues stériles (SFCA). La conductivité électrique (C.E.) et le pH, ont été mesurés en site 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 au niveau de A.D.E Mila, 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 IV-1: Méthodes utilisées pour déterminer les éléments chimiques des eaux de surface

Parameters	Méthode utilisées
Chloride (Cl en mg/l)	Titrimétrie
Carbonate (CO ₃ en mg/l)	Titrimétrie
Bicarbonate (HCO ₃ en mg/l)	Titrimétrie
Magnésium (Mg en mg/l) EDTA	Titrimétrie
Calcium (Ca en mg/l) EDTA	Titrimétrie
Sodium (Na en mg/l)	Photométrie en flamme
Potassium (K en mg/l)	Photométrie en flamme
Sulphate (SO ₄ en mg/l)	Spectrophotométrie
Nitrate (NO ₃ en mg/l)	Spectrophotométrie

IV-1 Choix et localisation des stations de prélèvement :

Les stations de prise des échantillons pendant la période d'étude, ont été choisies au niveau de la confluence des affluents des Oueds. Les stations retenues sont au nombre de trois (03) et qui ont été choisies de manière à suivre l'évolution spatio-temporelle du chimisme de l'eau de surface et par conséquent déterminer l'origine des éléments de ces eaux. (Tableau IV -2) et (Figure IV -1)

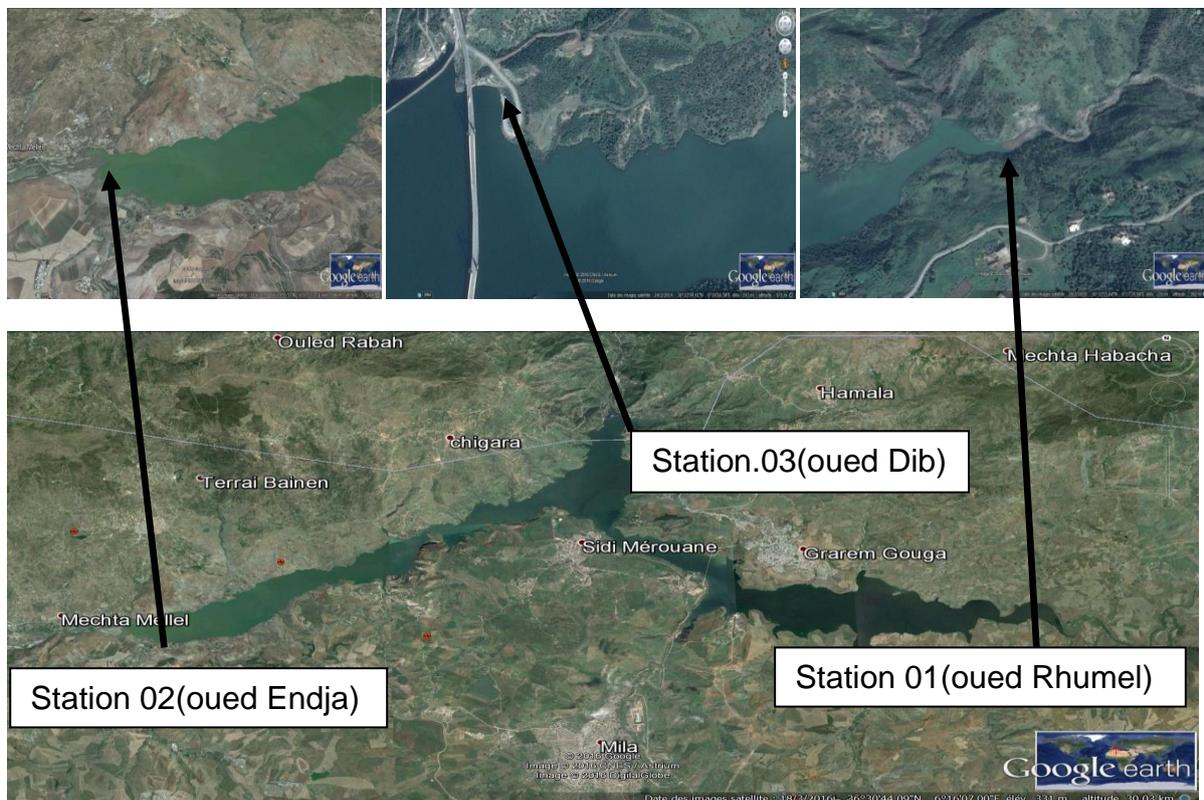


Figure (IV-1): La situation des stations de prélèvement.



Oued Rhumel (station 1)



Photo (01) Oued Endja (station 2)



Photo (03) Oued Dib (station 03)

O.R → Oued Rhumel
 O.EN → Oued Endja
 O.D → Oued Dib

Tableau IV-2: Caractéristiques des points de prélèvement.

N°	Symbole de la station	Coordonnées Lambert			Lieu de prélèvement
		X	Y	Z (m)	
S01	O.R	884550	367550	315	Oued Rhumel
S02	O.EN	870100	366400	310	Oued El Endja
S03	O.D	822000	367000	202	Oued Dib

IV-2. Analyse des éléments majeurs :

Tableau IV-3 : Caractéristiques globales des éléments physico-chimiques (Juillet 2012-Janvier 2013)

	T°C				Ca ⁺⁺ (még/l)				Cl ⁻ (még/l)			
	Min	Max	Moy	ECT	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET
O.Rh	6,5	23	13,42	6,41	4,8	8,72	7,11	1,52	1,5	2,5	1,84	0,35
O.EN	5,5	23	15,04	7,66	3	3,6	3,27	0,24	0,5	1,4	0,85	0,31
O.DIB	11	26	19,5	6,87	4,25	5,92	5,19	0,55	3,24	4,8	3,87	0,54
	pH				Mg ⁺⁺ (még/l)				SO ₄ ⁻ (még/l)			
	Min	Max	Moy	ECT	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET
O.Rh	6,9	7,7	7,37	0,026	5,35	11,3	9,25	2,42	3,89	4,81	4,55	0,35
O.EN	7,4	7,9	7,6	0,19	3,58	4,88	3,27	0,24	3,04	3,79	3,49	0,24
O.DIB	7,4	7,8	7,57	0,15	1,23	2,8	2,26	0,58	4,41	5,33	4,98	0,36
	CE(µs/cm)				Na ⁺ (még/l)				HCO ₃ ⁻ (még/l)			
	Min	Max	Moy	ECT	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET
O.Rh	654,72	1215	990,65	217,32	1,77	2,6	2,27	0,32	4,64	8,1	6,2	1,19
O.EN	455	613,8	539,45	61,17	3,58	4,88	4,08	0,47	3,36	4,2	3,8	0,29
O,D	1080	1220	1152,9	53,45	4	4,96	4,39	0,38	1,8	3,7	2,33	0,64
	TDS (mg/l)				K ⁺ (még/l)				NO ₃ ⁻ (még/l)			
	Min	Max	Moy	ECT	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET
O.Rh	450	890	573,42	232,26	0,25	0,28	0,27	0,01	0	0,01	0,01	0
O.EN	510	1040	920,83	144,12	0,21	0,27	0,24	0,02	0	0,01	0,01	0
O,D	702	842	746	45,5	0,08	0,13	0,1	0,02	0,03	0,11	0,06	0,03

IV-2-1 Les Matrices des corrélations :

L'examen des tableaux (IV-4) (IV-5) (IV-6) montrent plusieurs corrélations significatives

IV-2-1-1 Matrice de corrélation du station de Oued Rhumel :

Tableau IV-4 : Matrice de corrélation entre les éléments chimiques pour un seuil de %5. (station O.R)

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	c25°C
Ca ⁺⁺	1,00								
Mg ⁺⁺	0,95	1,00							
Na ⁺	0,84	0,90	1,00						
K ⁺	0,58	0,34	0,09	1,00					
HCO ₃ ⁻	0,64	0,74	0,68	-0,02	1,00				
Cl ⁻	0,73	0,76	0,79	0,11	0,91	1,00			
SO ₄ ⁻⁻	-0,34	-0,36	0,05	-0,57	-0,08	0,12	1,00		
NO ₃ ⁻	-0,17	-0,22	-0,54	0,48	-0,26	-0,27	-0,57	1,00	
c25°C	0,90	0,96	0,82	0,31	0,85	0,81	-0,37	-0,14	1,00

La conductivité est bien liée aux éléments (Ca, Mg, Na) et au anions tel que (Cl⁻, HCO₃⁻).

Les cations ont une double liaison avec Cl⁻ et HCO₃⁻ donc une bonne corrélation avec des éléments bicarbonatés et évaporitiques, tel que les calcaires dolomitique (Ca Mg CO₃) et éléments salifères (NaCl)

IV-2-1-2 Matrice de corrélation de la station d'Oued Endja

Tableau IV-5 : Matrice de corrélation entre les éléments chimiques pour un seuil de %5. (Station O.EN)

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	c25°C
Ca ⁺⁺	1,00								
Mg ⁺⁺	0,14	1,00							
Na ⁺	0,46	-0,43	1,00						
K ⁺	-0,11	0,01	0,48	1,00					
HCO ₃ ⁻	0,46	0,12	0,20	0,06	1,00				
Cl ⁻	0,00	0,22	-0,26	0,06	0,84	1,00			
SO ₄ ⁻⁻	-0,12	0,32	-0,66	-0,78	0,24	0,42	1,00		
NO ₃ ⁻	-0,41	-0,26	0,19	0,85	-0,16	0,04	-0,72	1,00	
c25°C	0,26	0,65	-0,46	-0,13	0,66	0,80	0,54	-0,23	1,00

On remarque que la conductivité est bien liée aux (Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻, Mg), qui due à la dissolution des évaporite (NaCl), (KCl), (CaSO₄) gypse et la formation carbonaté (Mg CO₃⁻)

Les carbonates a une seule liaison avec les chlorure, cette liaison suggère a une seule origine qu'on pourras discuter après.

IV-2-1-3 Matrice de corrélation du station de Oued Dib :

Tableau IV-6 : Matrice de corrélation entre les éléments chimiques pour un seuil de %5. (station O.D)

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	c ₂₅ °C
Ca ⁺⁺	1,00								
Mg ⁺⁺	-0,30	1,00							
Na ⁺	0,05	-0,01	1,00						
K ⁺	0,39	-0,23	-0,51	1,00					
HCO ₃ ⁻	0,28	0,50	0,28	-0,37	1,00				
Cl ⁻	0,15	0,31	-0,43	0,84	-0,14	1,00			
SO ₄ ⁻⁻	0,89	0,09	0,04	0,27	0,35	0,25	1,00		
NO ₃ ⁻	-0,39	0,16	-0,60	-0,34	0,05	-0,32	-0,36	1,00	
c ₂₅ °C	0,44	0,50	0,39	-0,39	0,76	-0,16	0,68	-0,17	1,00

Le calcium a une seule liaison avec les sulfate donc il indique une seule origine tel que gypse (CaSO₄.2H₂O).

Le magnésium a une seule liaison avec HCO₃ qui suggère un seul origine carbonaté dolomite (Mg,CO₃) .

IV-2-2 .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 physiques ont été étudiés : La température (T°), le potentiel d'hydrogène (pH), la minéralisation (TDS) mg/l et (CE) µs/cm (Tableau IV-3).

IV-2-2-1 Etude des paramètres physiques :

IV-2-2-1-1 Température :

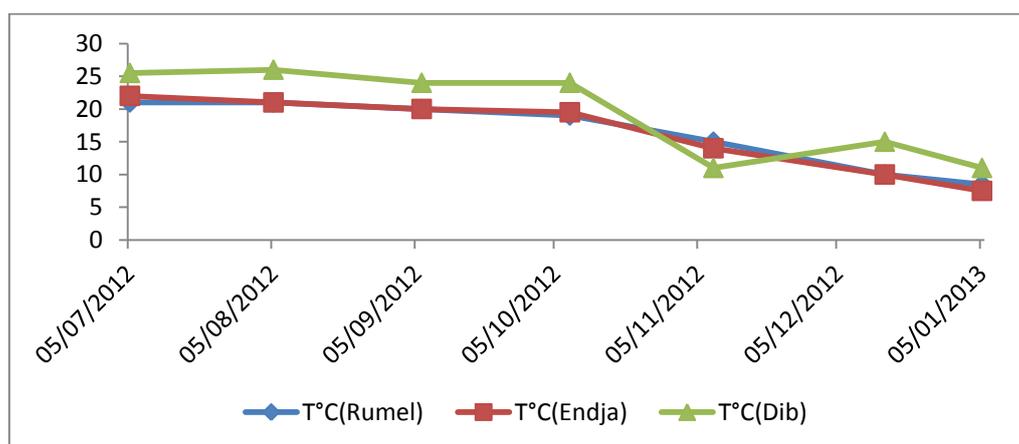


Figure (IV-2) : Évolution des valeurs du La Température au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

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 IV-3**) Suivi, pendant l'été la température varie entre 19 et 25°C alors qu'en hiver elle chute jusqu'à 5°C.

IV-2-2-1-2 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

$$\text{pH} = \text{Log} \left[\frac{1}{H^+} \right]$$

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 (O.EN) . **(7,3 et 7,9)** pour station(O.R) et station (O.D) enter **(7,4 et 7,8)** Ce pendant, 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 à (**Figure IV-3**).

