

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 de sciences et Techniques



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Sciences Hydrauliques.

THEME

**Contribution à l'étude de la qualité des eaux de
surface d'Oued Endja (Wilaya de Mila)**

Présenté par :

- *Achoub Hocine*
- *Beldjaatit Amin*

Soutenu devant le jury :

M. Kabour Abdesselem
M. Kemoukh Sami
Mme. Dib Imane

Président
Promoteur
Examineur

Année universitaire : 2016/2017

Remerciements

Avant tout, nous remercions notre DIEU tout puissant, qui nous donnée, la volonté, le courage et la patience et qui a guidé notre pas vers le droit chemin durant les années d'étude.

*Nous tenons à remercier notre encadreur, Mr : **KEMOUKH Sami** pour avoir dirigé ce travail avec compétence et professionnalisme, pour tous les conseils précieux qu'il nous prodigués.*

*Je remercie sincèrement, Mr : **KABOUR Abdessalam** et Me : **DIB Imane** pour avoir accepté de juger ce travail.*

Merci également à toutes les personnes avec qui j'ai partagé conseils techniques et/ou discussions pendant la durée de ce travail.

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ce que la réalisation de ce travail se soit déroulée dans les meilleures conditions.

Toute ma gratitude va enfin à mes parents pour leur soutien tout au long de mes études et durant ce mémoire.

Dédicace

A mes chers parents pour leurs dévouements, leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements et sans qui ne je serais pas là aujourd'hui. Que ce travail soit, pour eux, un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse.

A mes chères sœurs Samira, Hanane et Kamilia.

A mes chers frères Ahmed et Bourhane.

A ma promotion du MASTER.

A tous mes amis et collègues .

A tout ma famille de proche au loin.

Hocine

Dédicace

*A mes chers parents pour leurs dévouements, leurs
amours, leurs sacrifices et leurs encouragements,
Que ce travail soit, pour eux, un faible
témoignage de ma profonde affection et tendresse.*

A mon cher frère YASSER

A ma promotion du MASTER,

A tous mes amis et collègues.

A tout ma famille de proche au loin.

AMIN

Sommaire

Remerciement.	
Liste des tableaux.	
Liste des figures.	
Liste des abréviations.	
Résumé.	
INTRODUCTION GENERALE :	1
I : ETUDE MORPHOLOGIQUE	4
Partie I :	4
I.1.Situation géographique :	4
I.2.Climat :	6
I.3.Sol et végétation :	7
I.4.Les reliefs :	7
I.5.Aperçu socio-économique :	7
I.6.Réseau hydrographique :	7
I.7.Conclusion :	8
Partie II :	9
II-Analyse morpho métrique et hydrographique :	9
II.1.Caractéristiques morphologiques :	9
II.1.1.Le périmètre(P) :	9
II.1.2.Superficie et formes :	9
II.1.2.1.La superficie :	9
II.2.3.Rectangle équivalent :	10
II.3. Répartition altimétrique :	11
II.3.1.Altitude moyenne (H_{moy}) :	11
II.3.2.Altitude médiane H50% :	12
II.3.3.Dénivelée simple (D) :	12
II.4.Indice de pente et de relief :	12
II.4.1.Indice de pente globale :	12
II.4.2.Indice de pente de roche :	13
II.4.3.Dénivelée spécifique :	13

II.5.Caractéristique hydrographique :.....	13
II.5.1.Morphométrie du réseau hydrographique :	13
II.5.2.Densité de drainage :	14
II.5.3.Fréquence des talwegs élémentaires :.....	15
II.5.4.Coefficient de torrentialité (Ct) :	16
II.6.Conclusion :.....	17
II.ETUDE GEOLOGIQUE	19
II.I. Géologie régional :.....	19
II.I.1.Le domaine interne :.....	20
II.I.1.1.Le Socle kabyle :.....	20
II.I.1.2.La couverture sédimentaire du socle kabyle :.....	20
II.I.2.Le domaine externe :.....	22
II.I.2.1.Les séries de type Flyschs :.....	22
II.I.2.2.Les séries Telliennes :	23
II.I.2.3.Les formations de l'avant pays :	24
II.I.2.4.Les formations Post-nappes :	24
II.II.La géologie de sous bassin d'Oued Endja :	24
II.II.1.Description stratigraphique et lithologique :.....	25
II.II.1.1.Le Quaternaire :	25
II.II.1.2.Mio-pliocène :.....	25
II.2.2.Les nappes Telliennes :.....	25
II.II.1.2.3.Nappe péni-Tellienne :.....	26
II.II.1.2.4.Trias Exotique :.....	30
II.III.Tectonique et paléogéographie :.....	30
II.III.1.Position du bassin néogène de Constantine dans le dispositif structural de la partie Nord orientale de la chaîne Alpine en Algérie :.....	30
II.IV. Conclusion :.....	31
III.HYDROCLIMATOLOGIQUE :.....	33
III.1.les stations climatiques et les éléments essentiels du climat:.....	33
III.1.1.Les stations climatiques :	33

III.2.Étude des éléments du climat :	34
III.2.1.Les précipitations :	34
III.2.1.1.les précipitation moyennes annuelles :.....	34
III.2.1.2.Précipitations moyennes mensuelles :.....	34
III.2.1.3.précipitation moyenne saisonnière :.....	35
III.2.2. Température :	36
III.3. Relation précipitation/température :.....	37
III.3.1.Diagramme Ombro-thermique : $P \leq 2T$	37
III.3.2.Indice de DEMARTONNE (aridité) :	37
III.4.Estimation du bilan hydrologique :	38
III.4.1. l'évapotranspiration potentielle (ETP):.....	39
III.4.2. l'évapotranspiration réelle(ETR), ou déficit d'écoulement :	40
III.5.Estimation du ruissellement (R) :.....	45
III.6.Estimation de l'apport moyen annuel selon les formules empiriques :.....	45
III.7.Détermination de l'infiltration (I) :	48
III.8.Conclusion :.....	49
IV.ETUDE HYDROCHIMIQUE :	51
Introduction :.....	51
IV.1.Echantillonnage et choix du prélèvement :	51
IV.2.Analyse des paramètres physico-chimiques :	53
IV.2.1.Méthodes d'analyses et présentation des résultats.....	53
a) Matériel et Méthodes	53
b) Méthode des tendances :.....	54
Interprétation des résultats :.....	56
IV.3.Faciès chimique.....	57
IV.3.1 Outils.....	57
IV.4. Rapport caractéristiques :.....	59
IV.4.1.Le faciès chimique : Échelle Bi logarithmique.....	59
IV.4.2.L'origine des éléments dominant :.....	60

a) Origine de chlorure (Cl ⁻) et sodium (Na ⁺) :.....	60
□ Rapport Na/Cl :.....	60
Rapport Na/So4 :.....	61
b) Echange de base :	61
c) Origine de Mg :.....	62
d) Origine de calcium :	63
□ Rapport Ca ²⁺ / HCO ₃ ⁻ :.....	63
□ Rapport Ca ²⁺ / SO ₄ ²⁻ :.....	63
a) Rapport (Ca ²⁺ +Mg ²⁺)/ (SO ₄ ²⁻ + HCO ₃ ⁻) :	65
b) Origine de salinité :.....	65
□ Rapport (HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) / CE:	65
□ Rapport [(Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) /CE] :	66
IV.5.Apport de l'Analyse en Composant Principales (ACP) :.....	66
IV.5.1.Caractéristique de la méthode :.....	67
a) Principe de la méthode :	67
b) Traitement statistique :	67
c) Matrice de corrélation :.....	68
d) L'analyse de cercle de l'ACP :	69
IV.6.Aptitude des eaux à l'irrigation :.....	71
IV.6.1.Risque de sodicité et de salinité : Diagramme du SAR :	71
IV.6.2.Influence de la sodicité et de la salinité de l'eau sur la perméabilité du sol :.....	73
IV.7.Conclusion :	74
CONCLUSION GENERALE :.....	76
Références bibliographiques.	
Annexes.	

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau.I. 1 : Les Coordonnées Lambert du sous bassin versant d'Oued Endja	6
Tableau.I. 2 : Données de la carte hypsométrique	11
Tableau.I. 3 : Les données hydrographiques du sous bassin versant d'Oued Endja.....	14
Tableau.I. 4 : Tableau récapitulatif des différents paramètres	17
Tableau.III. 1:Les principales caractéristiques de la station pluviométrique de Beni Haron(Mila).....	33
Tableau.III. 2: précipitations moyennes mensuelles de Beni Haron (1984 à 2016)	35
Tableau.III. 3: précipitation moyennes saisonnière de la station Béni Haroun (1984-2016)...	35
Tableau.III. 4: Températures moyennes mensuelles de la station Beni Haron (1984 à 2016).	36
Tableau.III. 5: Valeurs des températures et précipitations correspondant au mois de la Station Beni Haron (1984-2016)	37
Tableau.III. 6: Les indices thermiques mensuels	39
Tableau.III. 7 : Calcul de l'ETP _c selon la formule de THORNTHWAITE.....	40
Tableau.III. 8: L'ETR et ETP calculé par les différentes méthodes (1984-2016).	43
Tableau.III. 9: Calcul du Bilan hydrique de la station Beni Haroun (1984 - 2016) par la méthode de THORNTHWAITE	43
Tableau.III. 10: Résultats de Calcul de l'apport annuel.....	48
Tableau.IV. 1: Caractéristiques des points de prélèvement	52
Tableau.IV. 2 : Les normes des paramètres physico-chimiques [OMS].....	52
Tableau.IV. 3 : Méthodes utilisées pour l'analyse de l'eau.	54
Tableau.IV. 4: Caractéristiques statistique des données chimiques des 4 stations à courte terme (11 Avril-11 Mai 2017) en (mg/l).	55
Tableau.IV. 5: Pourcentage de la variance exprimée.....	67
Tableau.IV. 6: Matrice des corrélations entre les différents variables au seuil de 5% et avec 12 d'échantillons ($r = 0,4324$ soit $r^2 = 0,186$).....	68
Tableau. IV. 7: Corrélation entre les variables et les facteurs.....	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.IV. 8: Cosinus carrés des individus :.....	70
Tableau.IV. 9 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R [46].	73

LISTE DES FIGURES :

Figure.I. 1: Le bassin versant Kebir Rhumel	4
Figure.I. 2 : Carte hydrographique de Kebir Rhumel [15].....	5
Figure.I. 3: Carte de la situation géographique de S.B d'Oued Endja	6
Figure.I. 4: Carte Hypsométrique d'Oued Endja extrait de Global Mapper V.16	10
Figure.I. 5: Courbe hypsométrique	12
Figure.I. 6: Carte hydrographique du sous bassin versant d'Oued Endja	15
Figure.II.1: Schéma structural de la méditerranée occidentale. [17]	19
Figure.II.2: Carte géologique du bassin de Mila.[26]	27
Figure.II.3: Carte géologique synthétique du bassin constantinois.[26]	29
Figure.III. 1: Histogramme des précipitations moyennes annuelles (1984 -2016)	34
Figure.III. 2: Histogramme des précipitations mensuelles de la station Beni Haron	35
Figure.III. 3: Pourcentage des précipitations moyennes saisonnières la station Beni Haron (1984-2016).....	35
Figure.III. 4: Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station Beni Haron (1984 - 2016).....	36
Figure.III. 5: Diagramme Ombro-thermique.....	37
Figure.III. 6: Evaluation de l'écoulement et du déficit en fonction des températures et des précipitations moyennes annuelles	42
Figure.III. 7: Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période (1984-2016) de la station de Beni Haroun.	44
Figure.IV. 1 : Carte de situations des quatre points .extrait de GOOGLE EARTH PRO.....	52
Figure. IV. 2 : Diagramme de Piper et son interprétation, Oued Endja (2017)	58
Figure.IV. 3: Représentation des facies chimiques des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).....	59
Figure. IV. 4 : Représentation de Rapport (Na^+/Cl^-) des eaux d'Oued Endja, Mila (2017). ..	60
Figure.IV. 5 : Représentation de Rapport ($\text{Na}^+/\text{SO}_4^{2-}$) des eaux d'Oued Endja, Mila.	61
Figure.IV. 6 : Rapport d'échange de base des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).	62

Figure.IV. 7 : Rapport $(Mg^{2+}/Ca^{2+})/So_4^{2-}$ des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).....	62
Figure.IV. 8 : Représentation de Rapport (Ca^{2+} / HCO_3^-) des eaux d'Oued Endja, (2017).....	63
Figure.IV. 9 : Rapport (Ca^{2+} /So_4^{2-}) des eaux d'Oued Endja, Mila.....	64
Figure.IV. 10 : Rapport $(Ca^{2+} +Mg^{2+})/ (So_4^{2-}+ HCO_3^-)$ des eaux d'Oued Endja, Mila.....	64
Figure.IV. 11 : Rapport $(HCO_3^-/Cl^-+SO_4^{+2}) / CE$ des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).....	65
Figure.IV. 12 : Rapport $(Cl^-+SO_4^{+2}) /CE$ des eaux d'Oued Endja, Mila.	66
Figure.IV. 13: Histogramme des valeurs propres.	68
Figure. IV. 14: Plan factoriel F1-F2 des variables	70
Figure.IV. 15: Aptitude de l'eau à l'irrigation selon le diagramme de Richards (SAR).....	72
Figure.IV. 16: Aptitude de l'eau à l'irrigation selon le diagramme de Wilcox.	74

LISTE DES ABREVIATION :

S : Superficie (km²)

P : Périmètre (km)

F₁ : Fréquence des talwegs élémentaires

Ct : Coefficient de torrentialité

Tc : Temps de concentration (heure)

D_{sp} : Dénivelé spécifique (m)

L : L rectangle équivalent (km)

p : L du talweg principal (km)

Dd : Densité de drainage (km/ km²)

D : Dénivelé simple (m)

Kc : Indice de compacité

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{50%} : Altitude médiane (m)

H_{max} : Altitude maximale (m)

H_{min} : Altitude minimale (m)

Ig : Indice de pente globale (m/km)

Ip : Indice de pente de roche (m/km)

R : Classe de relief

P : précipitation (mm).

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

I : infiltration (mm).

I : indice d'aridité de DEMARTONNE.

i : indice thermique moyennes mensuelle ' i '.

D : Déficit d'écoulement en (mm/an).

R : Ruissellement (mm).

T : Température (°C).

Wa : variation des réserves.

DA : Déficit Agricole.

EX : Excédent.

ES : Epuisement de stock.

λ : un paramètre dépendant de la température.

T : température moyenne annuelle

RFU : réserve facile à utiliser

ETP_c : évapotranspiration potentielle corrigée en (mm).

T: température mensuelle en (°C).

I : indice de chaleur, c'est la somme des indices thermiques moyennes mensuelles ' i '

a : l'exposant climatique.

K : Facteur de correction en fonction de la durée de journée.

P.m.m : précipitation moyenne mensuelle en (mm).

ANRH : l'agence nationale des ressources hydraulique.

TA : titre alcalimétrique.

TAC : titre alcalimétrique complet.

TH : titre hydrotimétrique (dureté de l'eau).

EDTA : Ethylène-diamine-tétra-acétique.

SAR : Sodium adsorption ratio.

MRE : ministère des ressources en eau.

ADE : Algérienne Des Eaux.

OMS : organisation mondial de la sante.

H₂O: molecule d'eau.

H⁺: atome d'hydrogene.

pH: potentiel hydrogène.

% : pourcentage.

LISTE DES ABREVIATIONS

‰ : pourcentage en mille

C° : degré Celsius.

M³: mètre-cube.

m³/an : mètre-cube par ans.

Km² : kilomètre au carre.

Hm³/an : hectomètre-cube par ans.

μS/Cm: micro-siemens par centimètre.

mg/l : milligramme par litre.

nm : nanomètre.

moy : moyenne.

Min : minimale.

Max : maximale.

Résumé

Le sous bassin versant d'Oued Endja se trouve à 20 km au Nord-Ouest de la ville de Mila, il occupe la partie occidentale du grand bassin versant Kebir RHumel, avec une superficie de 1105,73km², il s'étendant partiellement sur trois wilayas (Mila, Jijel et Sétif).

L'étude des différents facteurs climatiques montre que Le climat est humide, et caractérisé par une saison chaude et sèche et autre froide et pluvieuse.

L'étude géologique du sous bassin d'Oued Endja montre une dépression du Moi-plio Quaternaires, ainsi que la présence de quatre formations qui peuvent constituer des aquifères : Le recouvrement Quaternaire, Nappe des Calcaires de l'Yprésien-lutétien Inférieur, Nappe des Calcaires de Cénomaniens et la Nappe des Calcaires d'Albien Supérieur à Cénomaniens.

Les eaux de surface d'Oued endja sont chlorurées-sulfatées- Magnésien à calciques qui semblent être liés à la nature géologique des formations riveraines, en ce qui concerne l'aptitude à l'irrigation, les eaux sont caractérisées par une qualité bonne à médiocre pour l'irrigation. Cette eau doit donc être utilisée pour des cultures tolérant le sel, sur des sols bien drainés et où la salinité doit être contrôlée.

Mots Clés : qualité des eaux, Géologie, sous Bassin versant, Oued Endja

Abstract:

The sub watershed of Oued Endja lies 20 km north-west of the town of Mila, occupying the western part of the large watershed of Kebir RHumel, with an area of 1105, 73 km² stretching on three wilayas (Mila, Jijel, Sétif).

The study of the different climatic factors shows that the climate is humid, and characterized by a warm and dry season and other cold and rainy.

The geological study of Subbasin of Oued Endja is a depression of the self-plio Quaternaire, there are four formations that can constitute aquifers the Quaternaire recovery, the formation of limestones of the lower Ypresian-Lutetian, formation of the limestones of Cenomanian and the formation of limestones of Alwell greater than Cenomanian

The waters of the surface of Oued Endja are chloride-sulfated-magnesia to calcium which appear to be related to the geological nature of the salt-rich reservoir, as regards and the suitability for irrigation; the waters are characterized by good to poor quality for irrigation. This water must therefore be used for salt tolerant crops on well-drained soils and where salinity should be controlled.

Key words: water quality, geology, sub basin, Oued Endja

ملخص :

يقع الحوض المائي الفرعي لوادي النجاء في الشمال الغربي على بعد 20 كيلومتر من مركز ولاية ميلة و يحتل مساحة كبيرة من الحوض المائي كبير الرمال, بمساحة تقدر ب 1105.73 كيلومتر مربع. و يمتد على ثلاث ولايات (ميلة, جيجل و سطيف).

دراسة مختلف العوامل المناخية لهذا الحوض الفرعي بينت انه يتميز بمناخ رطب , و فصل ساخن و جاف, و آخر بارد و ممطر.

الدراسة الجيولوجية تبين وجود تكوينات مختلفة تتمثل في التشكيل السطحي الميوليوساني, إضافة إلى تكوينات المياه جوفية .

فيما يخص نوعية المياه لهذا الحوض فهي كلوريرية كبريتية مغنيزية بالإضافة إلى الكالسيوم, و تعود هذه الصفة الكيميائية الى مرور هذه المياه بمختلف التكوينات الجيولوجية, هذه المياه ذات نوعية جيدة إلى متوسطة إذا ما استعملت في السقي الزراعي لنباتات تتحمل الزيادة الملحية في المياه مع ارض ذات سيلان مرتفع و ملوحة متحكم فيها.

الكلمات المفتاحية : الحوض المائي الفرعي , نوعية المياه , الجيولوجيا, وادي النجاء .

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

L'eau est indispensable à la vie et pourtant un ensemble des facteurs en réduisent toujours plus la disponibilité : croissance démographique, production agricole, une ressource en eaux potables se raréfient sur terre alors que les besoins s'accroissent au jour à jour.

Au cours des dernières décennies l'activité humaine a considérablement changé l'hydrologie et le chimisme des eaux des rivières méditerranéennes par suite de la mauvaise qualité de l'eau et de la rétention d'eau dans les barrages [1]. Soulignent le fait que les ressources en eau en Méditerranée sont rares et les pressions anthropiques sur les rivières deviennent particulièrement importantes. Par ailleurs, la construction des barrages sur les rivières et les prélèvements d'eau pour l'irrigation ont évolué depuis les années 1960 étant largement réduit le débit des rivières d'au moins 20% ce qui a profondément modifié le fonctionnement naturel des cours d'eau méditerranéens [2] [3]. Or, rien n'est plus important au fonctionnement du littoral que les quantités et la durée des apports d'eau douce, rapportent [3]. Malgré le rôle hydrologique clé qu'elles ont occupé, les rivières sont également connues pour jouer un rôle particulier dans le soutien à la production de la Méditerranée où les zones de production sont limitées aux côtes s'adjacentes [5]. Pourtant, souligne le fait que les ressources côtières représentent l'immensité du revenu des résidents locaux tandis que les systèmes aquatiques méditerranéens sont très sensibles et leur avenir ne semble pas [6]. L'auteur ajoute que la préservation de la productivité et l'état de l'écosystème côtier est une priorité pour la stabilité du développement socio-économique de la région Méditerranéenne.

Ces modifications hydro chimiques sont responsables de nombreux impacts négatifs : perte d'habitat et de la biodiversité, augmentation de la prolifération d'espèces photo planctoniques nuisibles, eutrophisation, hypoxie [7, 8, 9, 10, 11,12].

Sur un autre plan hydrologique, l'Algérie dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties. Environ 90 % de la totalité des écoulements superficiels estimés à 12,4 Milliards de m³/an, se trouvent sur la région littorale[13]. Les investissements consacrés aux grandes infrastructures de mobilisation et aux ouvrages d'adduction et de transfert représentent actuellement 2% du Produit intérieur brut (environ 200 Milliard de \$ en 2012). La construction de plus de 30 barrages au cours de la dernière décennie a haussé la capacité de stockage d'eaux superficielles à environ 7 milliards de m³ [13,14]. Cependant, seulement la moitié de ce volume mobilisé est exploité pour les besoins d'irrigation et de consommation domestique. En raison des besoins d'irrigation de culture et d'alimentation en eau potable de la population, il est encore prévu de stocker dans les quelques années à venir, environ 7,65 milliards de m³ [14], ce qui représentent 61% des écoulements des rivières côtières. On comprend en conséquence qu'en quelques années, les quantités mobilisées et écoulées se sont inversées ce qui a réduit fortement le débit des rivières et aura certainement de graves conséquences sur la fertilité, le fonctionnement et la productivité des eaux côtières. Et après une introduction qui pose le problème, nous passerons en revue l'essentiel de l'état des connaissances sur l'hydrologie et la chimie des eaux superficielles en Méditerranée en particulier, le manuscrit est en conséquence structuré en quatre chapitres.

Le premier chapitre possède d'abord une présentation géographique dans son premier partie, Le deuxième partie est consigné les grandes caractéristiques géographiques de bassin étudié.

Le deuxième chapitre, présente une étude géologique qui consiste à définir les différentes formations lithologiques, ainsi que les différentes phases tectoniques.

Dans le troisième chapitre, une étude hydro climatologique qui nous permet de connaître les caractéristiques climatiques, en vue d'établir le bilan hydrologique.