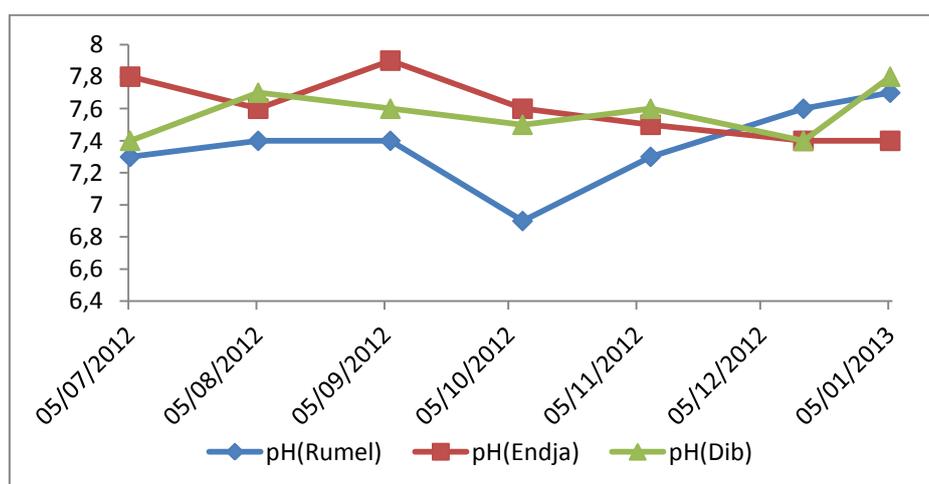


Figure (IV-3) : Évolution des valeurs du pH aux différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

IV-2-2-1-3 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.

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 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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.

Les valeurs montrent que toutes les points d'eau pendant notre campagne restent inférieure à la norme.

Tableau IV-7 : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique :

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

Tableau IV-8 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique

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

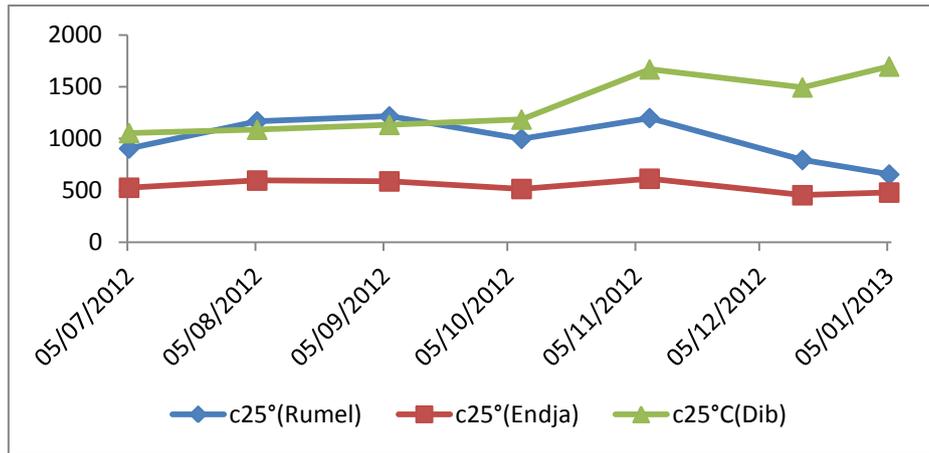


Figure (IV-4) : Évolution de la conductivité en µS/cm aux différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

A- La relation entre la minéralisation et la conductivité électrique :

Dans les trois stations la conductivité électrique entre 654,72 µS/cm et 1215 µS/cm, donc la minéralisation est élevée (Tableau IV-8).

B- La qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique :

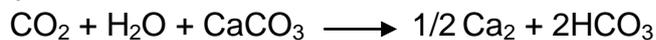
La conductivité de la (station 01) entre 654,72 µS/cm et 1215 µS/cm donc la qualité de l'eau est médiocre mais utilisable. pour station 02 la conductivité entre 455 µS/cm et 613,8 µS/cm donc on a bonne qualité de l'eau et la(station 03) l'intervalles de la conductivité entre 1080 µS/cm et 1220 µS/cm donc la minéralisation est médiocre mais eau utilisable.

IV-2-2-2 . Les éléments chimiques :

IV-2-2-2-1 Les cations :

IV-2-2-2-1-1 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 (CaSO₄)₂ (H₂O). Le tableau des résultats d'analyse 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, (Figure IV-5) Ce phénomène est beaucoup plus visible au niveau de la station S1,

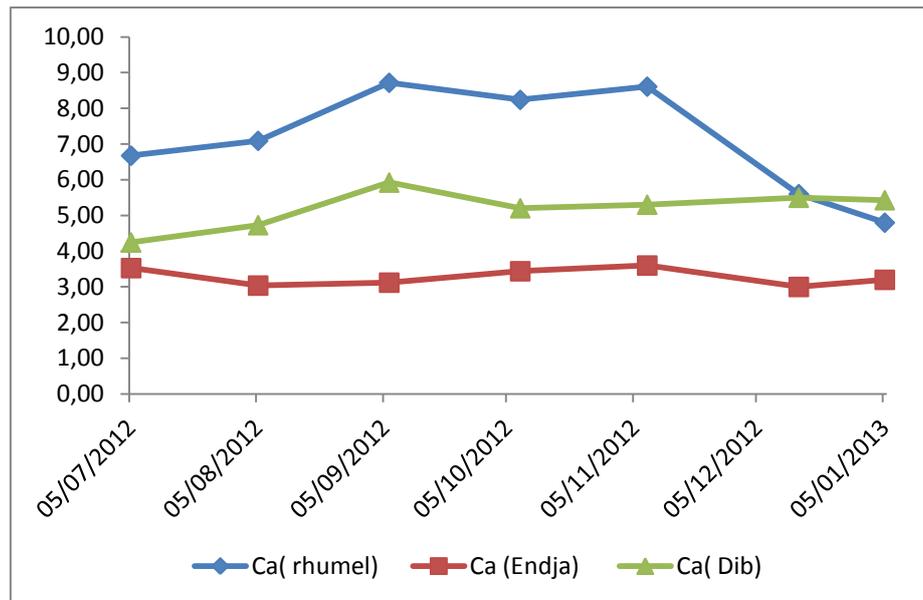
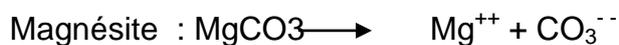


Figure (IV-5) : Evolution des teneurs du calcium au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

IV-2-2-2-1-2 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 :



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 de la formation dolomitique de la station 1 (**Figure IV-6**)

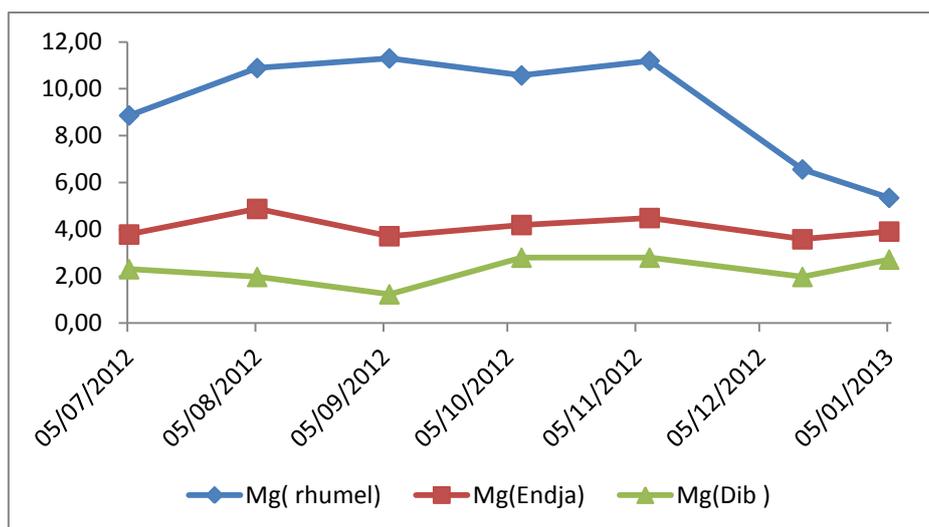


Figure (IV-6) : Évolution des teneurs du magnésium au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

IV-2-2-2-1-3 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 **5 méq/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.

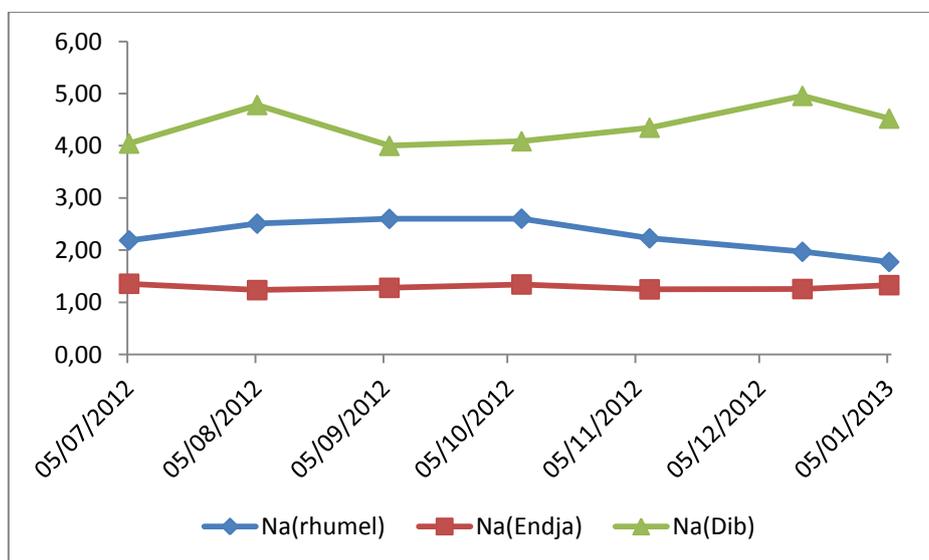


Figure (IV-7) : Evolution des teneurs de sodium au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

IV-2-2-2-1-4. 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.

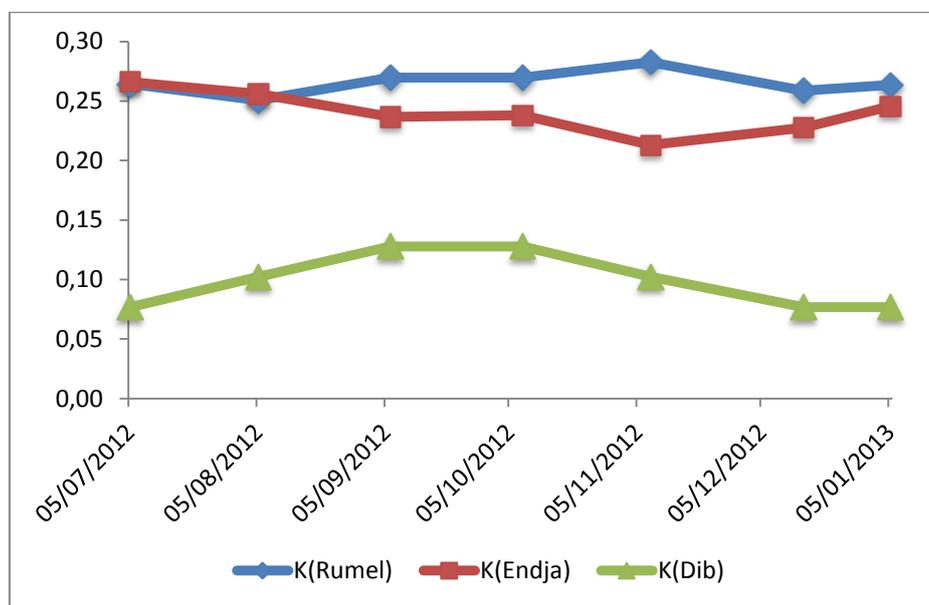


Figure (IV-8) : Evolution de la teneur du potassium aux différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

IV-2-2-2-2. Les anions :

IV-2-2-2-2-1. 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.

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 **5 méq/l**, (**Figure IV-9**). On assiste à une concentration pendant la période de basses eaux et une dilution pendant la période des hautes eaux.

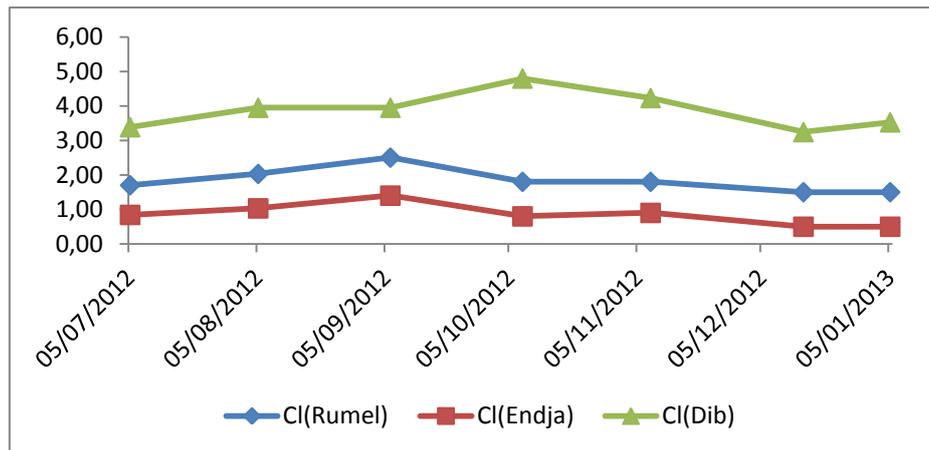


Figure (IV-9) : Évolution des teneurs des chlorures aux différents des points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

IV-2-2-2-2. Les sulfates (SO_4^-) :

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 montrent des teneurs inférieures aux normes de l'OMS, alors que les valeurs des teneurs au niveau de la station S1 montrent des valeurs supérieures à celles des stations avalent suite a des phénomènes de dilutions. (**Figure IV-10**)

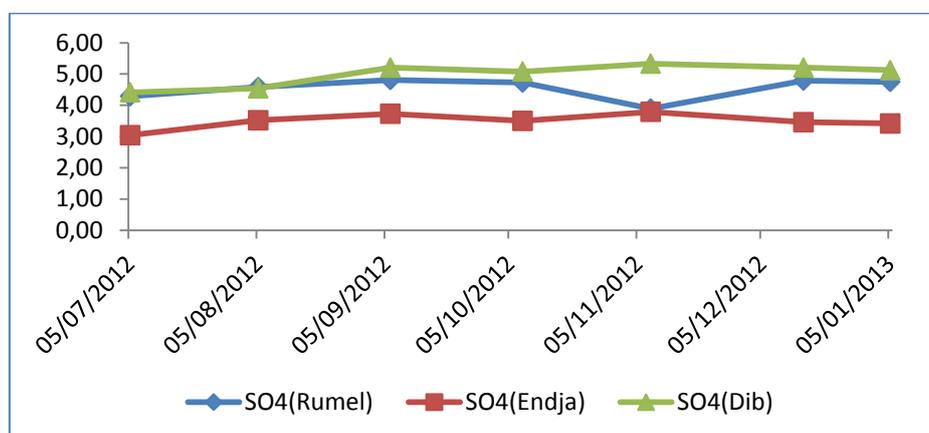


Figure (IV-10) : Evolution des teneurs des sulfates au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

IV-2-2-2-3 Les bicarbonates (HCO_3^-) :

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique (CO_2), selon l'équation générale :



La concentration des eaux en HCO_3^- est fonction de la lithologie des terrains traversés (calcaire, dolomite), du pH de l'eau, de la tension de CO_2 et de la température de l'eau.