Le quatrième chapitre analytique présente dans son premier partie la stratégie d'échantillonnage, Il présente également les méthodes d'analyses hydro chimiques, Le deuxième partie du même chapitre est plutôt analytique, il donne les résultats et montre l'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimique ainsi les mécanismes d'acquisition de la minéralisation des eaux de surface.

Ce travail a été mené dans ce contexte afin d'identifier les facteurs qui attribuent à la dégradation de la qualité des eaux de surface ; ceci passe par la caractérisation de leurs paramètres physico-chimiques ; leur variation spatio-temporelle aussi que la détermination de leurs faciès chimiques dans un domaine climatique humide; il s'agit du sous bassin versant de Oued Endja qui fait partie de grand bassin versant de Kebir Rhumel.

Et afin de mieux comprendre l'impact des paramètres anthropiques; climatiques ; lithologiques sur la qualité de ces eaux brutes, douze échantillons ont été prélevé le long d'Oued Endja jusqu'au barrage de Beni Haroun et analysées par laboratoire de l'ADE de Mila.

Enfin, le mémoire s'achève par une conclusion générale qui donne les points fondamentaux essentiels auxquels ce travail a abouti.

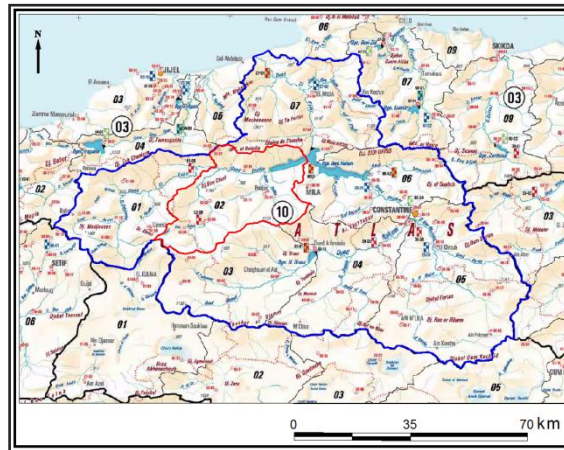
CHAPITRE I
ETUDE MORPHOLOGIQUE

I : ETUDE MORPHOLOGIQUE

Partie I :

I.1.Situation géographique :

Le sous bassin d'Oued Endja est situé à l'Est algérien, dont il occupe la partie occidentale du grand bassin versant Kebir Rhumel, avec une superficie de 1105,73km².

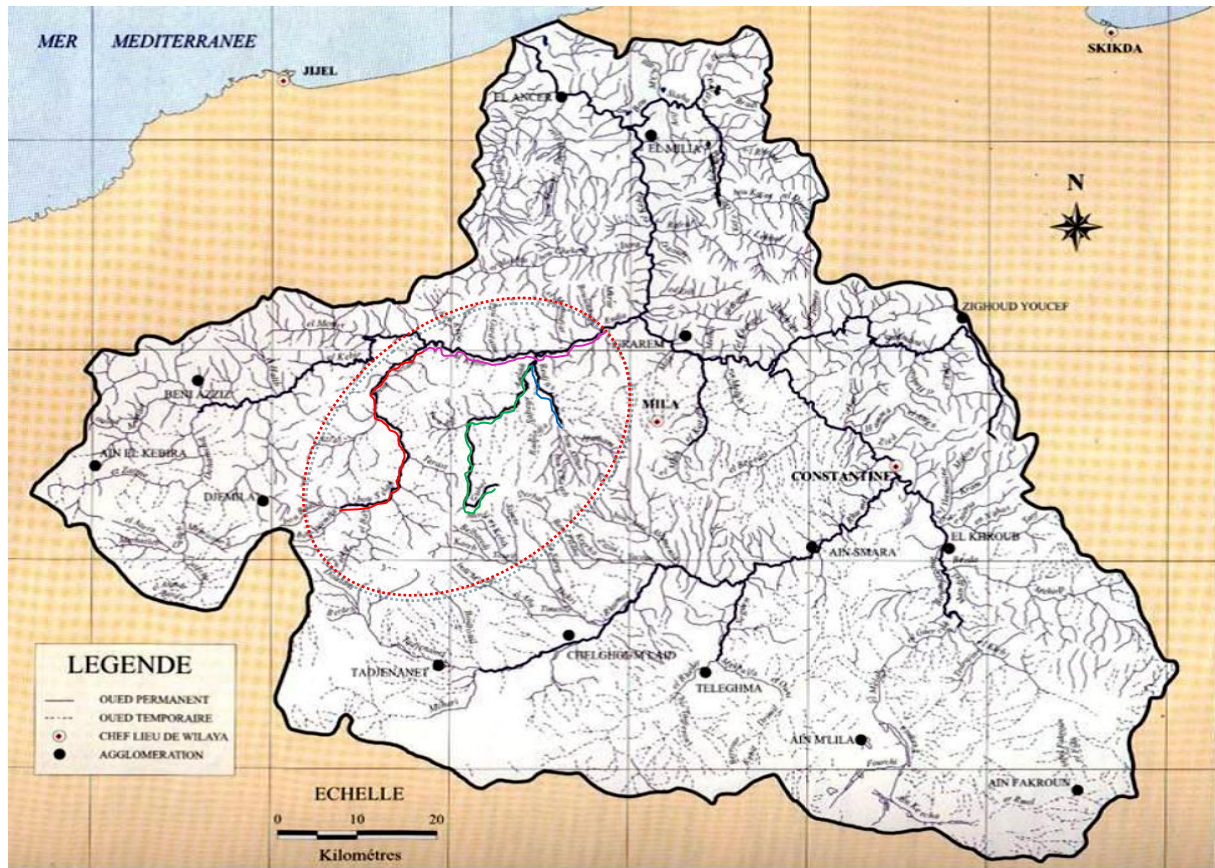


---- Bassin versant Kebir Rhumel ; ---- Sous Bassin Versant Oued Endja

Figure.I. 1: Le bassin versant Kebir Rhumel

S'étendant sur trois grandes wilayas :

- Nord de la wilaya de Jijel
- L'Est et au Sud-Est de la wilaya de Mila
- Ouest et au Sud-Ouest de la wilaya de Sétif



.....Le sous bassin d'Oued Endja ; - - - - Oued Bousselah ; - - - - Oued Redjas ;
 - - - - Oued Melah ; - - - - Oued Endja



Figure.I. 2 : Carte hydrographique de Kebir Rhumel [15]

Les plus hautes altitudes qui s'y trouvent sont :

Djebel Chouf Aissa 1402 (m) au Sud, Djebel Medjoune 1401 (m) au Sud-ouest.

Djebel Chebia 1318(m) au Sud-ouest, Djebel Boucheref 1150(m) à l'Est.

Djebel Ouakissen 1045(m) à l'Est.

Le sous bassin d'Oued Endja se trouve à 20 km au Nord-Ouest de la ville de Mila, ces coordonnées Lambert (**Tableau I.1**):

Tableau.I. 1 : Les Coordonnées Lambert du sous bassin versant d'Oued Endja

	Coordonnées Lambert	
	Min	Max
X (m)	774197.453	818743.334
Y (m)	335659.460	370912.882

Elle est limitée par :

- La commune de TASSADANE à l'Ouest
- La commune de ZEGHAIA et ROUACHED au Sud
- La commune de SIDI MEROUANE à l'Est
- La commune d'AMIRA-ARRES au Nord (figure.I.3)



Figure.I. 3: Carte de la situation géographique de S.B d'Oued Endja

I.2.Climat :

Le climat est caractérisé par un hiver froid, humide et doux et un été chaud et sec .il varie du nord au Sud passant d'un domaine subhumide à un domaine semi aride d'une manière générale, c'est un climat méditerranéen

I.3.Sol et végétation :**a) Les couverts végétaux naturels**

La végétation de type Dis couvrent de grandes superficies dans la partie Nord de périmètre, alors que les forêts ne couvrent que 10% de la superficie sur tout le massif gréseux ; puis les maquis qui forment des auréoles autour d'elles [16].

b) Les cultures annuelles :

Ce sont les céréales et le fourrages ou légumes secs, dont les fonds de la vallée assurant une récolte précoce, et le replat d'altitude portant des récoltes tardive.

c) L'arboriculture-maraichage :

Elle couvre une faible superficie qui correspond principalement aux vergers-jardin traditionnels sur les replats d'altitudes.

L'arboriculture est principalement sur les pentes des bas versants au-dessus de l'oued endja, enfin une forme de maraichage est représentée par l'irrigation récente sur les rives de l'oued, c'est une forme récente et limitée spatialement [16].

I.4.Les reliefs :

Le sous-bassin de oued endja présente un relief modéré, en plaine et pentue en altitude, témoin de l'importance de l'hétérogénéité de la phase Miocène responsable de la poussé des blocks telliennes et de tous les charriages superficiels.

C'est ainsi qu'on distingue la plaine alluviale d'âge moi plio-quadernaire cerné par deux ensembles montagneux qui assurent l'alimentation de l'oued [16].

- L'ensemble des massifs cristallophylliens de la petite Kabylie et de la nappe numidienne au Nord.
- L'ensemble des massifs montagneux des nappes telliennes au Sud.

I.5.Aperçu socio-économique :

La population est concentrée essentiellement dans la plaine et les replats d'altitudes.

Les ressources principales de la région sont les cultures maraichères, les vergers et la végétation forestière tandis que l'olivier constitue la ressource principale des régions montagneuses.

I.6.Réseau hydrographique :

Oued endja est un affluent droite d'Oued EL Kebir, il est formé à l'amont par la confluence de oued Dehamcha et oued Mena, le premier prenant sa source au seuil des hautes plaines, au Nord d'EL-Eulma et le second aux environs de Ain kbira. Il suit une

direction d'écoulement SW-NE pour former une confluence avec oued Rhumel donnant à la fin Oued ELkbir.

Oued Endja reçoit sur sa rive droite de nombreux affluents tels que (**Figure.I.2**) :

- Oued Melah
- Oued Bousselah
- Oued Redjas

I.7.Conclusion :

Le sous bassin d'Oued Endja est caractérisé par un climat méditerranéen, cerné par une chaîne montagneuse importante, il est situé dans des bonnes conditions hydrographique et en couvert végétale.

Partie II :**II-Analyse morpho métrique et hydrographique :****Introduction :**

Le sous bassin versant de Oued Endja fait partie du grand bassin Kebir Rhumel .il est caractérisé par un climat méditerranéen.

Le réseau hydrographique bien développé est lié au relief, à la nature des terrains et en grand partie à la lame d'eau précipité. [16].

II.1.Caractéristiques morphologiques :

Les différents paramètres morpho métriques sont calculés sur la base de la carte topographique du sous bassin d'Oued Endja extrait de Global Mapper. (**Figure. I. 4**)

II.1.1.Le périmètre(P) :

Le sous bassin d'oued endja a un périmètre égal à 173.4 (km).

II.1.2.Superficie et formes :**II.1.2.1.La superficie :**

C'est la surface du bassin à l'intérieur de la quelle l'oued circule avec ses affluents. Cette superficie a été calculée à l'aide de l'Arcgis V.10.5.

La superficie de sous bassin de oued endja et de 1105,73 km².

II.1.2.2.Indice de forme ou compacité (Indice de Gravius) :

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots \text{I. 1}$$

Ou :

K_c : indice de compacité de GRAVELUS.

P : périmètre (km)

S : superficie (km²)

$$K_c = 1,46$$

Donc : la forme de sous bassin d'Oued Endja est allongée.

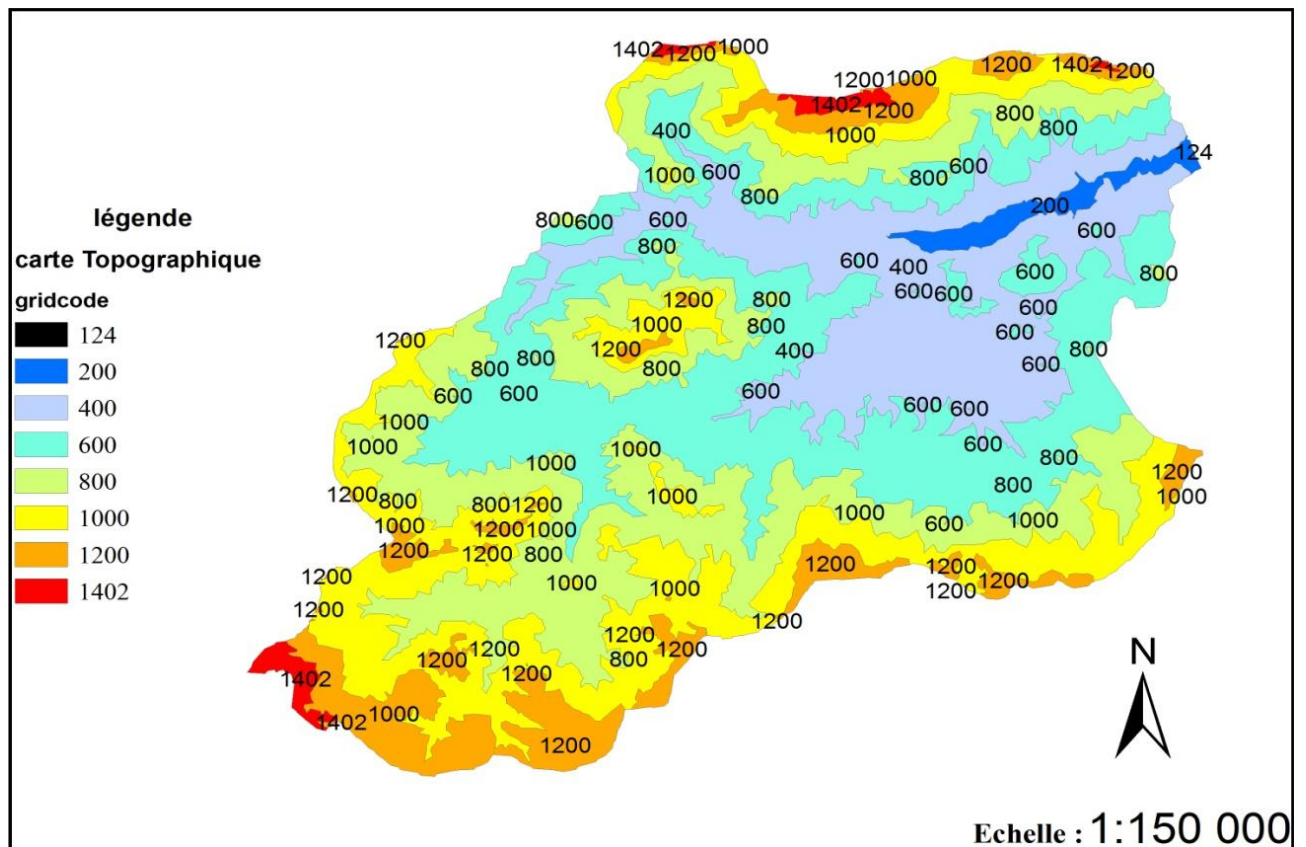
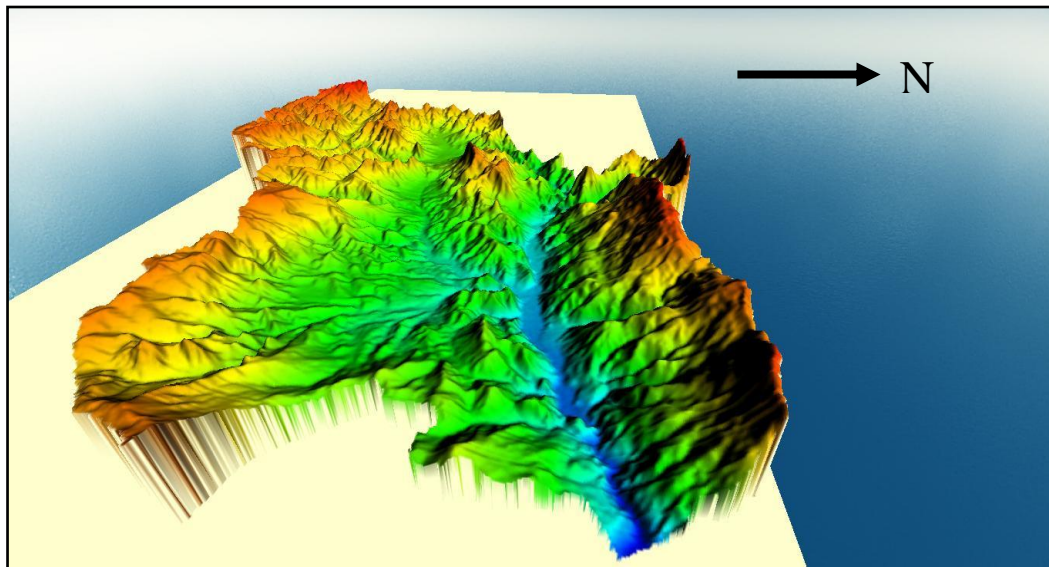


Figure.I. 4: Carte Hypsométrique d'Oued Endja extrait de Global Mapper V.16

II.2.3. Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est la forme géométrique de longueur « L » et de largeur « I », qui à la même surface que le bassin versant. En utilisant le coefficient de compacité M. Roche à établi de la relation représentative du bassin.

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1,12} \left\{ 1 + \sqrt{\left\{ 1 - \frac{1,12}{Kc} \right\}^2} \right\} \dots\dots I. 2$$

Avec :

$$C=1,46$$

$$S=1105.73 \text{ km}^2$$

On obtient :

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

$$S = L \times l \dots\dots I. 3$$

Donc :

$$L=53.44 \text{ km}$$

$$l=20.69 \text{ km}$$

II.3. Répartition altimétrique :

II.3.1. Altitude moyenne (H_{moy}) :

Elle est obtenue à partir de la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_i S_i}{S_t} \dots\dots I. 4$$

H_{moy} : altitude moyenne (m).

S_i : surface comprise entre deux courbes de niveau (km^2).

S_t : surface totale du bassin versant (km^2).

Tableau.I. 2 : Données de la carte hypsométrique

Tranche altitude	Hi	Si (km^2)	Si cumulé (km^2)	Si en %	Hi Si	Hi Si cumulé
124-200	162	15,37	1105,73	1,39	2490,57	722339,13
200-400	300	191,39	1090,36	17,31	57415,72	719848,56
400-600	500	298,04	898,97	26,95	149019,04	662432,84
600-800	700	265,14	600,93	23,98	185600,01	513413,80
800-1000	900	220,09	335,79	19,90	198078,11	327813,79
1000-1200	1100	103,46	115,70	9,36	113802,71	129735,68
1200-1402	1301	12,25	12,25	1,11	15932,97	15932,97

Donc :

$$H_{\text{moy}} = 722339,13 / 1105,73 = 653,27 \text{ (m)}$$

II.3.2. Altitude médiane H50% :

Déduite directement de la courbe hypsométrique qui exprime les variations d'altitude en (m) en fonction de superficie en % dont H50% du sous bassin d'Oued Endja est 660 (m)

II.3.3. Dénivelée simple (D) :

A partir de la courbe hypsométrique :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots \text{I. 5}$$

$H_{5\%} = 1150$ (m)

$H_{95\%} = 280$ (m)

$D = 870$ (m)

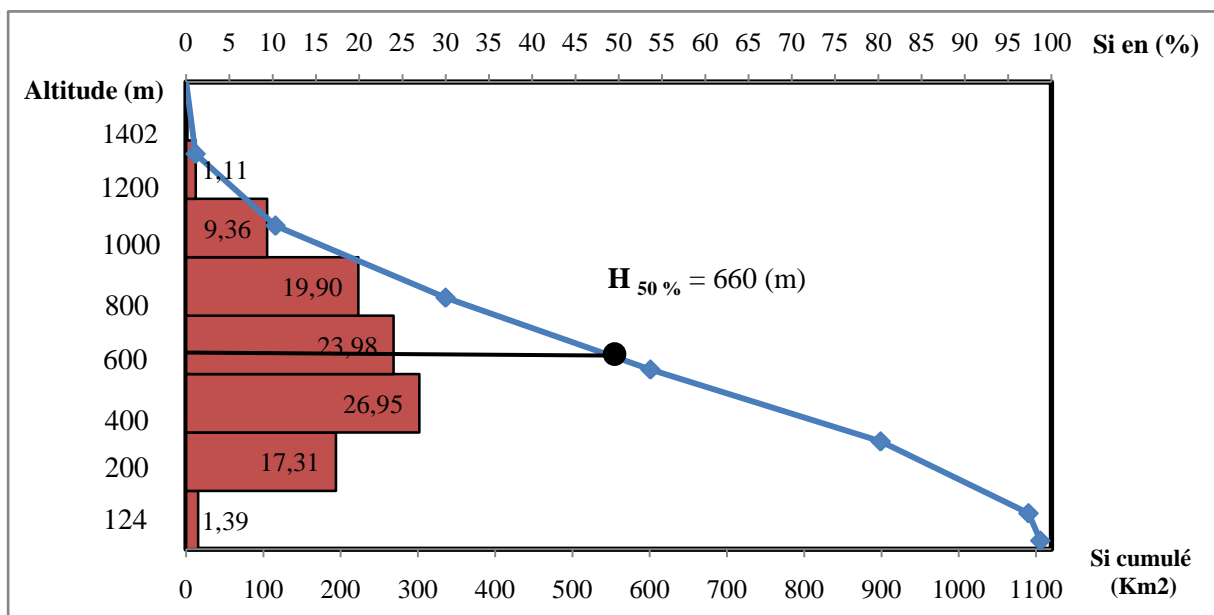


Figure.I. 5: Courbe hypsométrique

II.4. Indice de pente et de relief :

Ces indices donnent des informations sur la forme du relief et permet de faire la comparaison et la classification.

II.4.1. Indice de pente globale :

A partir de la formule suivante :

$$I_g = D/L \dots \text{I. 6}$$

I_g : indice de pente globale (m/km).

D : dénivelée simple.

L : longueur du rectangle équivalent en (km).

$$I_g = 870/53.44$$

$$I_g = 16.28 \text{ (m/km)}$$

II.4.2. Indice de pente de roche :

$$I_p = \sqrt{I_g / 0.8} \dots I. 7$$

I_g : indice de pente globale (m/km).

I_p : indice de pente de roche (m/km).

$$I_p = 20.35 \text{ (m/km)}$$

II.4.3. Dénivelée spécifique :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \dots I. 8$$

I_g : indice de pente globale (m/km).

S : surface totale du bassin versant (km²).

$$D_s = 541.31$$

Selon les valeurs de D_s et I_g , on peut classer le relief du sous bassin d'oued endja comme étant un relief fort

II.5. Caractéristique hydrographique :

Oued Endja est un affluent droit d'oued El Kebir. Après la confluence des oueds endja et Rhumel, à proximité de la ville de seliana (grarem-gouga), les deux affluents prenant le nom de oued El kbir.

Les affluents les plus importants de oued endja son :

- Oued Dehamcha.
- Oued lhlib.
- Oued bousselah.