Les plus grandes valeurs sont enregistrées au niveau de la station S1 (**8,10méq/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, **Figure (IV-11)**

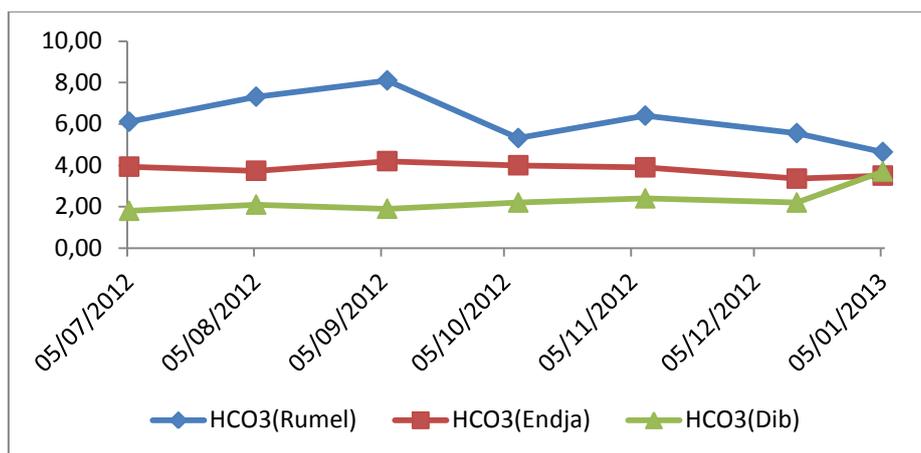


Figure (IV-11) : Evolution de la teneur des bicarbonates au différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

IV-2-2-2-2-4 Les nitrates (NO_3^-) :

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.

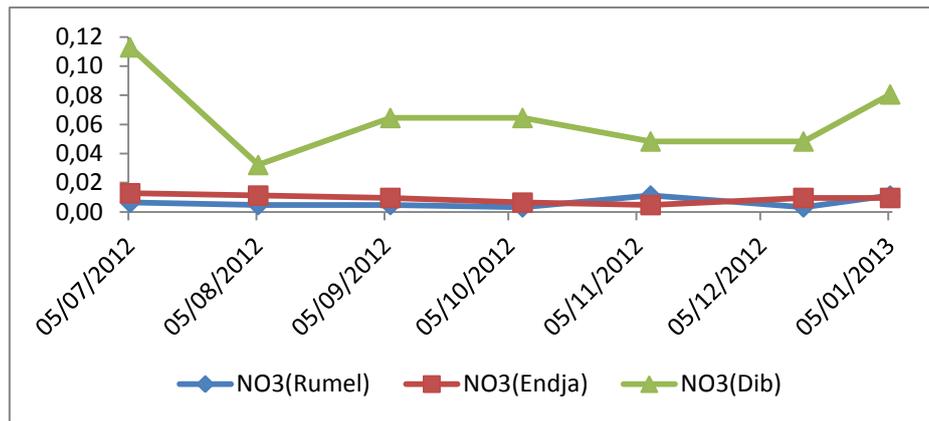


Figure (IV-12): Évolution de la teneur des nitrates aux différents points de prélèvement (Juillet 2012-Janvier 2013)

Les plus fortes concentrations sont enregistrées au niveau des stations S3. 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 (Figure IV-12). Contrairement aux éléments précédents la réunion d'une grande masse d'eau véhicule une quantité plus importante en éléments azotes (NO_3^-).

IV-3 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.

IV-3-1 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 peut 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.

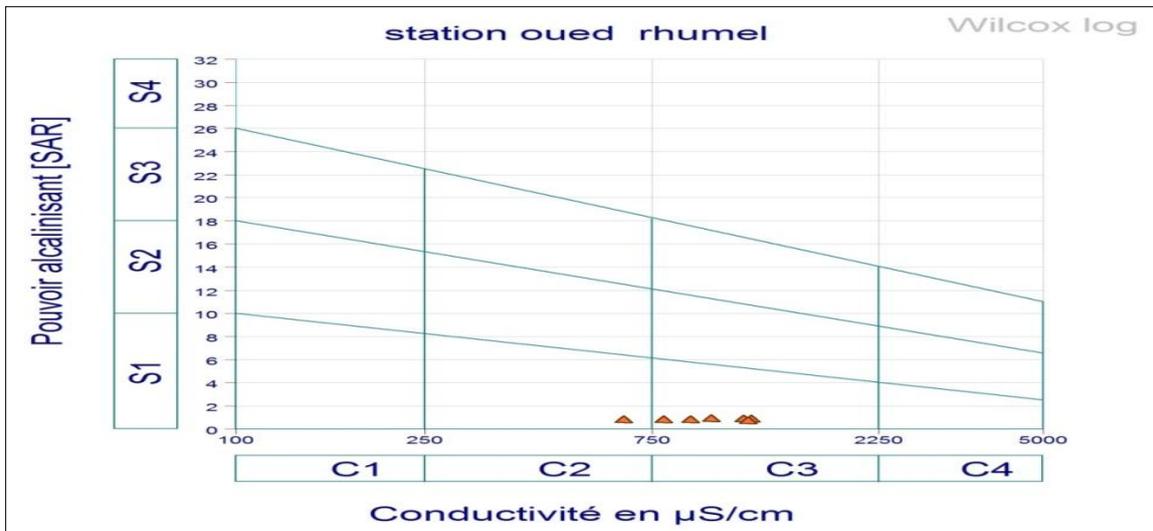


Figure (IV-13): Classification des eaux d'irrigation de l'Oued Rhumel

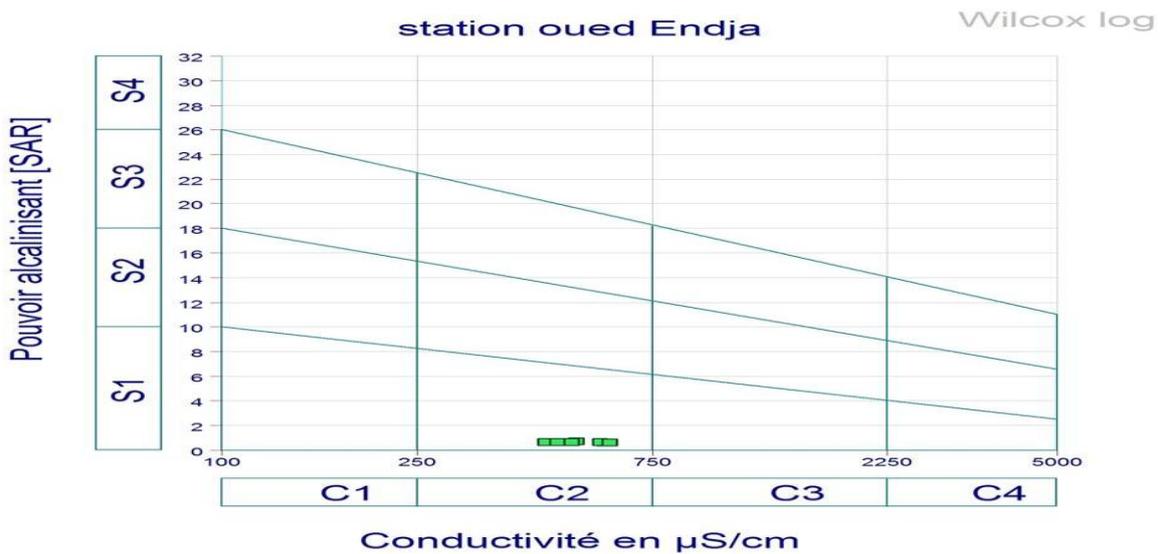


Figure (IV-14): Classification des eaux d'irrigation de l'Oued Endja

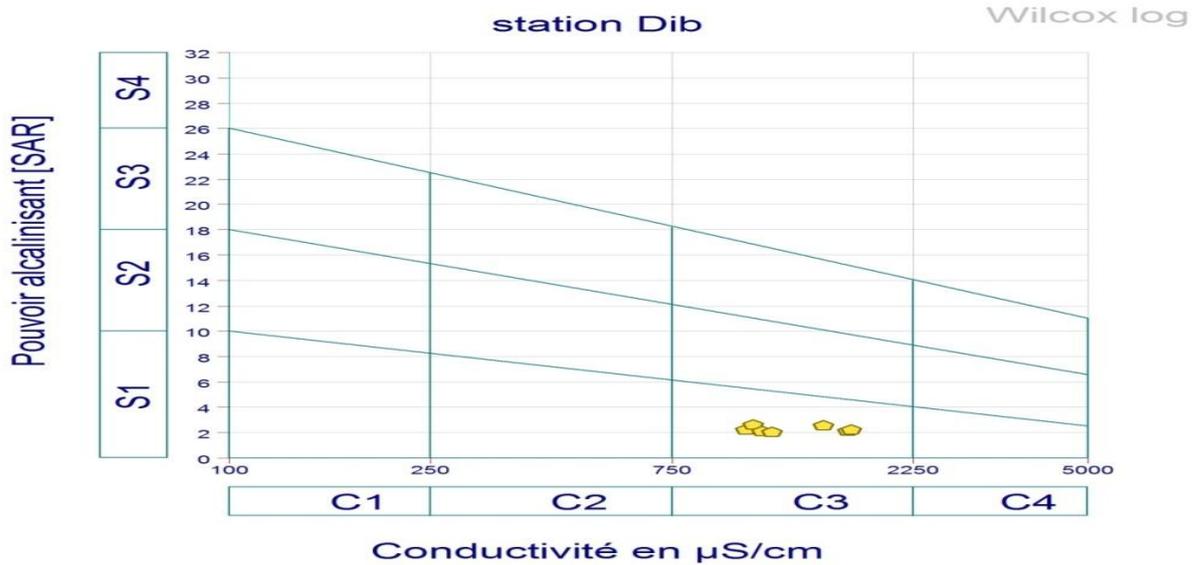


Figure (IV-15): Classification des eaux d’irrigation de l’Oued Dib

Après avoir reporté des différents valeurs sur les diagrammes des trios (Figures IV-(13-14-15)); nous remarquons que les eaux du bassin versant de Beni Haroun présentent en général un degré de **salinité faible (S1)** pour Oued Rhumel et Oued Dib, et présente des valeurs élevées des conductivité dépassent les 750 μ S/Cm, et salinité moyenne pour Oued Endja et **conductivité** entre (250 et 750 μ S/Cm) .

IV-3-2 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.

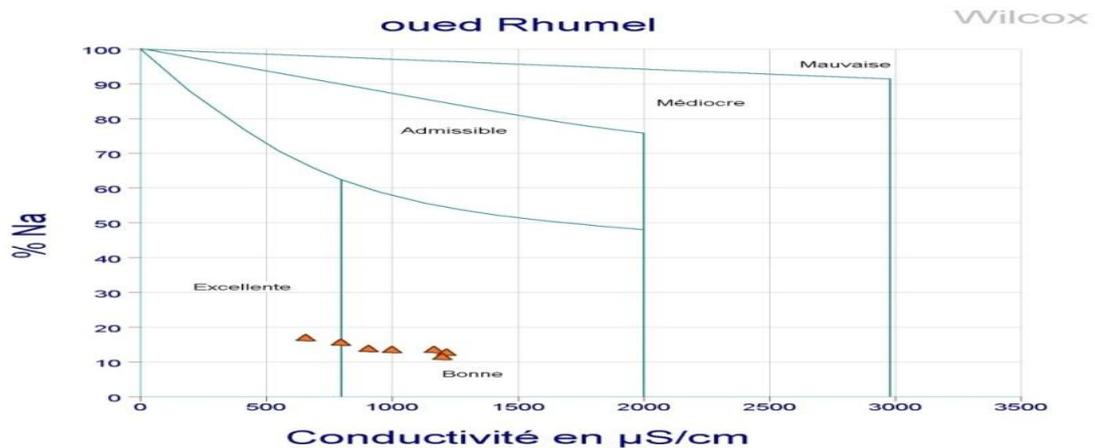


Figure (16-IV): Classification des eaux d'irrigation du Station 01

D'après la méthode de Wilcox Donc la majorité des eaux du Oued Rhumel sont bonne qualité pour l'irrigation, elle montre le pourcentage de Sodium et la conductivité entre (1000 et 2000) . Figure (IV-16)

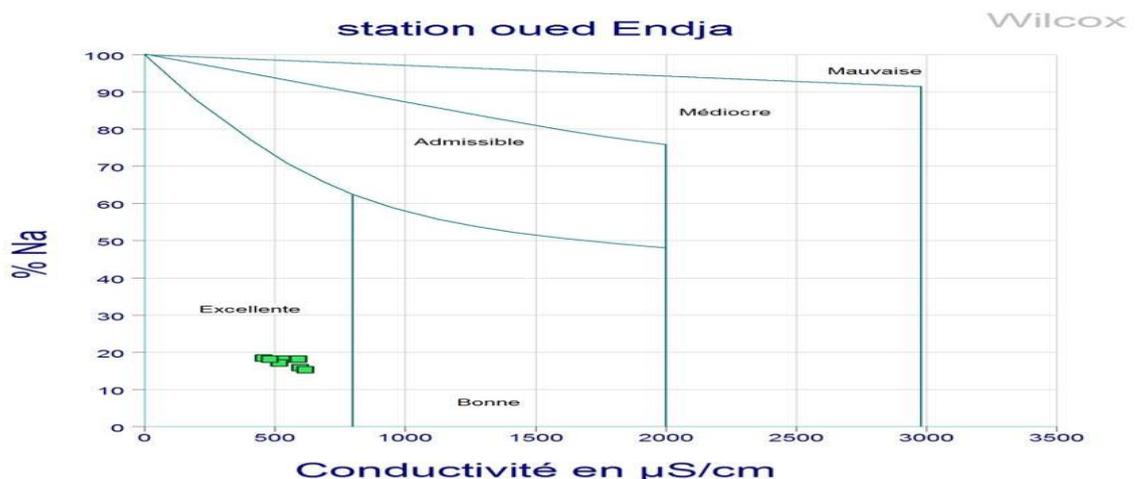


Figure (IV-17): Classification des eaux d'irrigation du Station 02

Les eaux du Oued Endja sont Excellentes a l'irrigation, elles présentent des pourcentage de Sodium inférieur à 30 % et la conductivité entre 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Figure (IV-17)

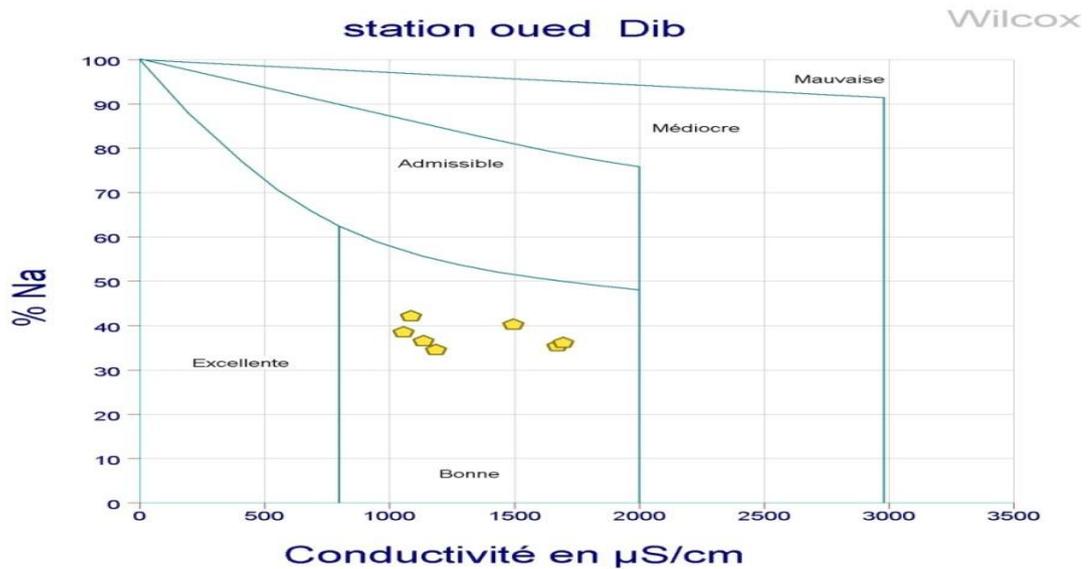


Figure (IV-18): Classification des eaux d'irrigation du Station 03

Les eaux du Oued Dib sont de bonne qualité à l'irrigation elle montre le pourcentage de Sodium et la conductivité entre $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$. **Figure (IV-18)**

IV-4 Faciès chimique :

IV-4-1 Classification des eaux :

IV-4-1-1 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.EN) et (O. Rh). (O.D) se positionnent entre les deux pôles Chlorurée sulfaté calcique magnésiennes, et Bicarbonaté calcique et magnésienne (**Figures (IV-(19-20-21))**).

Station 01 oued Rhumel

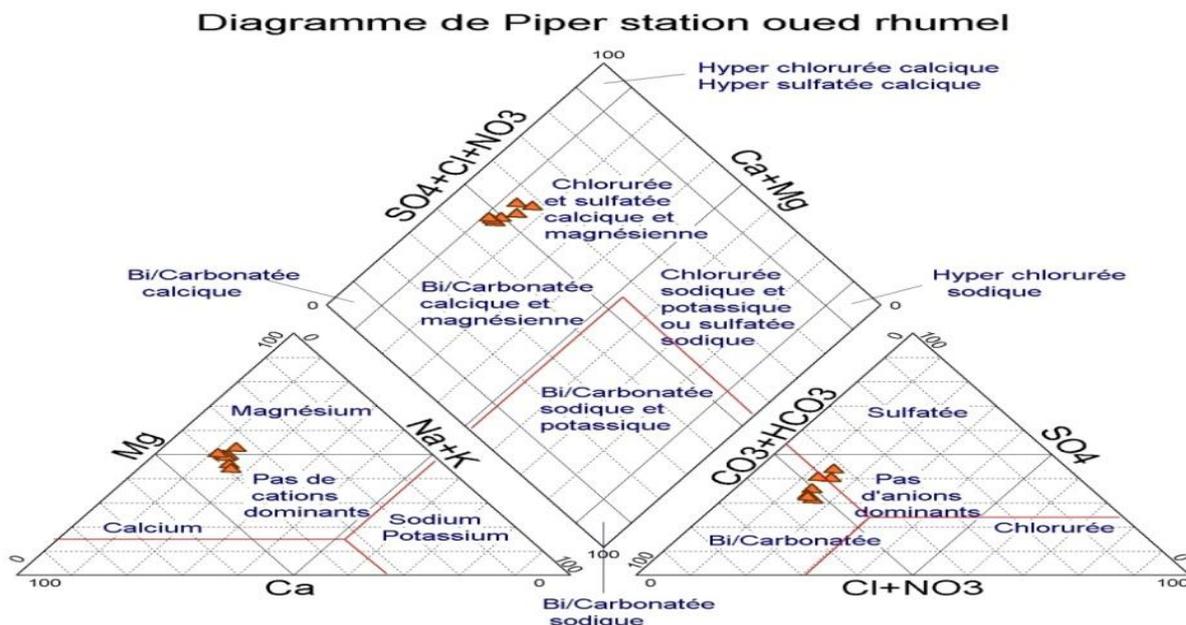


Figure (IV-19): Diagramme de Piper Station O.Rh

La représentation des données sur le diagramme de Piper, montre que l'ensemble des points pour la station (O. Rh). Se positionnent entre les deux pôles Chlorurée et sulfaté calcique et magnésiennes, et Bicarbonaté calcique et magnésienne (Figures (IV-19)).

Station 02 oued Endja

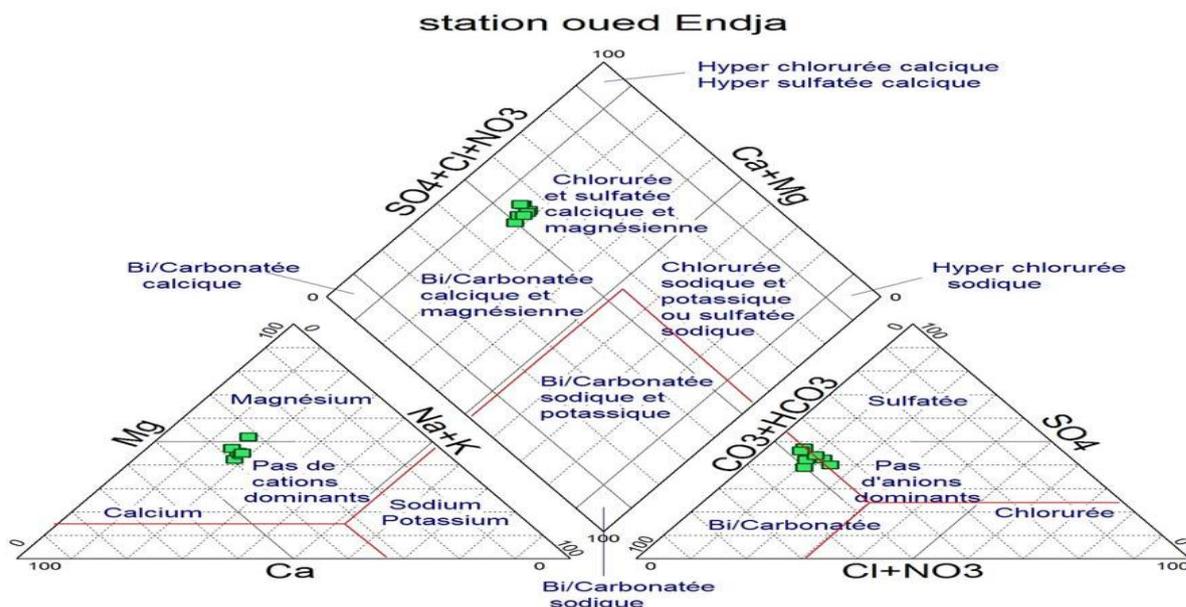


Figure (IV-20): Diagramme de Piper Station O.EN

La représentation des données sur le diagramme de Piper, montre que l'ensemble des points pour la station (O. EN). Se positionnent entre les deux pôles Chlorurée et sulfaté calcique et magnésiennes, et Bicarbonaté calcique et magnésienne (**Figures (IV-20)**).

Station 03 Oued Dib :

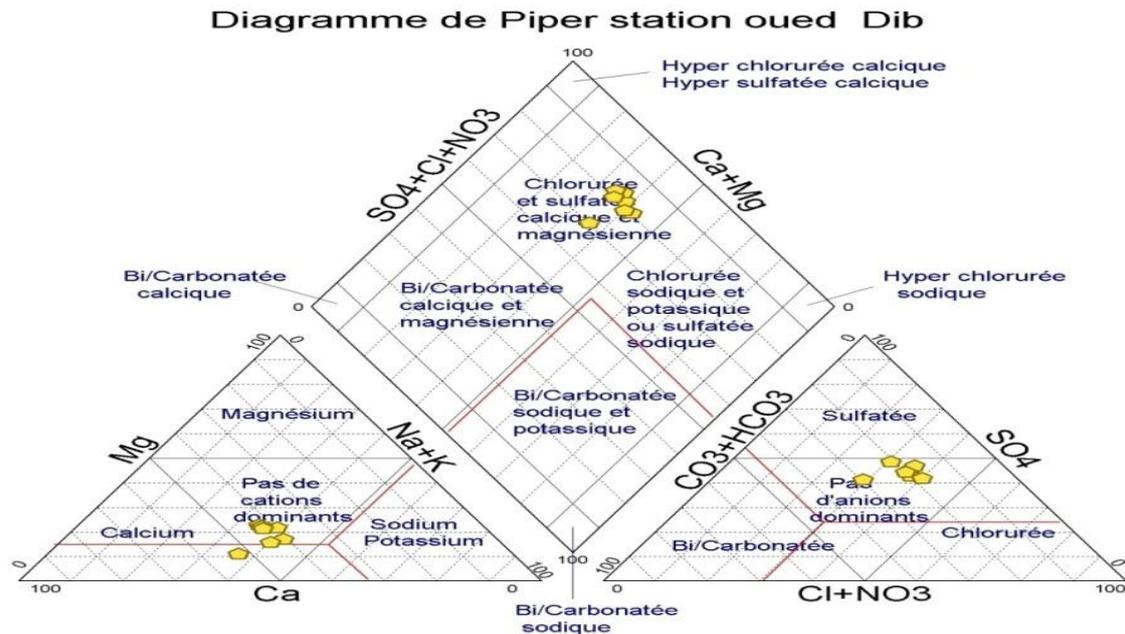


Figure (IV-21): Diagramme de Piper Station 03

La représentation des données sur le diagramme de Piper, montre que l'ensemble des points pour la station (O. Rhumel). Se positionnent entre le pôle Chlorurée et sulfaté calcique et magnésiennes, (**Figures (IV-21)**).

IV-4-1-2 Les diagrammes des Faciès chimique :

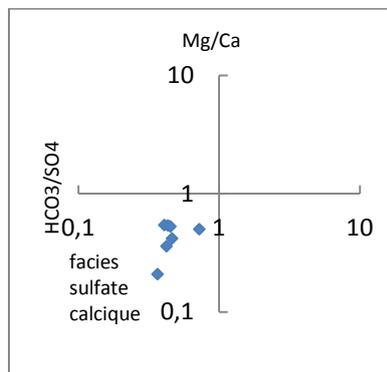


Figure (IV-22): O.Dib

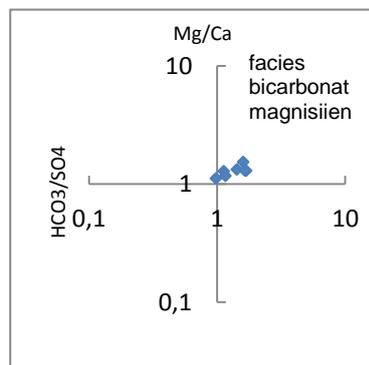


Figure (IV-23): O.Rhumel

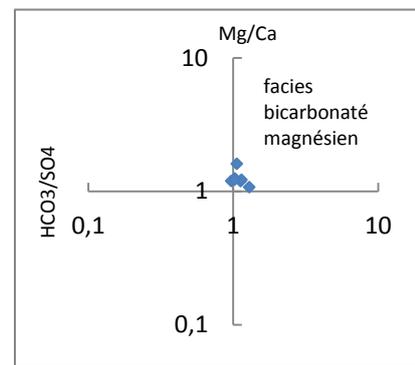


Figure (IV-24): O.Endja

Pour connaître le faciès chimique, en a établi un diagramme bi-logarithmique, l'examen des trois (**Figure (IV-(22-23-24))**) montrent que ; un faciès dominant au oued Dib est sulfaté calcique qui est directement lié avec les formations sulfatées

(gypses) a cause des eaux de pluie , et par contre au niveau de deux station (O.Endja et O.Rhumel) , les facies dominants sont bicarbonatés magnésiennes due au lessivage des formations carbonatées .