II.5.1. Morphométrie du réseau hydrographique :

D'après le sens d'écoulement, on peut dire que le sous bassin d'oued endja présente un écoulement Exoréique

II.5.2.Densité de drainage :

La densité de drainage dépend du climat, de la topographie, de la structure géologique et de la couverture végétale.

C'est un rapport de la longueur de tous les cours d'eau et de la superficie du bassin versant :

$$Dd = \sum Li / S \dots I. 9$$

Dd : Densité de drainage (km/km²).

Li : longueur total des talwegs principaux et temporaires (km).

S : surface totale du bassin versant (km²).

$$Dd = 949.9 / 1105.73$$

$$Dd = 0.86 \text{ (km/km}^2\text{)}$$

Remarque : plus les pentes sont élevées et les terrains sont imperméables, la densité de drainage est importante.

Tableau.I. 3 : Les données hydrographiques du sous bassin versant d'Oued Endja

Ordre	nombre	Longueur (km)
1	898	473,343
2	325	250,747
3	192	127,797
4	128	75,36
5	1	22,609

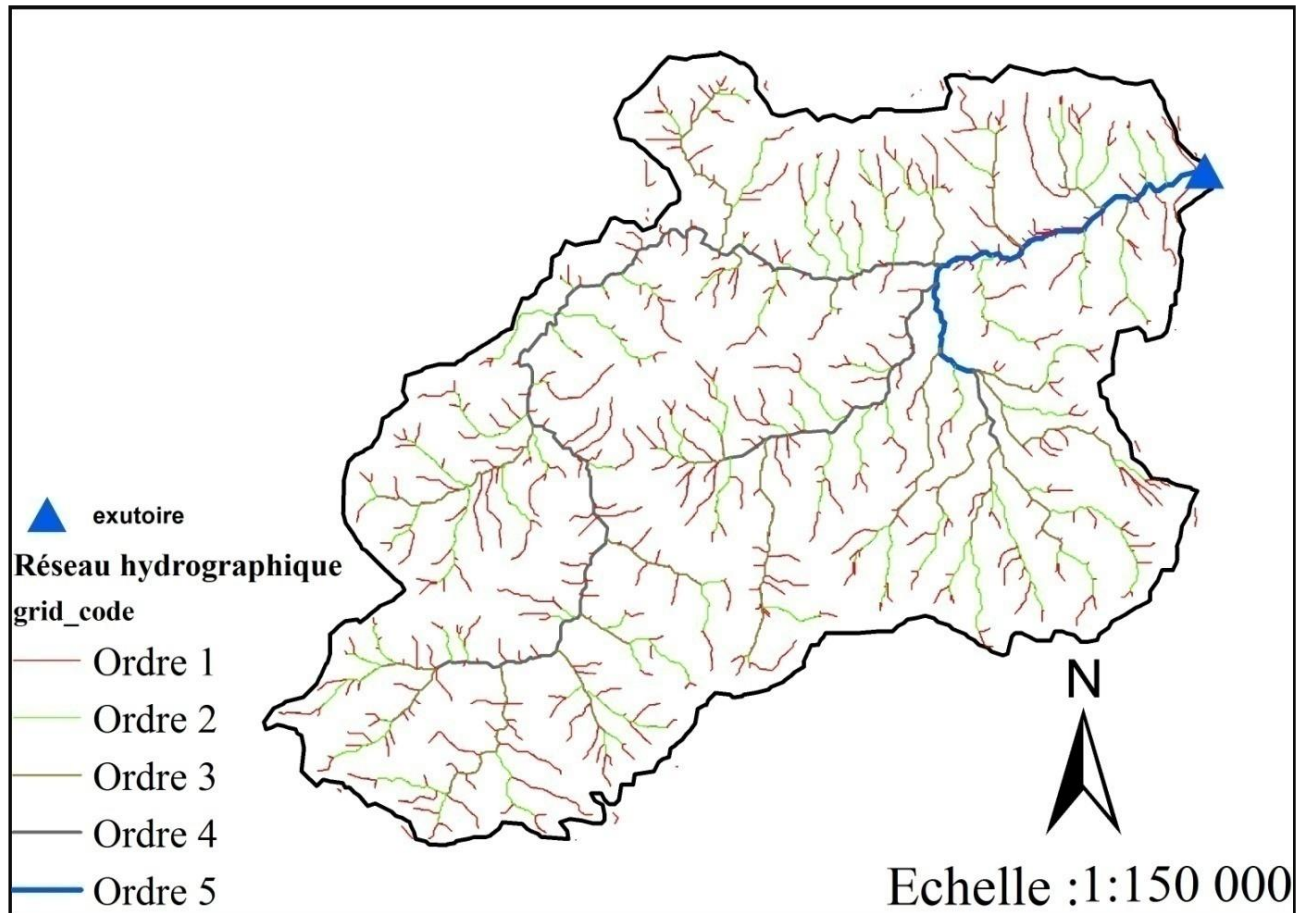


Figure.I. 6: Carte hydrographique du sous bassin versant d'Oued Endja

II.5.3. Fréquence des talwegs élémentaires :

Cet indice tient compte du nombre des talwegs d'ordre 1.

$$F_1 = n_1/S \dots I. 10$$

F_1 : fréquence des talwegs d'ordre 1 (km^{-2}).

n_1 : nombre des talwegs d'ordre 1.

S : superficie du S.B.V (km^2).

Avec :

$$n_1 = 898$$

$$S = 1105.73 \text{ km}^2$$

On obtient :

$$F_1 = 0.812 \text{ km}^{-2}$$

II.5.4.Coefficient de torrentialité (Ct) :

$$Ct = F_1 \cdot Dd \dots I. 11$$

F_1 : fréquence des talwegs d'ordre 1 (km^{-2}).

Dd : Densité de drainage (km/km^2).

$$Ct = 0.7$$

II.5.5.Temps de concentration (Tc) :

Il est défini comme le temps nécessaire pour la goutte de pluie qui tombe, au point le plus éloigné dans le bassin versant. Pour atteindre l'exutoire du cours d'eau.

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

$$TC = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 \cdot Lp}{0.8\sqrt{Hmoy - Hmin}} \dots I. 12$$

Avec :

Tc : Temps de concentration exprimé en heure.

S : Superficie du bassin versant (Km^2).

Lp : Longueur de talweg principale (Km),

$Hmoy$: Altitude moyenne en (m).

$Hmin$: Altitude minimale en (m).

$Lp = 22.61$ Km.

$$Tc = 09.07 \text{ h}$$

Tableau.I. 4 : Tableau récapitulatif des différents paramètres
du sous bassin versant d'Oued Endja

Paramètres	Symboles	S.B.V Oued Endja	Unités
Superficie	S	1105.73	Km ²
Périmètre	P	173.4	Km
Indice de compacité	Kc	1.46	/
Altitude moyenne	H _{moy}	653.57	m
Altitude médiane	H _{50%}	660	m
Altitude maximale	H _{max}	1402	m
Altitude minimale	H _{min}	124	m
Indice de pente globale	Ig	16.28	m/km
Indice de pente de roche	Ip	20.35	m/km
Classe de relief	R	Fort	/
Dénivelé simple	D	870	m
Dénivelé spécifique	D sp	541.35	m
L rectangle équivalent	L	53.44	Km
L du talweg principal	Lp	22.61	Km
Densité de drainage	Dd	0.86	Km/km ²
Fréquence des talwegs élémentaires	F ₁	0.812	/
Coefficient de torrentialité	Ct	0.7	/
Temps de concentration	Tc	09.07	heure

II.6.Conclusion :

Les paramètres morphologiques calculés dans ce chapitre, nous donnent une idée sur le comportement du sous bassin versant.

La surface du sous bassin est de 1105.73 (km²) pour un périmètre de 173.4 (km). Ce qui donne un coefficient de compacité de 1.46 traduisant presque une forme allongée, l'indice de pente globale est de 16.28 (m/km) avec un dénivelé spécifique de 541.35 (m) , un coefficient de torrentialité égale à 0.7 et un temps de concentration de 9.07 heures ;ce qui traduise qu'on a un relief fort .

Le réseau hydrographique n'est pas parfaitement organisé vue la dominance des cours d'eau temporaires qui réagissent surtout en temps des crues.

CHAPITRE II
ETUDE GEOLOGIQUE

II. ETUDE GEOLOGIQUE

II.1. Géologie régional :

Introduction :

Le secteur étudié fait partie intégrante du grand bassin néogène Constantinois. Il est localisé dans la partie Nord - orientale de l'Algérie. Ce dernier appartient à la partie occidentale du grand bassin Kebir-Rhuml, 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 (**Figure.II.1**).

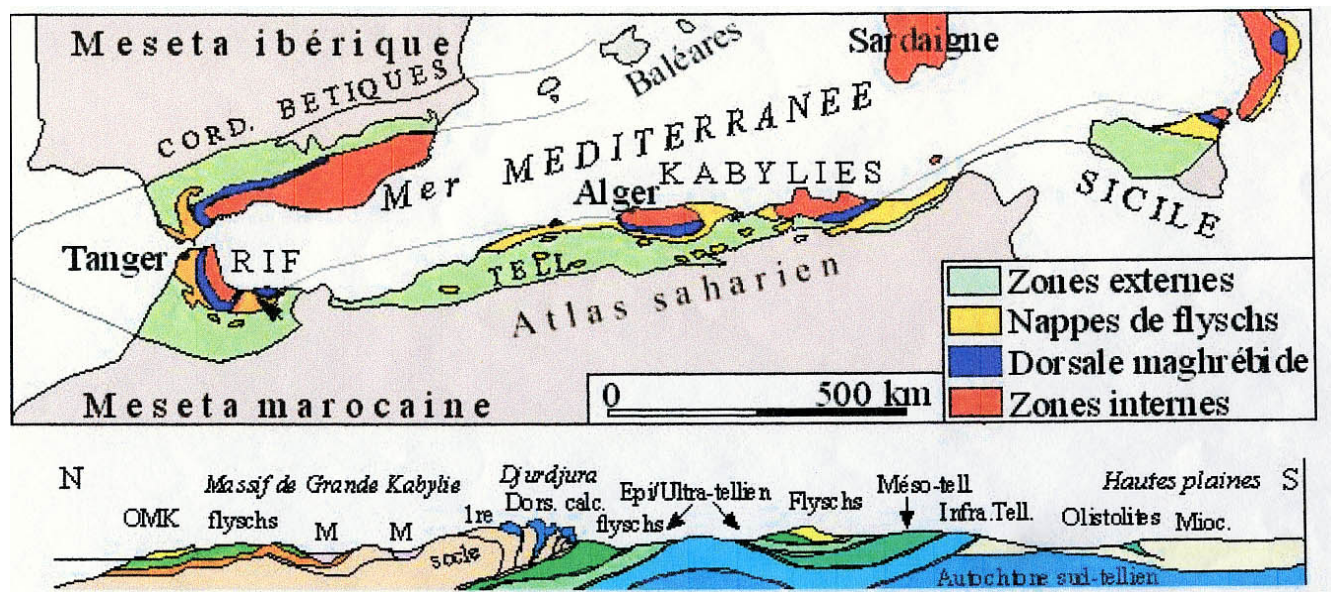


Figure.II. 1: Schéma structural de la méditerranée occidentale. [17]

Le sous bassin d'Oued Endja est limité par : la petite Kabylie au Nord et Nord Ouest, les djebels Babours au Nord Ouest, les hautes plaines Sétifiennes au Sud et les hautes plaines Constantinoises au Sud-Est.