IV-5 Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants :

IV-5 -1 L'origine du sodium Na^+ :

IV-5 -1-1. Rapports des Na^+ - Cl^- :

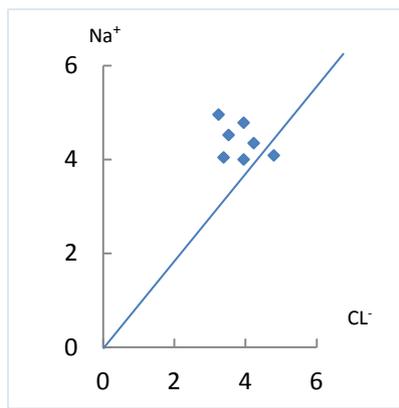


Figure (25-IV): O.Dib

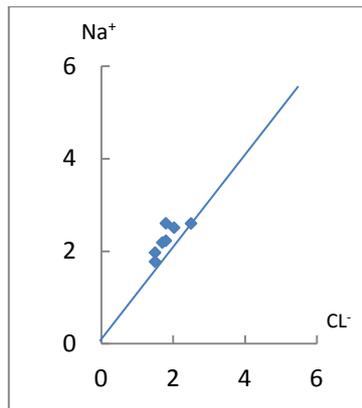


Figure (26-IV): O. Rhumel

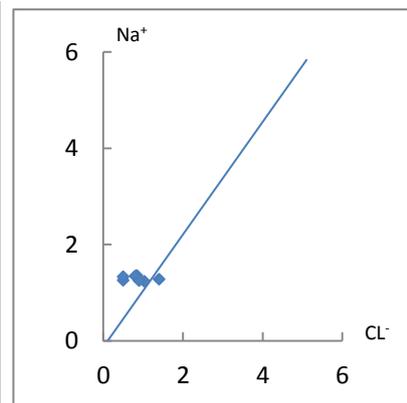


Figure (27-IV): O.Endja

Pour avoir une idée sur les élément dominants, nous avons fait une représentation graphique sur un échelle arithmique (**Figures IV-(25-26-27)**) , l'évolution de Na est étudiée au fonction de CL, l'examen des trois figures montrent que O.Dib O.Rhumel présentent des points au dessous de la droite de pente 1, ce qui traduit par la présence d'une deuxième origine du a l'altération des silicate de sodium, l'examen du diagramme d'échange de base (**Figures IV-(25-26-27)**), montre que la plus part des échantillons subissent un échange de base, ce qui justifier le phénomène.

IV-5 -1-2: Rapports des Na^+ - SO_4^{2-} :

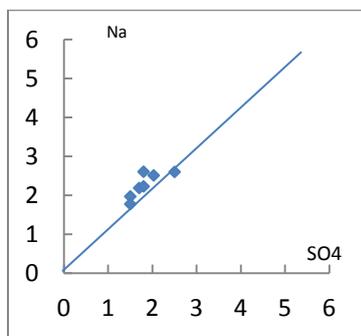


Figure (IV-28): O.Dib

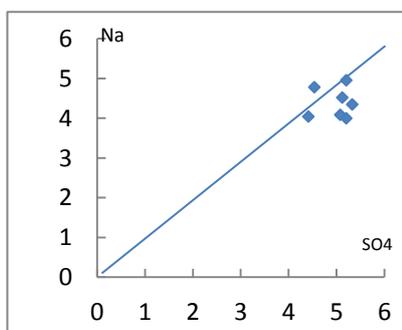


Figure (IV-29): O.Rhumel

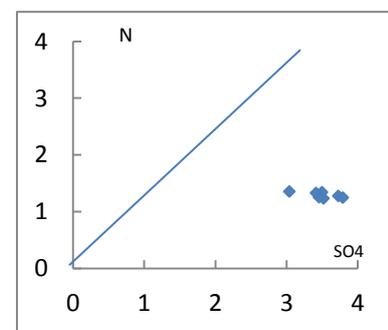


Figure (IV-30): O.Endja

L'examen des trois (Figures (1-29-30)-IV) montre que toutes les points au niveau de O .Dib et O.Endja se trouvent au dessous de la droite a pente 1, ce ci montre un excès des sulfates par rapport au sodium. ce ci peut s'expliquent par la dissolution de gypse plus important que de Trias, par contre au niveau de O.Rhumel la dissolution des Trias sont plus importante a cel de gypse .

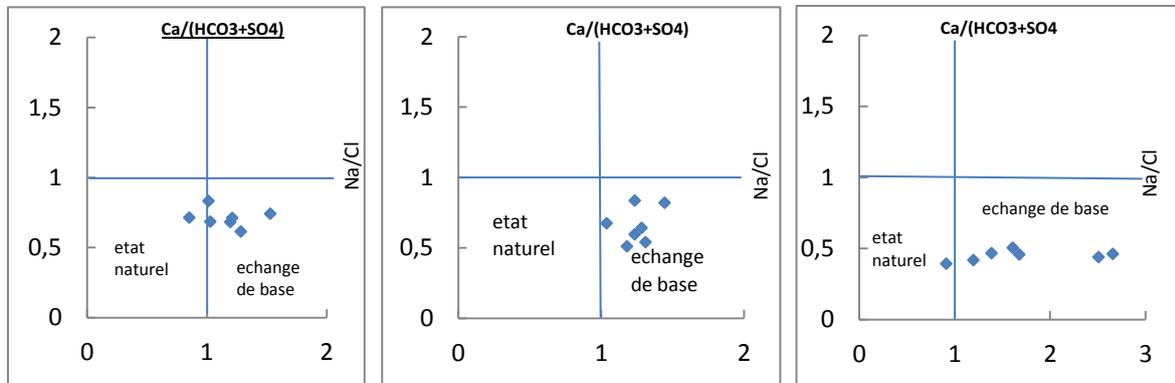


Figure (IV-31): échange de base O.Dib Figure (IV-32): échange de base O.Rhumel Figure (IV-33): échange de base O.Endja

IV-5 -2 L'origine de magnésium Mg⁺⁺ :

IV-5 -2-1. Rapports des (Mg²⁺ / Ca²⁺) et SO₄²⁻ :

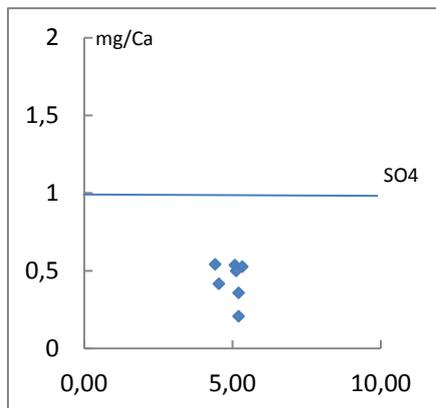


Figure (IV-34): O.Dib

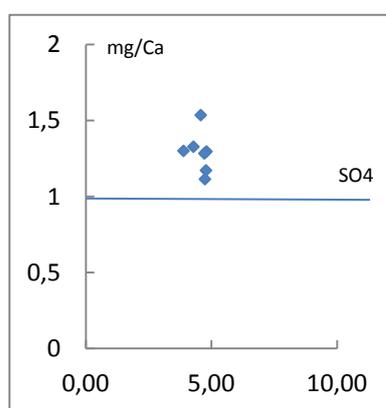


Figure (IV-35): O.Rhumel

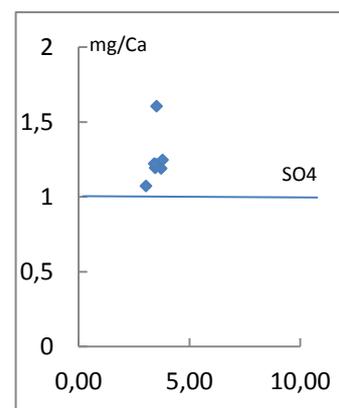


Figure (IV-36): O.Endja

La projection des points de O.Rhumel et O.Endja, montrent que tous les points présentent un rapport de Mg/Ca supérieure a 1 , ce la indique que Mg emporte sur le calcium , du à la dissolution des évaporite (MgSO₄). par contre au niveau de O.Dib, le Ca emporte sur le Mg au fonction de l'augmentation de la concentration des SO₄, ce ci ne peut s'explique que lessivage des (Ca⁺⁺CO₃).

IV-5 -3 L'origine du calcium Ca^{2+} :

IV-5 -3-1. Rapports des Ca^{2+} et HCO_3^- :

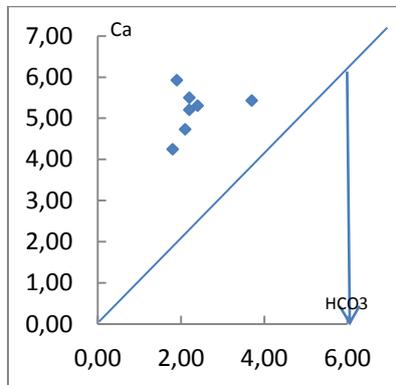


Figure (IV-37): O.Dib

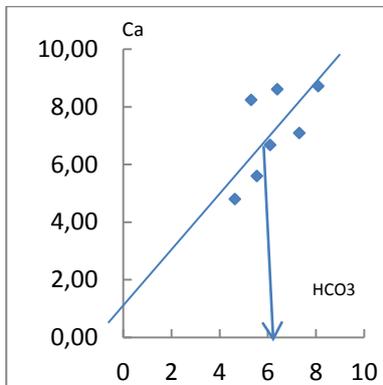


Figure (IV-38): O.Rhumel

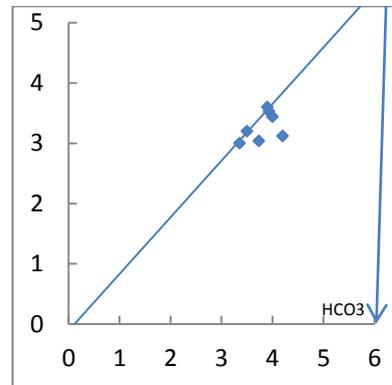


Figure (IV-39): O.Endja

On remarque que les points au niveau de Oued Dib et Oued Endja montrent des valeurs de $HCO_3^- \leq 6$ meq/l, les projection permet de voir que dans les deux stations l'origine de Ca est carbonaté

Par contre au niveau de Oued Rhumel, indique deux origine un carbonaté et l'autre évaporitique du a l'excès de calcium

IV-5 -3-2. Rapports des Ca^{2+} et SO_4^{2-} :

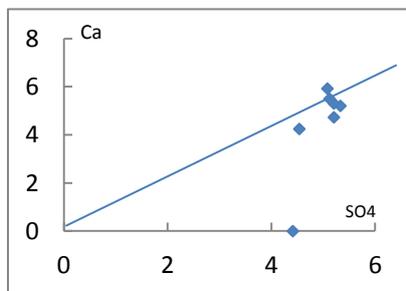


Figure (40-IV): O.Dib

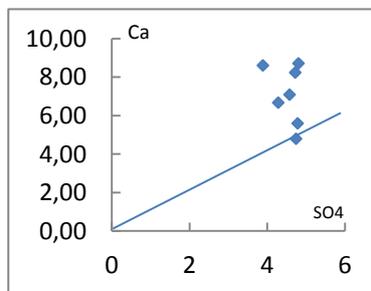


Figure (41-IV): O.Rhumel

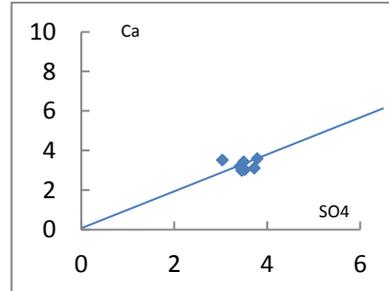


Figure (42-IV): O.Endja

Les trois (Figures (IV-(40-41-42)) montrent l'évolution de calcium au fonction de sulfates, tous les échantillons analysées présentent un excès de calcium qui est confirme l'origine carbonatée.

IV-5-4 L'origine de la salinité :

IV-5-4-1 Les relations $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ -Conductivité électrique :

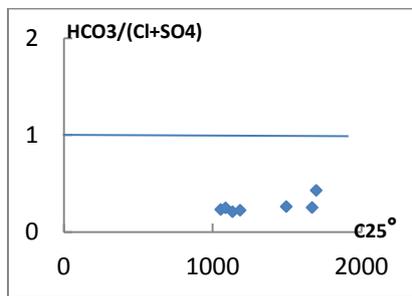


Figure (IV-43): O.Dib

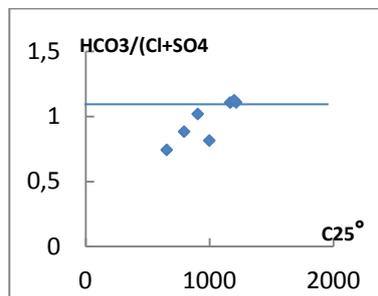


Figure (IV-44): O.Rhumel

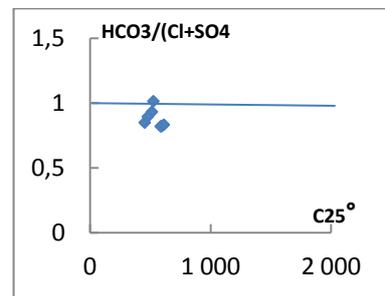


Figure (IV-45): O.Endja

On remarque que O.Dib présente un pole carbonaté caractérisé par la dominance des ions de HCO_3^- , alors que O.Endja montre un pole sulfaté qui affirme la dominance des ions de Cl^- et SO_4^{2-} . mais au niveau de O.Rhumel il montre deux pole un carbonaté et l'autre sulfaté.