En Algérie, la branche Sud de la chaîne Alpine est subdivisée en deux grands domaines (**Figure. II.1**).

a) Le domaine interne : situé au Nord, il affleure au niveau de Oued Boukriza (NE de sous bassin), il comporte les formations Cristallophylliennes du socle Kabyle et sa couverture sédimentaire, cet ensemble est largement charrié vers le Sud. [18,19]

b) Le domaine externe : situé plus au Sud, il comporte les formations des Flyschs et les formations Telliennes. Ces formations Telliennes reposent partiellement sur l'autochtone Saharien le seul affleurement est connu près d'Arboun (Chevreuil) dans le talus de la route [18].

II.I.1. Le domaine interne :

Il regroupe le socle Kabyle et sa couverture sédimentaire.

II.I.1.1. Le Socle kabyle :

Il est représenté par des formations Cristalloyphylloïennes 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 :

a) Un ensemble supérieur :

Cet ensemble est formé essentiellement de Schistes, de Micaschistes et de Phyllades. Il est surmonté en discordance par des formations siluriennes [20], comportant de bas en haut :

- Des Schistes noirâtres,
- Des Psammites rouges et vertes à Graptolites,
- Des grès Calcaires à Tentaculites,
- Des Calcaires à Orthocères.

b) 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 Cristalloyphylloïennes du socle Kabyle sont largement charriées vers le Sud sur les formations de type Flyschs et les formations Telliennes [18,20].

II.I.1.2. La couverture sédimentaire du socle kabyle :**II.I.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 [21]:

a) La dorsale interne :

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

b) 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.

c) 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.I.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 (**Figure.II.2**).

- **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.

A cet Oligo-Miocène kabyle succèdent des Ollistostromes [18, 21].

II.I.1.2.3.Les Ollistostromes :

Ce sont des formations tectono-sédimentaires à débris de Flyschs intercalés dans des grès micacés. L'âge de ces formations est supposé Aquitanien à Burdigalien inférieur probable [18,22].

II.I.2. Le domaine externe :

Il correspond au domaine de Flyschs et au domaine Tellien.

II.I.2.1. Les séries de type Flyschs :

Ce sont des séries d'âge Crétacé à Paléocène. Représentées par quelques affleurements à la bordure septentrionale de sous bassin, ces séries occupent une position allochtone. Elles sont classiquement subdivisées en deux principaux types:

- Flysch Mauretaniien.
- Flysch Massylien.

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

II.I.2.1.1. Le Flysch Maurétanien :

Il comporte de bas en haut [23,24]:

- 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 Cénomaniien 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).

II.I.2.1.2. Le flysch Massylien :

Les caractéristiques majeures de la série Massylienne sont [18]:

- Un Albo-Aptien pélito-quartzitique.
- Un Cénomaniien micro-Bréchiq à Orbitolines et niveaux de Phtanites noires et blanches.
- Un Turono-Sénonien sous forme de pélites et de petits bancs de micro-Brèches à éléments Calcaires et ciment Pélitique.

II.I.2.1.3. 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 [18,25]:

- **A la base :** des Argiles sous Numidiennes, vari-coulores de teinte rouge verte ou violacée à tubatomaculum d'âge Oligocène supérieur. Des grés Numidiens de couleur jaunâtre à blanchâtre en bancs épais à quartz roulés très hétérogènes d'âge Aquitanien à Burdigalien inférieur [25].
- **Au sommet :** des formations Supra-Numidiennes comportant des Argiles et des Marnes à intercalation de Silexites du Burdigalien basal.

II.I.2.2. Les séries Telliennes :

Le domaine Télien 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 [18].

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

a) Une série ultra-Télienne :

Cette série comporte les formations Marneuses et Marno-Calcaires d'âge Crétacé à Eocène [17].

b) Une série Méso-Télienne :

Cette série correspond aux formations Carbonatées du Jurassique. Elle est considérée comme la couverture de la plateforme Constantinoise [26].

c) Une série peni-Télienne :

Cette série se particularise par des formations Jurassico-Crétacées, caractérisées par des faciès intermédiaires entre les faciès de la plateforme (Calcaire et Marno-Calcaire du Néritique) et des faciès de bassin (Marne du domaine Télien) [17], elles apparaissent de deux façons différentes en lambeaux charriés sur les massifs Néritiques ou en fenêtre sous les nappes Telliennes, ce qui est le cas dans ce bassin, donc, cette nappe affleurent au djbels Halfa, Boucherf et Ouakissene.

II.I.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 [26].

a) L'avant pays Allochtone :

Il regroupe trois grandes unités :

- L'unité Sud Sétifienne.
- L'unité Néritique Constantinoise.
- L'unité de type Sellaoua.

b) 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.I.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 [18,27]. Les formations post-nappes recouvrent en discordance toutes les formations précédentes. Dans la partie Nord ces formations post-nappes comportent deux cycles sédimentaires :

- Un premier cycle, essentiellement constitué par des Marnes grises ou bleues transgressives et discordantes sur les structures anciennes. Elles reposent également sur le Flysch Numidien, les Flyschs Crétacé et sur l'OMK.
- Un second cycle, gréseux d'épaisseur réduit (5 à 50 m) 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 [27].

II.II. La géologie de sous bassin d'Oued Endja :**Introduction :**

Le sous bassin versant de Oued Endja se situe à quelque kilomètres au sud de la petite Kabylie de Jijel ; c'est une dépression constituée essentiellement des formations du Mio-Plio Quaternaire entourées par la chaîne de Sud Numidique (chaîne de Zouagha) au Nord-Est et les

massif montagneux de la nappe de Djemila à l'Ouest et au Sud et la nappe béni-Tellienne au Sud-Ouest (**Figure.II.3**).

II.II.1.Description stratigraphique et lithologique :

La colonne stratigraphique des formations géologique rencontrées dans la région d'étude, s'établie comme suite :

II.II.1.1.Le Quaternaire :

a) Les alluvions récentes et actuelles (A) :

Ce sont des sables, des graviers, des limons qui forment un ruban discontinu le long des principaux oueds (l'épaisseur est de 0.5 à 6m) .

b) Les alluvions anciens, terre arables (Φ) :

Ils résultent d'anciens apports latéraux gréseux, forment de vaste placage sur les versants Marneux Crétacé et Eocène ou Mio-pliocène. Cette formation affleure sur la rive gauche d'Oued Endja (douar Arres), avec une épaisseur de 10 à 60 m.

c) Tufs hydrothermaux (Φ^T) :

Un seul affleurement au pied du djebel Boucherf.

d) Calcaires Lacustre du djebel Boucherf (Φ^O) :

Ils déterminent quelques entablements à l'Ouest de ce massif, il s'agit de Calcaires à débris de plantes.

e) Matériel gréseux d'épandage, éboulis à bloc (e) :

Pratiquement localisés à la base des corniches calcaire Albo-Cénomaniennne des djebels Boucherf et Ouakissene.

II.II.1.2.Mio-pliocène :

a) Mio-pliocène continental (mp) :

Des Argiles grises à intercalation de sel, conglomérats variés lacustres. Cette formation couvre de vaste surface et présente des variations importantes et rapides. Les conditions d'affleurement sont toujours mauvaises, la dominance Argileuse des formations donne lieu à des fluages et des glissements superficiels. Son épaisseur environ 200 m.

II.II.1.2.1.Nappe des Flychs :

a) Nappe Numidienne : Argiles et grés Numidiens.

- b) **Oligocène O** : Cette formation occupe une vaste surface au Nord de la plaine. Ce sont des barres de grés hétérométriques séparées par des horizons d'Argiles noires visibles .l'épaisseur est de 500à 800 m.

II.2.2.Les nappes Telliennes :

a) Nappe de Djemila :

a.1) Lutétien supérieur à Priabonien (e⁶⁻⁷) :

Deux petits affleurements, l'un à l'Ouest d'Oued Melah, l'autre à l'Est d'Oued Bouselah.

Ce sont des Marnes grises ou noires à boules jaunes. la base de cette formation appartient au lutétien inférieur avec Globorotalia et Globogerina , le toit de ces formations Marneuses peut atteindre 200 m d'épaisseur.

a.2) Ypresien-lutetie inférieur (e⁴⁻⁵)

Cette formation affleure, fréquemment, à la confluence d'Oued el Kebir et Oued Bouselah.

Ce sont des Calcaires massifs bitumineux, blancs à cassure noire et à silex noires. La puissance atteint 15 à 200 m

a.3) Maestrichtien à Paléocène (e^{3-c⁶}) :

Même répartition géographique que l'Ypresien-Lutetie inférieur, il s'agit de Marnes noires indifférenciées, parfois à boules jaunes à la base de la série. Les Marnes noires contiennent des microfaunes riche du Maestrichtien à Globotruncaca .l'épaisseur 300 m.

a.4) Campanien supérieur et Maestrichtien (C⁶⁰) :

Des Calcaires Marneux ou jaunâtres à cassure sombre à empreintes d'Inocerames, parfois Lumachelliques formant une barre bien individualisée. Ce faciès affleure à l'Ouest des djebels Ouakissene sa puissance atteint 120 à 150 m.

a.5) Campanien supérieur et Maestrichtien inférieur (C^{5-6^a}) :

C'est une série épaisse de Marnes noires, à petites intercalations de Calcaires Marneux à cassure noire. L'épaisseur est 300m, elle a la même répartition géographique que la précédente.

a.6) Sénonien Inférieur (C³⁻⁴) :

Alternance de Marnes, de lumachelles à Ostréides et de Marno-Calcaires. Cette formation n'a été distinguée qu'entre les djebels Boucherf et Ouakissne et elle montre quelques niveaux de galets. L'épaisseur est de 250à 300 m.

a.7) Cénomaniien (C¹) :

Ce sont des biosparités et des intrabiosparités à grand orbitolina. Ce faciès affleure à la pointe Ouest du djebel Boucherf et à la base de la nappe de Djemila.

II.II.1.2.3. Nappe péni-Tellienne :**1) Cénomanién supérieur (C^{1c}) :**

Des Marnes, micrite à rotalipares et lumachelles à caprines. Cette couche affleure au flanc nord du djebels Boucherf, son épaisseur ne dépasse pas une cinquantaine de mètres.

2) Cénomanién (C^{1m}) :

Des Marnes Claires à rotalipores, micrites et bancs lenticulaires à orbitolina. Son épaisseur peut atteindre 150 à 200m.

3) Albien supérieur à cénomanién (n^{6-c1}) :

Ce sont des barres à silex noirs en rognons. Cette série atteint 300 m d'épaisseur au djebel Boucherf.

4) Crétacé Inférieur (ci) :

Cette série débute par une alternance de Marnes, de Calcaires gris-noirs cristallins, parfois Brèche et de grès Quartzeux gris à vert-olive. Elle se poursuit par un puissant ensemble de Marnes et de pelites Calcareuses sur une épaisseur d'environ 400 m.

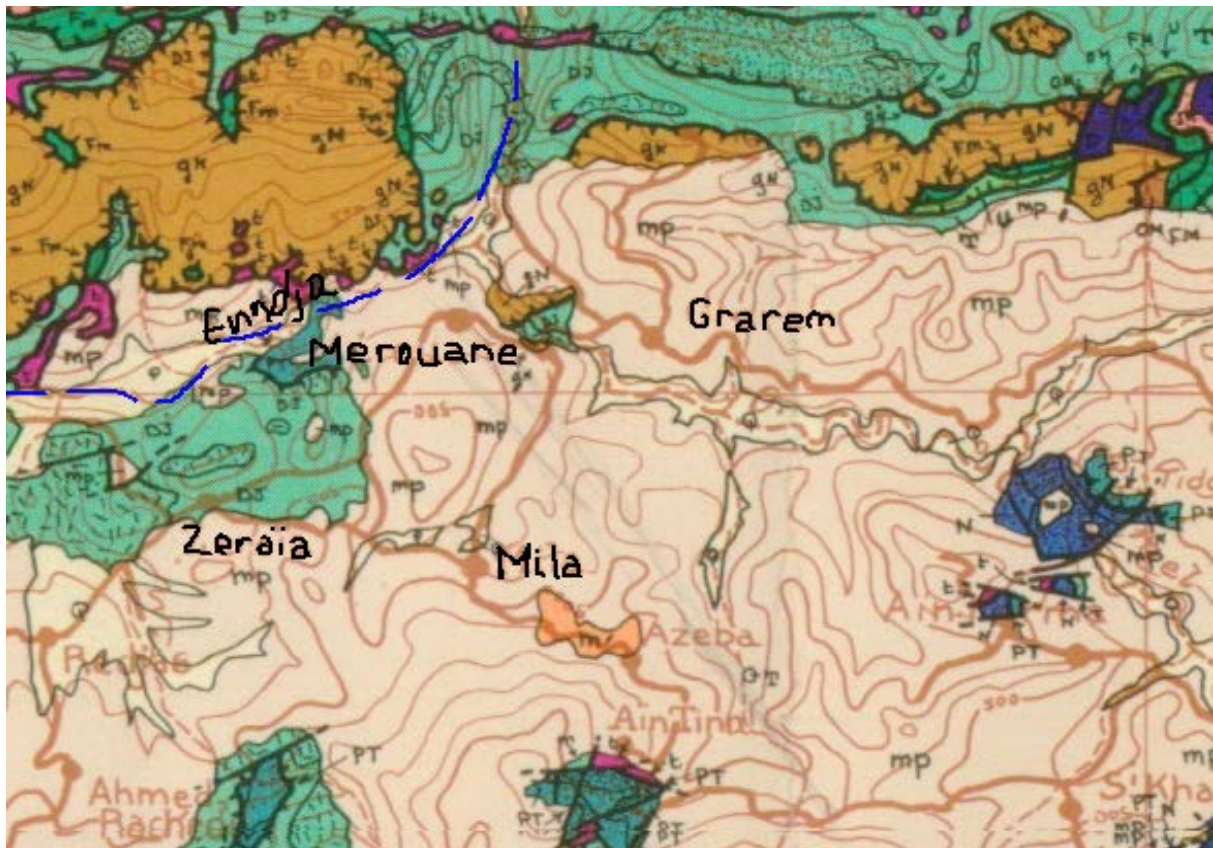


Figure.II.2: Carte géologique du bassin de Mila.[26]

LA LEGENDE :

ROCHES ERUPTIVES RÉCENTES

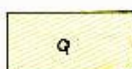


Granites, grano-diorites, microgranites, dolérites et rhyolites.



θ: Complexe stratifié de Yaddène et roches effusives de la région d'Hammam Meskoutine(θ).

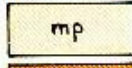
ROCHES RÉCENTES ET CYCLES POSTÉRIEURS AU BURDIGALIEN INFÉRIEUR



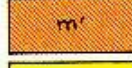
Quaternaire indifférencié (Villafranchien à actuel).



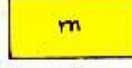
Pliocène marin des zones côtières.



Mio-Pliocène continental.



Burdigalien supérieur-Langhien de la marge littorale.



Miocène marin transgressif indifférencié des nappes telliennes et de leur avant-pays allochtone, parautochtone ou autochtone.

SOCLE KABYLE, CHAÎNE CALCAIRE



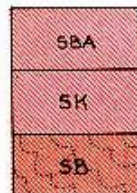
Oligo-Miocène kabyle, olistostromes à flyschs resédimentés (y compris le Numidien) et flyschs en position nord-kabyle (F').



Olistostromes superposés à l'Oligo-Miocène kabyle; OF- Olistolites telliens de la région d'El Milia.

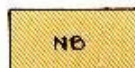


CHAÎNE CALCAIRE: Paléozoïque à Lutétien supérieur des zones interne, médiane et externe.



Socle kabyle: SBA- Paléozoïque des Béni-Afeur
SK- Socle métamorphique de Petite kabylie et du Bou Hatem (phyllades micaschistes, porphyroïdes, gneiss et marbres.
SB- Socle basique du Cap Bougaroun (péridotites et "kinzigites" rétro-morphosées).

NAPPE NUMIDIENNE



Formation de Babouche (Aquitano-Burdigalien).



Grès numidiens et séries mixtes.



Principaux affleurements d'argiles de base à Tubotomaculum.

NAPPES DE FLYSCHS KABYLES

FLYSCHS MAURÉTANIENS



Séries internes d'Aïn Naceur, de Sidi Rhiat, de Sidi Ahmed, de Settiter, de Bou Tafeb, de la Robertsau (Souk es Sebti) et de La Marsa.
Séries médianes de Guerrouch, d'El Karn, de Khorchef, de Ghezala et du Sud d'Aïn Berda (Penthièvre)
Séries externes (ex-"Medjanien") et séries atypiques de Tamalous, du Kef Mez-zouch et de Ziane.



Cas de la série des Achaïches (série médiane).
1- Crétacé
2- Jurassique
3- Permo-Trias et Carbonifère.



Unité Sendouah-Tabellout à substratum basique.

FLYSCHS MASSYLIENS



Séries typiques à phanites ou à brèches vertes et rouges.



Cas de la série du Djebel 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.

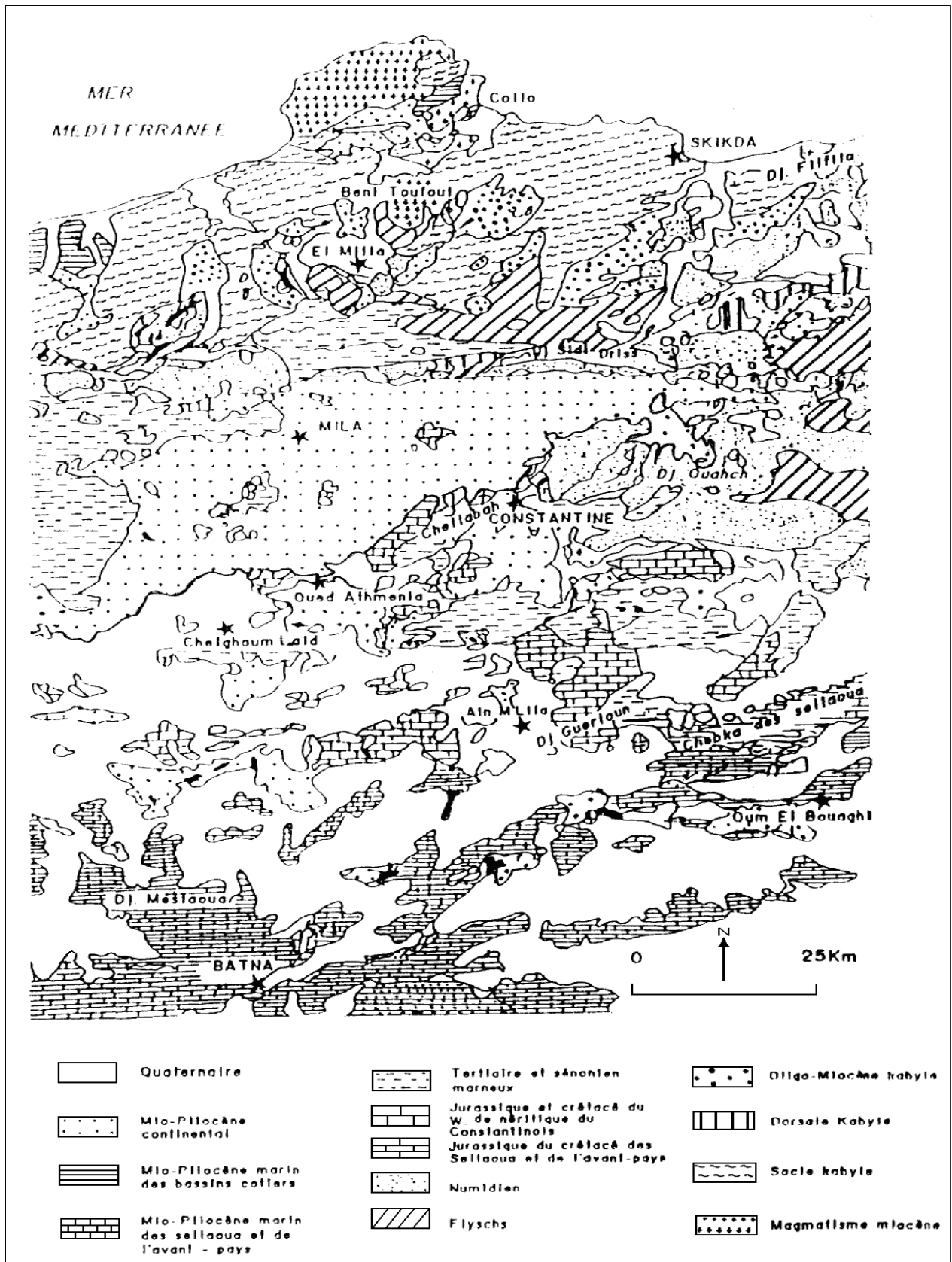


Figure.II. 3: Carte géologique synthétique du bassin constantinois. [26]

II.II.1.2.4.Trias Exotique :

Ce sont des Argiles vari colores, gypses et brèches gypseuses.

Cette formation est peu développée, elle affleure à l'Est de la plaine, aux environs du djebel Boucherf. Elle jalonne les failles récentes mais son origine est à situer à la base de la nappe de Djemila. Les contacts avec les séries Péni-Telliennes sont tous verticaux.

II.III.Tectonique et paléogéographie :

La région d'étude a une histoire tectonique, relativement courte mais très complexe, des épisodes de déformation intense ont été espacés par des périodes de calme relatif. Les déformations principales responsables du cadre structural actuel eurent lieu entre le Crétacé et le Quaternaire.

- A l'Est de l'Oued Boukriza, l'accident essentiel qui affecte les formations Néogènes consiste dans le renversement des assises au bord septentrional du bassin du douar Arres. Ce chevauchement se moule très exactement sur le prolongement oriental du «synclinal» déversé du djebel Shrir (il s'agit d'un rejet post-Miocène d'un accident Anté-Oligocène).
- Les sédiments Néogènes reposent en discordance majeures sur des assises variées mais, surtout, sur l'Eocène. Sur la rive gauche de l'oued el Kebir, ils paraissent de la sorte, s'enfoncer sous « les grés Numidiens » de la zone sous-kabyle. Pris dans leur ensemble, ils plongent de 5° à 10° vers le Nord.
- Au Nord, la nappe Numidienne est affectée de larges plis et de failles. La plupart tertiaires (phase post-Oligocène et Anté-Tortonienne). Le charriage des « grés Numidiens » vers le sud est évidemment postérieur au Miocène Supérieur ; il s'agit d'un simple glissement superficiel, la présence du trias la prouve.
- Dans la nappe de Djemila la tectonique s'y aggrave quand l'on descend dans la série. Les plus complexes de ses plis sont déversés vers le Sud.
- La nappe péni-Tellienne est plissée assez lourdement, il s'y développe une fracturation importante dans les massifs méridionaux, l'ensemble de Boucherf-Ouakissne présente, en outre une schistosité très pénétrative. De plus, les niveaux calcaires du Boucherf sont kerstifiés.
- Les relations entre la nappe de Djemila et la nappe péni-Tellienne ne sont visibles que sur quelques centaines de mètres.
- Les phénomènes diapirs de trias se suivent du col de F'doules jusqu'à la région de Sidi Marouf. Ces phénomènes diapirs ébauchés dès le Crétacé (phase Anté-companienne) vont rejouer depuis, à diverses époques (phase post-oligocène et post-Tortonienne).