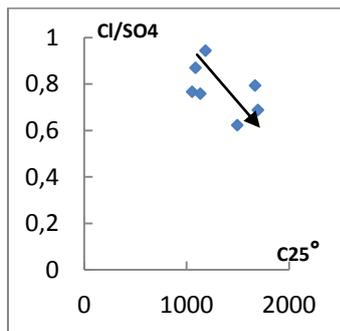


Figure (IV-46): O.Dib

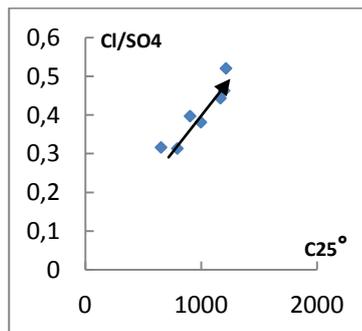


Figure (IV-47): O.Rhumel

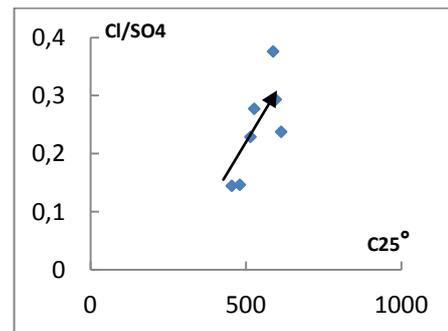


Figure (IV-48): O.Endja

La manière selon la quelle évolue la dissolution des ions évaporitique Cl^- (halite) et SO_4 (gypse) en fonction de la conductivité **Figure (IV-(46-47-48))**, est examiné à l'aide de diagramme Cl/SO_4 que nous permet de faire la distinction entre les deux ions, les figures montrent que les ions de gypse emportent par rapport à ceux de sel puisque le rapport est inférieure a 1, et la conductivité augmente au fonction de Cl^- dans (O.Rhumel O.Endja), par contre O.Dib la conductivité est en liaison directe avec le SO_4 .

IV-6 : Diagramme de Schöeller et Berkallof :

Le diagramme de Schöeller permet d'obtenir la qualité chimique des eaux en utilisant les concentrations des ions majeurs. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

PH (mesuré) < PH (équilibre) eau Agressive
 PH (mesuré) = PH (équilibre) eau Neutre
 PH (mesuré) > PH (équilibre) eau Incrustante

Tableau IV-9 : Résultats des PH équilibre du oued Dib station (03)

Date	Dh°F	PH (mesuré)	PH (équilibre)	Type de l'eau
05/07/2012	32,75	7,4	7,39	Neutre
05/08/2012	33,55	7,7	7,49	Incrustante
06/09/2012	35,75	7,6	7,4	Incrustante
08/10/2012	40	7,5	7,26	Incrustante
08/11/2012	40,5	7,6	7,29	Incrustante
15/12/2012	37,4	7,4	7,28	Incrustante
05/01/2013	40,75	7,8	7,34	Incrustante

Tableau IV-10 : Résultats des PH équilibre du oued Endja station (02)

Date	Dh°F	PH (mesuré)	PH (équilibre)	Type de l'eau
05/07/2012	36,6	7,8	7,46	Incrustante
05/08/2012	39,6	7,6	7,3	Incrustante
06/09/2012	34,15	7,9	7,54	Incrustante
08/10/2012	38,15	7,6	7,35	Incrustante
08/11/2012	40,45	7,5	7,25	Incrustante
15/12/2012	32,9	7,4	7,38	Neutre
05/01/2013	35,55	7,4	7,3	Incrustante

Tableau IV-11 : les résultats des PH équilibre de Oued Rhumal station (01)

Date	Dh°F	PH (mesuré)	PH (équilibre)	Type de l'eau
05/07/2012	77,7	7,3	6,74	Eau Incrustante
05/08/2012	89,9	7,4	6,68	Eau Incrustante
06/09/2012	100,1	7,4	6	Eau Incrustante
08/10/2012	94,05	6,9	6,43	Eau Incrustante
08/11/2012	99,05	7,3	6,58	Eau Incrustante
15/12/2012	60,8	7,6	7	Eau Incrustante
05/01/2013	50,75	7,7	7,19	Eau Incrustante

Les tableaux (IV-12) (IV-11) (IV-10) précédents montrent que la majorité des types d'eau dans les trois stations est eau Incrustante

IV-7 : Apport de l'Analyse en Composant Principales (ACP) :

Le traitement des nombreuses données chimiques de cycle, durant la période de **juillet (2012) au Janvier (2013)**, a nécessité l'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP). Pour d'avancer des hypothèses, d'autant plus que nous ne traitons ici que les éléments majeurs.

Ce qui ne représente qu'une tendance et certains éléments peuvent en dissimuler d'autres. Pour effectuer ce traitement, nous disposons de données chimiques, étalées sur deux mois

IV-7-1 : Caractéristique de la méthode :

La méthode regroupe le traitement des descriptions et de comparaisons simultanées des différentes variables et l'analyse des données multidimensionnelles qui fait partie de la statistique descriptive. Nous cherchons à mettre évidence les liens éventuels de deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution.

IV-7-2 : Principe de la méthode :

La méthode consiste à chercher des plans de projections sur lesquels la visualisation du nuage serait possible et sur lesquels sa projection s'effectuerait avec un minimum d'erreur.

L'application de la méthode consiste à dresser un tableau à deux entrées, l'une pour les variables chimiques et l'autre pour les échantillons qui consistent les unités statistiques (U.S) ; les valeurs des variables pour toutes les unités statistiques peuvent être représentées par un nuage de points, aussi bien dans l'espace des variables que dans l'espace des unités statistiques.

IV-7-3 : Traitement statistique :

Une analyse statistique par composantes principales (ACP) a été effectuée sur un tableau de 21 individus et de 11 variantes (pH, conductivité, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^{2-}).

L'analyse a été poussée jusqu'à deux facteurs et 78,42% de la variance (**Tableau (IV-13)**), ont peut-être exprimés.

Tableau IV-12: Valeurs propres :

	F1	F2
Valeur propre	5,43	3,19
Variabilité (%)	49,3	29,06
% cumulé	49,36	78,42

IV-8 :L'analyse de cercle de l'ACP :

L'analyse des variables (Tableau IV-15) , (Figure IV-56) montre que le facteur 1 est déterminé par la conductivité, K, Na, Cl, SO₄, HCO₃, et NO₃ et à moindre degré par le calcium c'est donc le facteur de la minéralisation. Ce facteur oppose donc les eaux minéralisées aux eaux faiblement minéralisées.

Le facteur 2 est déterminé par les éléments terrigènes Ca et Mg, et HCO₃ c'est donc le facteur de la dissolution des carbonates (Ca, Mg)CO₃(dolomite).

L'analyse du plan factoriel des individus (F1/F2) Tableau IV-16 montre que se sont les stations (O.Dib et O.Rhumel,) qui sont caractérisées par des eaux relativement chargées. Par contre La station OEN reçoit les eaux qui sont traversé les formations sulfuriques.

Tableau IV-13 : Cosinus carrés des variables :

	F1	F2
Ca ⁺⁺	0,007	0,953
Mg ⁺⁺	0,320	0,651
Na ⁺	0,907	0,056
K ⁺	0,906	0,046
HCO ₃ ⁻	0,410	0,459
Cl ⁻	0,876	0,056
SO ₄ ⁻⁻	0,542	0,257
NO ₃ ⁻	0,777	0,023
T°C	0,067	0,004
pH	0,028	0,402
c25°C	0,590	0,290

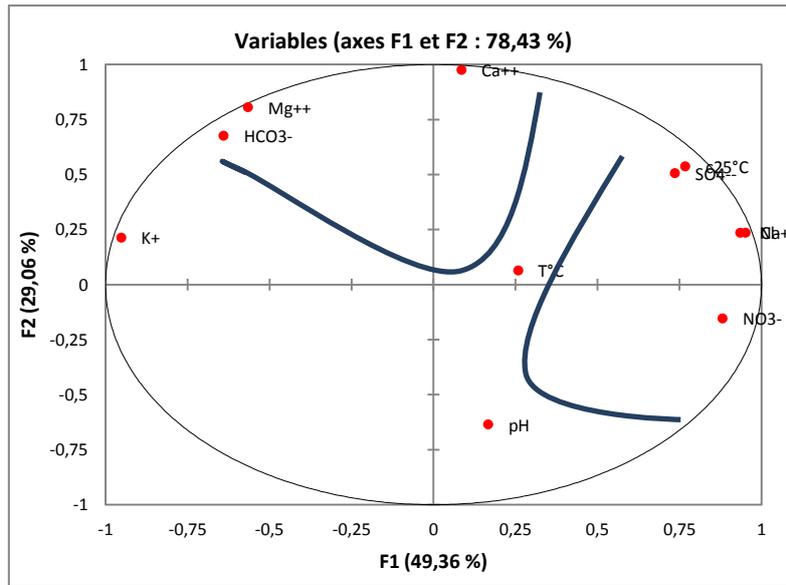


Figure (IV-49): Plan factoriel F1-F2 des variables

Tableau IV-14 : Cosinus carrés des individus :

Station	Date	F1	F2
Oued Rhumel	07/05/2012	0,375	0,517
	08/05/2012	0,147	0,731
	09/06/2012	0,08	0,836
	10/08/2012	0,101	0,666
	11/08/2012	0,24	0,639
	15/12/2012	0,386	0,053
	01/05/2013	0,286	0,032
Oued Endja	07/05/2012	0,362	0,423
	08/05/2012	0,474	0,385
	09/06/2012	0,237	0,506
	10/08/2012	0,531	0,403
	11/08/2012	0,566	0,327
	15/12/2012	0,435	0,343
	01/05/2013	0,46	0,263
Oued Dib	07/05/2012	0,625	0,058
	08/05/2012	0,662	0,064
	09/06/2012	0,86	0,008
	10/08/2012	0,867	0
	11/08/2012	0,775	0,005
	15/12/2012	0,83	0,006
	01/05/2013	0,718	0

Conclusion :

Cette étude nous a permis de montrer l'évolution temporaire des éléments chimiques des eaux de la surface du bassin versant (Béni Haroun) : les teneurs de ces éléments restent au dessus des normes admissibles 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 ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Ils indiquent, principalement le temps de séjour de l'eau dans l'aquifère.

Les ions Cl^- , Na^+ et K^+ , ils sont d'origine, principalement. 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 (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.

Les eaux naturelles contiennent, pratiquement, toujours des ions sulfatés 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.

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

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

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE :

Le site d'étude, bassin versant du (Kébir-Rumel), appartient à la région Nord Est de l'Algérie qui se situe dans l'épine dorsale du tell oriental, Le site drainé par deux principaux oueds du bassin comprend par Oued Rhumel et ses affluents, Oued Endja et ses affluents. Les deux oueds se convergent à la ville de Constantine pour former de nouveau Oued Elkébir qui se jette dans le barrage de Béni Haroun.

Il correspond au bassin néogène de Constantine à une surface de **5328 km²** et un périmètre de **404,8Km** C'est une grande dépression S'étendant de Mila à l'Ouest jusqu'à Zighoud youcef à l'Est du bassin. Ils sont limités par les Hautes plaines au Sud. Il s'agit de basses collines aux formes molles, taillées dans du matériel tendre et un réseau de ravins donne au relief un aspect disséqué, avec des altitudes varient de 200 à 1800 m.

La série stratigraphique s'échelonne du Jurassique au Quaternaire (6000 m d'épaisseur). Les formations géologiques sont constituées de dépôts détritiques du Crétacé inférieur, des dépôts argilo carbonatés du Crétacé supérieur et du Jurassique. Les sédiments tertiaires sont à dominante carbonatée, du Paléocène jusqu'à l'Eocène moyen. Tandis que le Néogène est essentiellement détritique. Les formations du Crétacé et du Jurassique forment les principaux reliefs et les dépôts du Paléogène et Néogène comblent les dépressions.

Elle présente un climat de la zone d'étude varié du Nord au Sud; Le nord été humide et pluvieuse par contre le Sud est semi-aride à aride, L'hiver est la saison la plus pluvieuse avec une précipitation de(**628,38 mm**) présente presque la moitié de la pluviométrie annuelle ; Le maximum a été observé en 1984 avec (**1 066,09 mm**) , pour les températures la station de Beni Haroun , indique que La moyenne annuelle des températures de la période (1984-2015) est de **19.30 °C**, L'analyse des observations montrent que le mois le plus froid est le mois de janvier (**avec 12.22°C**) et le plus chaude est le mois d'Juillet (**avec 28.13°C**).

L'application des formules de THORNTWAITE pour les précipitations et les températures nous permet de donner une idée sur le comportement hydro-climatique du ce bassin versant, Pour la période étudiée (1984-2015), les **628,38 mm** d'eau qui tombent sous forme de précipitations diverses (pluies, grêles, neige) sur l'ensemble du bassin, plus que la moitié retourne directement dans l'atmosphère (**413.16mm**) par évaporation des surfaces d'eau libre, et de l'eau du sol drainée, ou par transpiration de la végétation.Le reste environ(**108.09 mm**), Cet écoulement se compose de presque partie égale, qui après infiltration dans le sol, retourne au cours d'eau par émergence, l'infiltration et le ruissèlement présentent donc **17,05 %** et **17.20 %** de précipitations.

l'étude hydro climatologique du bassin versant de Beni Haroun nous a donné une vue sur la capacité énorme de ce bassin par sa surface et par son volume d'eau qu'il ait reçu chaque année.

Le suivi hydrochimique des eaux du bassin versant du barrage de Beni harroun 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 leurs écoulement, les eaux du bassin versant restent toujours faiblement chargées avec une minéralisation totale inférieure à 1400mg/L . Les faciès est (Chlorurée et sulfatée calcique et magnésiennes), et (Bicarbonatée calcique et magnésienne),

Les résultats obtenus nous ont permis de dire que les eaux du bassin versant de Beni harroun sont aptes à être utilisées pour l'agriculture

Références Bibliographique

Références Bibliographique :

- [1] **MR .R-GURIEM(1998)**, étude hydrogéologique du bassin versant de l'Oud SAFSAF, wilaya de Skikda,p19 Faculte des sciences de la terre. COSTANTINE.
- [2] **ABH-CSM (1999-2000)**. Les cahiers de l'Agence. Agence de bassin hydrographique constantinois, Seybouse-Mellegue, Constantine le bassin de la Seybouse Revu. Science de la terre. Constantine, No1, 35p.
- [3] **MR .D- JEBBAR(2004-2005)**, contrubution a l'étude hydrogéologique de l'aquiferecotier de la plaine de SKIKDA,p5,p14.Faculte des science de la terre. COSTANTINE.
- [4] **MR.MEDJERABAYMEN (2013)**, étude hydrogéologique de la zone industrielle de SKIKDA p55, p56. Faculte des sciences de la terre.COSTANTINE.
- [5] **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'Hammam Grouz (Haut Rhumel, Constantinois) : bilan Perspectives d'un aménagement hydraulique en zone semi-aride, Méditerranée, Revu. Institut Sciences de la terre. Constantine, 34p, 15-22.
- [6] **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.
- [7] **Vila.J.M, (1980)**. La plaine alpine d'Algérie orientale et ses confins Algéro-tunisiens. Doctorat. d'Etat. Université pierre et Marie curie, Paris VI.
- [15] **Mr,Kamoukh Sami(2004-2005)**étude hydrologique du bassin versant du barrage du Zardezas(université Batna),mémoire Magister,p48-53.
- [8] **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.
- [9] **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.
- [10] **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.
- [11] **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.
- [12] **Brouste L.** Hydrochimie et géochimie isotopique de la nappe phréatique de la Comarca Lagunera(Nord-Mexique).Th. Doct. Univ. Paris XI Osray. 1996.
- [13] **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.

- [14] **Laraque A.** Comportements hydrochimiques des aqudes du Nord-Est Brésilien semi-aride(évolution et prévisions pour un usage en irrigation). Th. Doct. Univ. Montpellierii. 1991.
- [15] **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.
- [16] **BETHEMONT J.** (1977).De l'eau et des hommes. Essai géographique sur l'utilisation des eaux continentales.éditions, Bordas, Paris, 280p.
- [17] **ERFOUCHI M. S.** (1981). Approche hydroclimatique, ressources en eau et aménagement dans la wilaya de Skikda, Mém. D.E.A. Université Nancy II, 62p.
- [18] **KERFOUCHIM.S.** (1984).Le bassin de Saf-Saf .Irrigation et aménagement des ressource en eau. Thèse Doct. 3^{ème}cycle, Nancy II 440 p.
- [19] **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.
- [20] **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
- [21] Plasma-ARC (DCP-AES), absorption atomique (SAA) et spectrophotométrie UV/VIS.Th.Doct.Univ.Annaba.167 p.
- [22] **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.
- [23] **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.
- [24] **Bouguerne A.** Etude comparative par analyse hydrologique et hydrochimique des eaux de Surface des bassins versants de Oued. Rhumel et Oued Boussellem. Mémoire de magister. Univ. Batna. Algerie. 2001.
- [25]**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.
- [26] **Mekaoussi H.** Etude hydrochimique du bassin versant barrage Fontaine des Gazelles.Thèse de magister .Univ. Batna .Algerie. 2003.
- [27] **Tiria .** Qualité des eaux de surface de ouedreboa. Batna. Mémoire de magister. Univ. Batna. Algerie. 2005.
- [28] **Belhadj M.**Etude de la pollution des eaux du barrage Zit-Emba-Skikda. Mémoire de magister. Univ. Batna. Algerie. 2006.
- [29] **Kemmoukh S.**Dégradation de la qualité des eaux du barrage de Zerdezas suite à une pollution naturelle.Algerie. 2006.
- [30] **BENCHAAR. 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.

[31] 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.

[32] 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

[33] 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.

[34] GAAGAI.AISSAM .BOUGUARNE .A 2001 : Etude comparative par analyse hydrologique Et hydro chimique des eaux de surface du bassin versant de oued boussalem, Oued Rhumel
Mémoire Magister, départ d'hydraulique –Univ.Batna.184 pages.

[35] 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 Thèse doctorat Univ De Franche.Comte-france 199 pages.

[36] GAAGAI.AISSAM .LIER.J(1982) l'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaire, eau de mer.

[37] Merabet souad. Memoire . Evaluation de la qualite physico-chimique des eaux brutes et distribuees du barrage reservoir de beni haroun .p .3-12

[38] Merabet souad. De villers j., squilbin m., yourassowsky c. 2005 Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion De l'environnement.

[39] MERABET SOUAD .KOHONEN T. 1984 Automatic monitoring of river water quality- Water Science Technology 16 289-294

ANNEXE

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	17,75
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
2013	25,38	21,56	17,82	12,69	13,81	13,85	14,58	14,16	17,49	23,42	22,24	24,52	18,46
2014	25,40	21,94	17,94	12,67	13,69	14,52	14,58	14,07	17,93	23,45	20,35	23,05	18,30
2015					13,23	11,88	14,69	14,14	18,88	23,55	29,40	26,58	19,04
moyenne mensuelle	22,78	18,23	12,76	9,67	8,11	9,71	11,78	14,14	18,87	22,89	26,64	27,01	16,88
T MAX	25,40	21,94	17,94	12,69	13,81	14,52	14,69	16,51	21,66	24,55	30,76	29,22	
T MIN	21,10	14,60	10,10	6,50	4,60	5,50	9,50	13,25	16,30	20,33	20,35	23,05	

Tampetature de HAMALA

Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
1 984	45	200	13,1	380	120	43	160	47,9	38	0	11	0	1 058,00
1 985	47	26,5	49,5	63,2	200	80	120	37,7	8	7,5	0	0	639,40
1 986	14,9	50,8	120,3	157,8	105,7	230	94	58,8	40	00,00	0	0	872,30
1 987	11,3	25,8	53,3	23,3	110,7	105	100	48,24	20	20,5	0	0	518,14
1 988	24,4	0	40,3	300	100	64	62	107	16	0	0	0	713,70
1 989	36,7	102,1	50,4	27	140	0	34	55	60,9	0	0	0	506,10
1 990	0	8	150	250	78,5	100	95	76	60,4	0	0	0	817,90
1 991	11,5	96,2	42	20	100	74	82	170	72	14	15,5	0	697,20
1 992	21,5	20	35	250	110	95,5	50	41,7	60,5	8	4,96	0	697,16
1 993	19	0	40,5	225	100	28,98	8	0	0	0	0	0	421,48
1 994	41,5	79,8	92	84,8	200	40	90	35	4,6	58,8	0	0	726,50
1 995	43,2	40,3	96,7	47,8	85,8	35	91	81,5	50,4	13,12	0	0	584,82
1 996	32	50	49,2	60	140	30	18	28,5	15,9	16	0	16,5	456,10
1 997	30	70	160	140	87,47	80	63	76	18	17,9	3	5	750,37
1 998	76,66	24,56	133,5	31,6	14,4	28,7	18,7	80	60	23,1	2,3	7	500,52
1 999	103,21	39,5	38,57	80,8	63,6	14,4	34,5	25,5	19,1	29,3	1,23	15,8	465,51
2 000	6,32	18,33	12,9	36,5	12,6	13,1	23,22	24,1	58,7	15,6	0	12,5	233,87
2 001	85,9	17,38	27,4	12,1	67,5	17,5	10,92	25	32,3	0	0	6,4	302,40
2 002	13,7	11,5	129,9	97,2	13,4	27,2	29,6	18,4	12,5	2,7	0	17,8	373,90
2 003	36,1	55,5	39,2	155,6	55,6	0	0	89,5	0	0	0,89	0	432,39
2 004	37,3	33,1	155,6	202,9	84,4	32,2	50,2	85,6	62,7	44	0,9	2	790,90
2 005	14,2	19,5	85,8	86,2	126,6	149,3	50	113,3	5,2	0	0,5	2,7	653,30
2 006	35,5	28,1	35,6	161,8	101,8	85,3	37,3	10,6	45,7	0	0,3	2,82	544,82
2 007	38,9	0	0	0	8,35	15,1	0	0	0	0	0	0	62,35
2 008	35,5	41,6	49,2	185,13	202,2	125,1	33,7	95,1	15,54	20,3	0	3,28	806,65
2 009	46,2	62,3	110	88,6	120	150,22	47,32	96,56	35,2	3,03	0	5,8	765,23
2 010	35,9	23,5	35,56	98,6	148,3	123,38	46,62	71,55	34,2	13	1,2	0,4	632,21
2 011	38,8	43,3	36,23	62,3	145,2	135,26	41,22	61,8	12,34	11,2	4,6	8,3	600,55
2 012	15,86	52,6	115,2	69,2	183,2	132	34,62	81,51	15,38	6,33	4,6	6,6	717,10
2 013	29,67	57,632	258,94	67,52	112,1	178,49	65,85	29,75	40,92	3,6871	3,5198	42,51	890,56
2 014	0	5,942	64,04	195,1	68,54	57,282	241,8	8,5075	24,31	21,178	0,1297	0	686,82
2 015	41,31	87,169	84,529	3,972	220,4	190,51	95,17	2,666	28,05	1,6881	0,1297	28	783,60
MOY	33,41	43,469	75,14	114,5	107,1	77,516	60,24	55,712	30,21	11,32	1,71123	5,731	616,04
MIN	0	0	0	0	8,35	0	0	0	0	0	0	0	
MAX	103,2	200	258,94	380	220,4	230	241,8	170	72	58,8	15,5	42,51	

PRÉCIPITATION STATION HAMALA

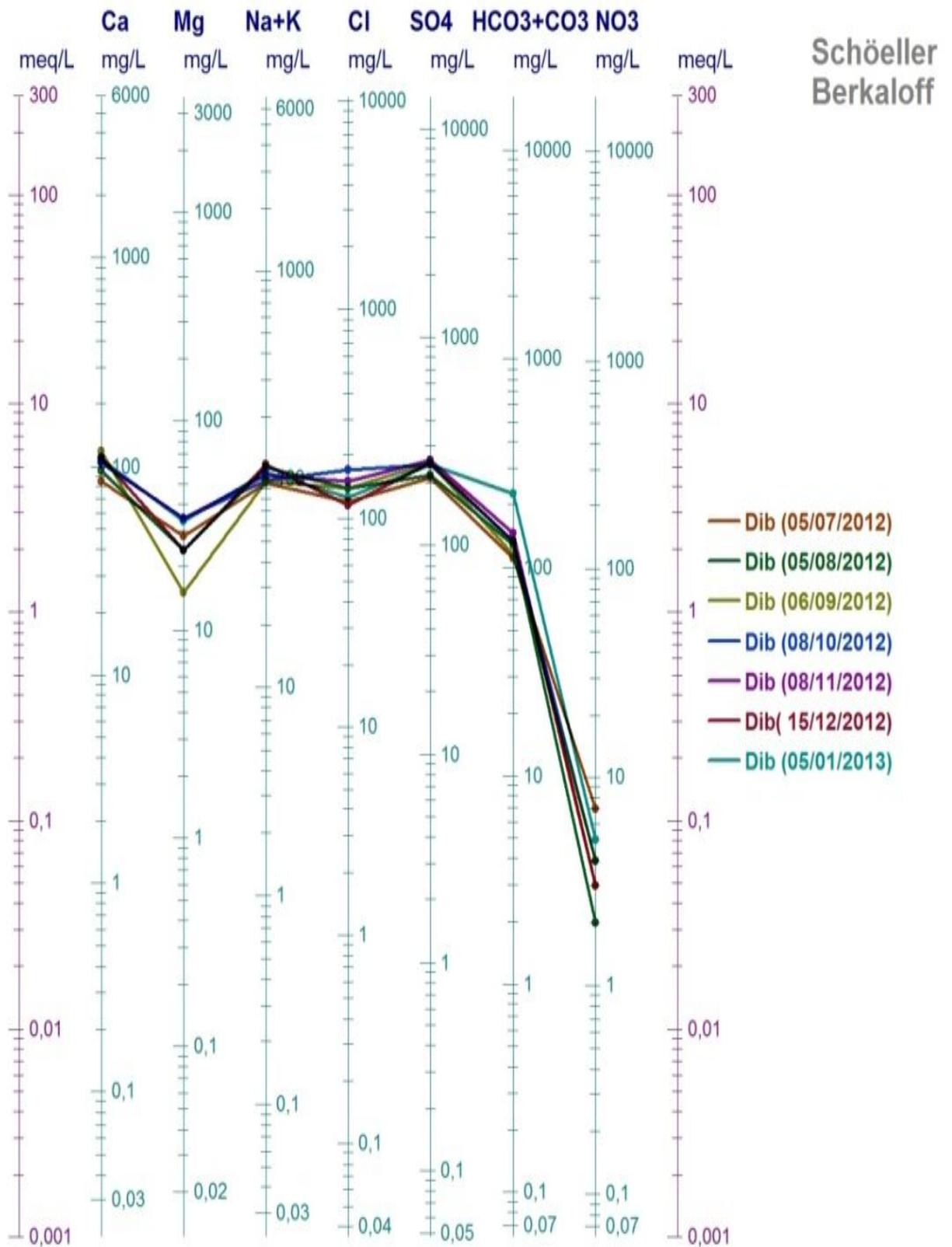
précipitations moyennes mensuelles en (mm) (Station de Béni Haroun 1984 – 2015)

Années	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Total
1984	39,53	189,45	14,8	395,69	119,8	44,96	167,11	47,23	36,12	0	11,18	0,22	1 066,09
1985	41,24	24,97	49,31	63,05	198,76	81,7	124,55	37,69	7,17	7,21	0	0,22	635,87
1986	13,79	48,01	116,43	162,38	105,69	230,65	96,88	57,44	38,05	0	0	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	0,22	516,28
1988	21,91	0	40,59	311,69	100,06	65,81	62,84	102,55	14,89	0	0	0,22	720,56
1989	32,43	96,64	50,16	25,04	139,54	2,26	33,04	53,88	58,22	0	0	0,22	491,43
1990	1,05	7,43	144,59	259,19	78,84	101,56	97,95	73,54	57,74	0	0	0,22	822,11
1991	10,88	91,05	42,2	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	4,9	0,22	702,19
1993	17,3	0	40,78	232,94	100,06	31,03	5,38	2,4	-0,55	0	0	0,22	429,56
1994	36,53	75,5	89,6	85,73	198,76	41,98	92,63	35,16	3,89	58,76	0	0,22	718,76
1995	37,99	38,05	94,06	46,88	86,05	37,01	93,69	78,68	48,09	12,86	0	0,22	573,58
1996	28,41	47,25	49,03	59,69	139,54	32,05	16,02	29,08	14,8	15,75	0	10,16	441,78
1997	26,7	66,21	154,07	143,69	87,7	81,7	63,9	73,54	16,82	17,66	2,86	3,23	738,08
1998	66,6	23,13	128,94	29,87	15,58	30,76	16,76	77,28	57,35	22,89	2,14	4,44	475,74
1999	89,3	37,3	38,95	81,53	64,14	16,56	33,58	26,27	17,88	29,12	1,02	9,73	445,38
2000	6,45	17,23	14,61	35,01	13,8	15,26	21,57	24,96	56,1	15,35	0	7,75	228,09
2001	74,5	16,33	28,36	9,39	67,99	19,63	8,49	25,8	30,62	0	0	4,07	285,18
2002	30,1	10,75	125,53	98,75	14,59	29,27	28,36	19,62	11,52	2,38	0	10,94	381,81
2003	30,1	50	38,2	190,6	56,24	0	0	86,17	0	0	0	0	451,31
2004	35,3	32,1	145,6	212,9	83,4	32,2	50,2	81,6	60,7	44	0,9	0	778,90
2005	12,2	19,2	86,9	84,2	128,6	149,1	50	103,3	6,2	0	0,5	1,7	641,90
2006	35,3	24,1	34,9	151,8	97,8	85,3	37,3	10,6	46,7	0	0	2,8	526,60
2007	34,31	0	0	0	10,3	19,1	0	0	0	0	0	0	63,71
2008	31,5	40,5	48,6	180,1	200,2	135,1	30,7	90,1	12,5	20,3	0	3,2	792,80
2009	40,2	60,2	111,1	85,6	120	150,2	48,3	98,5	30,2	2	0	5	751,30
2010	25,9	22,5	35,6	90,6	150,3	123,3	45,6	70,5	30,2	12	0,2	0,4	607,10
2011	35,8	40,3	36,5	60,3	147,2	145,2	40,2	60,8	12,3	11,2	5,6	5,3	600,70
2012	15,8	50,6	112,2	80,2	180,2	122,3	35,6	80,5	15,3	6,3	3,6	2,6	705,20
2013	27,0	54,5	248,5	67,5	112,0	180,0	67,0	30,0	39,0	3,5	3,5	26,5	859,00
2014	0,5	5,50	63,0	202,0	69,0	59,0	253,0	10,0	23,0	21,0	0,0	0	706,00
2015	37,0	82,5	82,5	0,5	219,0	192,0	98,0	4,5	26,6	1,5	0,0	17,5	761,60
P moyenne mensuelle (mm)	30,18	42,40	75,94	120,80	107,05	81,75	65,20	56,20	30,56	12,34	2,01	3,93	628,38
P moyenne saisonnière(mm)	148,52			309,6			151,96			20,44			630,52
P (saisonnière) %	23,64			49,27			24,18			2,91			100,00

Températures moyennes mensuelles en °C(station Béni Haroun1984 – 2015)

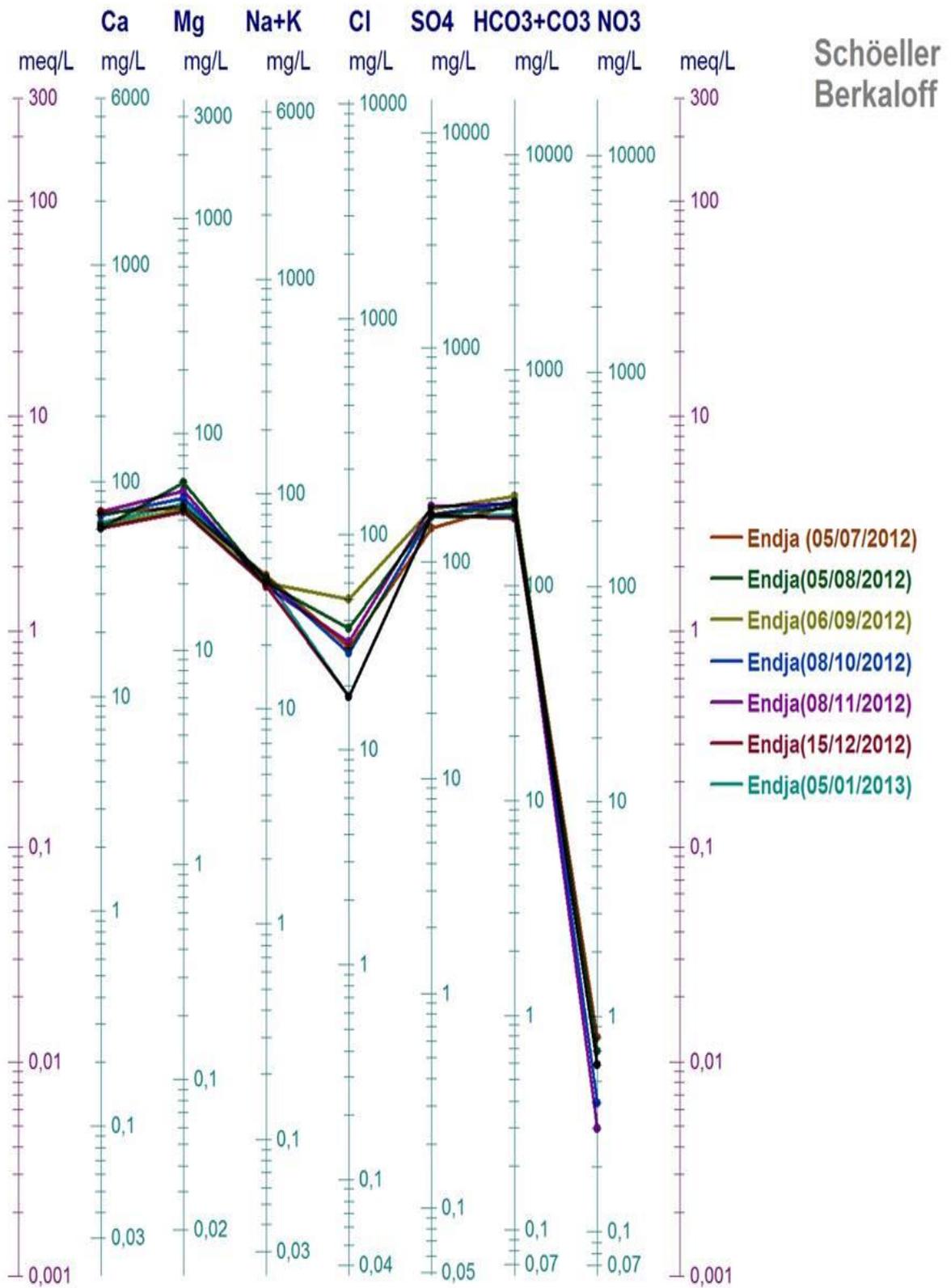
Année	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	Moyenne
1984	25,32	22,69	16,67	13,18	12,92	13,88	14,53	13,07	19,47	24,38	28,2	25,81	19,18
1985	25,32	22,75	16,77	13,15	12,3	13,77	14,51	12,97	20,73	24,58	28,9	27,06	19,4
1986	25,33	22,8	16,52	13,16	12,39	13,62	14,53	13,15	19,75	24,66	29,05	27,89	19,41
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	19,4
1988	25,32	22,65	16,69	13,13	12,5	13,7	14,44	13,22	20,73	24,65	28,5	26,73	19,35
1989	25,33	22,63	16,52	13,08	12,39	14,03	14,44	13,2	20,31	24,51	27,84	26,91	19,27
1990	25,3	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	25,3	22,7	16,67	13,18	12,41	12,85	14,46	13,22	20,52	24,28	27,27	26,16	19,08
1992	25,3	22,69	16,19	13,15	12,3	13,62	14,46	13,31	19,33	24,32	27,84	25,81	19,03
1993	25,3	22,71	16,51	13,05	12,53	13,81	14,35	12,41	19,4	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	20,2	24,75	28,04	26,43	19,21
1996	25,3	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	14,4	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	14,7	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	14,6	13,11	22,32	24,21	27,47	25,09	18,95
2001	25,3	22,57	15,96	13,08	12,1	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	19,3
2003	25,33	23,26	16,29	13,19	11,4	11,74	14,5	13,02	18,32	24,2	27,4	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	19,3	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	25,9	29,31	30,17	20,31
2008	27,22	23,37	16,67	13,09	13,04	12,2	13,8	17,41	21,99	23,38	29,97	31,55	20,31
2009	25,73	21,86	16,9	14,73	12,64	12,33	15,4	15,41	25,52	26,84	30,07	30,11	20,63
2010	26,3	20,96	15,86	13,33	10,64	13,84	14,93	17,02	19,7	23,83	28,55	24,62	19,13
2011	25,36	22,97	15,96	13,23	12,25	11,8	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	11,2	14,84	18,56	21,98	24,43	23,25	17,73
2013	24,2	23,1	17,2	13,9	12,5	11,0	11,4	14,3	16,7	19,6	23,3	24,9	17,7
2014	23,7	21,6	17,6	14,0	12,2	11,7	11,4	13,7	17,0	19,7	22,0	23,8	17,4
2015	/	/	/	/	10,9	8,8	10,3	14,2	17,7	20,0	28,3	26,3	17,0
T moyenne mensuelle (°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
T MAX (°C)	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
T MIN (°C)	24,27	20,96	14,48	11,83	9,77	8,85	11,2	12,41	16,98	21,98	24,43	23,25	16,7

station Dib



Représentation des eaux de Oued Dib sur le Diagramme de Schöeller-Berkaloff

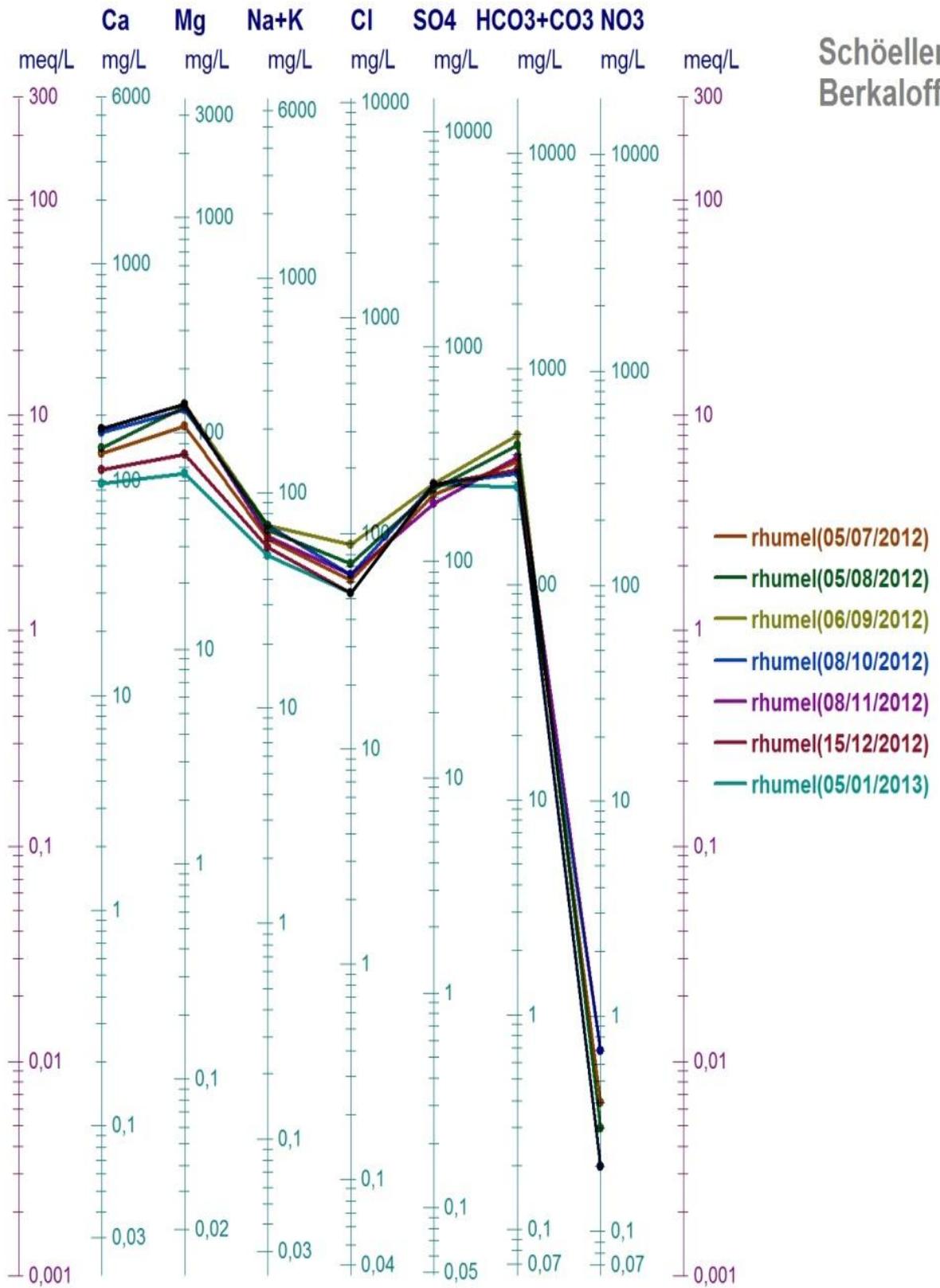
station oued Endja



Représentation des eaux de Oued Endja sur le Diagramme de Schöeller-Berkaloff

station rhumel

Schöeller
Berkaloff



Représentation des eaux de Oued Rhumel sur le Diagramme de Schöeller-Berkaloff