II.III.1.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 [21, 18,26]. 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 [18] , 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 [27].

II.IV. Conclusion :

Le sous bassin d'Oued Endja est une dépression du Moi-plio Quaternaire, entouré par la nappe Numidienne au Nord et les nappes Telliennes au Sud, à partir de l'étude géologique et suivant la lithologie, nous avons pu mettre en évidence quatre formations qui peuvent constituer des aquifères :

Le recouvrement Quaternaire, est la formation est la plus importante du point de vue hydrologique, en général, elle constitue le lit des Oueds ; ce sont des alluvions anciens et alluvions récent, et des terres arables.

Nappe des Calcaires de l'Yprésien-lutétien Inférieur, est une formation affleure au Sud-Est et Nord-Ouest de la plaine et couvre une partie importante. Elle est fissurée, donc, elle constitue un aquifère karstique ; son substratum est constitué de Marnes de maestrichtien à Paléocène.

Nappe des Calcaires de Cénomaniens est d'une faible importance, un seul affleurement à l'Ouest du djebel Boucherf.

Nappe des Calcaires d'Albien Supérieur à Cénomaniens, cette formation couvre une partie importante au Sud-Ouest du secteur d'étude et constitue la formation principale des djebels Boucherf et Ouakissne. Ces Calcaires sont très fissurés ; on remarque sur la carte topographique, plusieurs sources sortant de ces Calcaires. Ce qui nous laisse supposer qu'ils sont karstifiés.

CHAPITRE III
ETUDE
HYDROCLIMATOLOGIQUE

III.HYDROCLIMATOLOGIQUE :

Introduction :

Pour compléter l'étude du complexe physique du bassin versant, une analyse des facteurs climatiques s'avère nécessaire.

Cette analyse permet de dégager, non seulement les grands traits de climat qui règne dans la région, mais aussi les facteurs qui régissent, en particulier les précipitations P (mm) journalières, les températures T (°c), l'humidité relative, l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'évapotranspiration réelle (ETR), ruissellement (R) et l'infiltration (I).

III.1.les stations climatiques et les éléments essentiels du climat:

III.1.1.Les stations climatiques :

Pour cette étude , nous avons retenue une station représentative pour le périmètre d'étude durant la période d'observations étalée sur 33 ans depuis l'année 1984 jusqu'à l'année 2016, qui est la station pluviométrique de Beni Haron.

Tableau.III. 1:Les principales caractéristiques de la station pluviométrique de Beni Haron(Mila)

Station	N° code	Coordonnées Lambert			Appareil	Nombre d'années d'observation
		X (m)	Y (m)	Z (m)		
Beni Haron	100620	820058	368369	198	Pluviomètre Pluviographe	33 ans

Les paramètres choisis pour une meilleure expression possible des influences climatiques sont :

- Température de l'air en (°c).
- Précipitation en (mm).
- Evapotranspiration en (mm).

III.2. Étude des éléments du climat :

III.2.1. Les précipitations :

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau.

La région d'étude est considérée parmi les régions les plus arrosées avec une précipitation variant entre 435.25 et 857 (mm) (**Annexes .1**).

On dispose d'une série de mesure hydrométrique réalisé par (ANRH) l'agence nationale des ressources hydraulique à la station de Beni Haron contrôlant le sous bassin versant d'Oued Endja.

Pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé une série de précipitation allant de 1984 jusqu'à 2016 soit 33 ans d'observation pour la station de beni haron (**Annexes. 1**).

III.2.1.1. les précipitation moyennes annuelles :

La moyenne annuelle de précipitation au cours de 33 ans est de 614.30 (mm /an) Pour cette période en remarque que le maximum a été observé en 2013 avec une précipitation de 857 (mm), et le minimum en 2000 avec une précipitation de 435.24 (mm). (**Annexes. 2**).

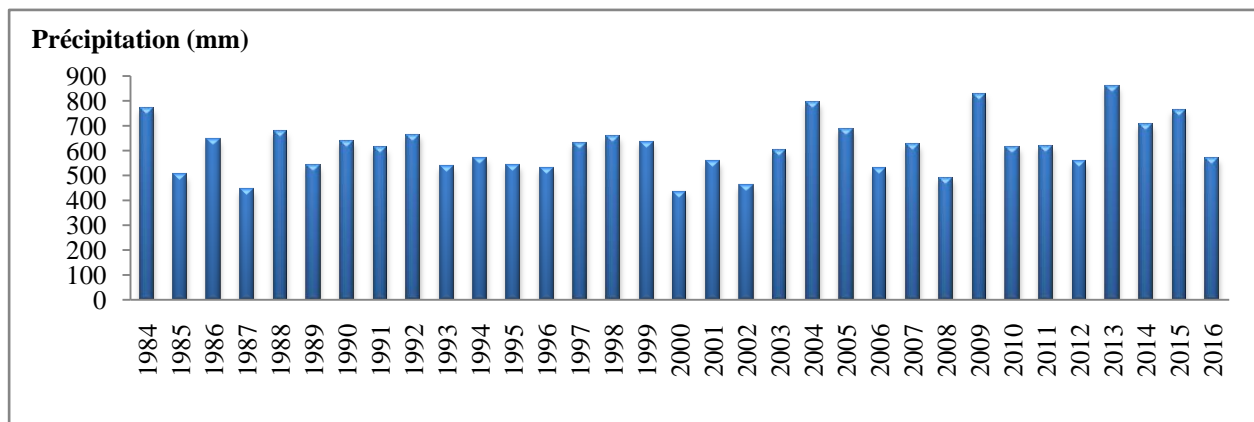


Figure.III. 1: Histogramme des précipitations moyennes annuelles (1984 -2016)

III.2.1.2. Précipitations moyennes mensuelles :

L'histogramme des précipitations mensuelles (**Figure.III.2**), montre la variation des précipitations d'un mois à un autre, le mois de décembre est le mois où on a enregistré le maximum des précipitations (100.01 mm), avec le minimum au mois de juillet (1.47 mm) ; (**Tableau.III.2**).

Les mois les plus pluvieux dans notre région sont les mois (novembre-décembre-janvier-février- mars- avril), au cours de cette période ils atteintes en moyenne plus de 75,7 % de la totalité des précipitations annuelles.

Dans le (Tableau.III.2), nous avons représenté les différentes précipitations Moyennes mensuelles

Tableau.III. 2: précipitations moyennes mensuelles de Beni Haron (1984 à 2016)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUILL	AOUT
P.Moy.Men (mm)	45,09	44,90	82,36	100,01	83,71	76,52	71,72	50,65	40,91	13,97	1,47	2,99

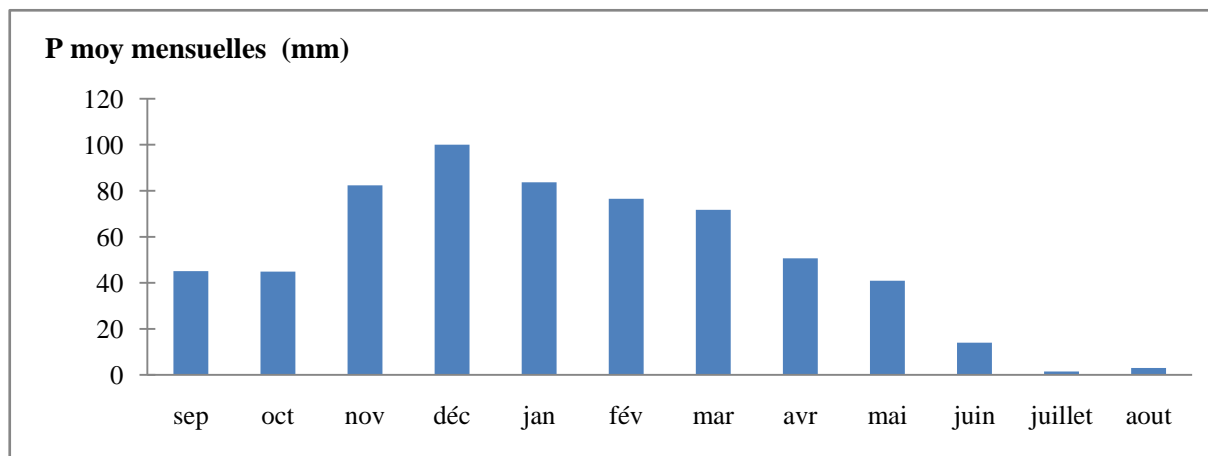


Figure.III. 2: Histogramme des précipitations mensuelles de la station Beni Haron (1984-2016)

III.2.1.3. précipitation moyenne saisonnière :

Tableau.III. 3: précipitation moyennes saisonnière de la station Béni Haroun (1984-2016)

Saison	AUTOMNE	HIVER	PRINTEMPS	ETE
p (mm)	172,35	260,24	163,28	18,43
P saisonnière (%)	28,06	42,36	26,58	3,00

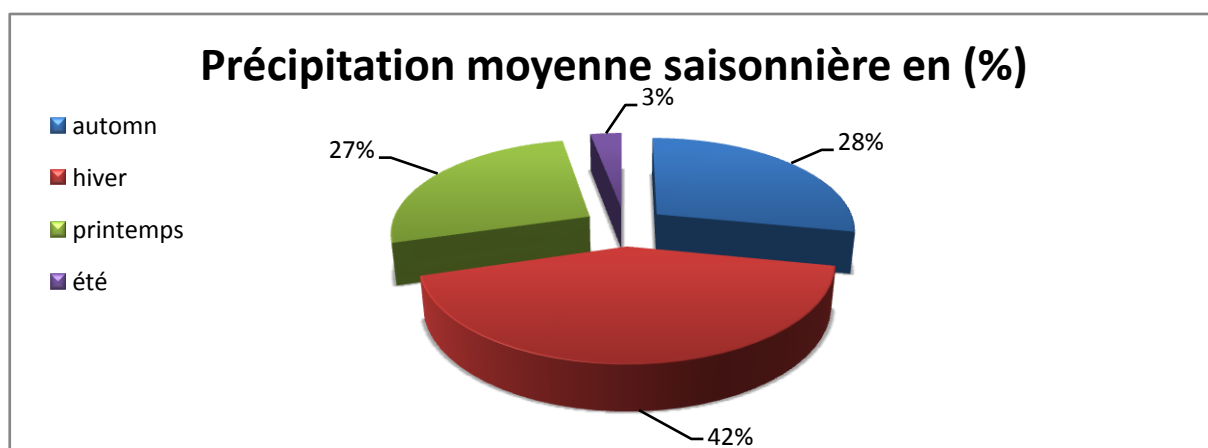


Figure.III. 3: Pourcentage des précipitations moyennes saisonnières la station Beni Haron (1984-2016)

III.2.2. Température :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent directement sur le climat en inter- action avec les autres facteurs météorologiques.

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

L'examen de (**Annexes.3**) montre bien que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 16,39 °C, avec les mois de juin, juillet, août et septembre, comme mois les plus chauds (avec un maximum de température au mois de août : 27,38°C).

Tableau.III. 4: Températures moyennes mensuelles de la station Beni Haron (1984 à 2016)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOUT	T° moy Annuelle
T(°C) Moy. Mens	22,44	18,53	12,30	8,97	8,35	8,32	10,33	12,76	17,79	22,51	27,03	27,38	16,39
T(°C) Min	21,30	16,50	10,01	7,48	6,52	4,70	8,61	11,54	14,94	20,29	24,87	25,00	
T (°C) Max	24,30	22,71	16,69	10,50	10,37	11,99	13,73	22,06	21,64	24,72	31,06	32,44	

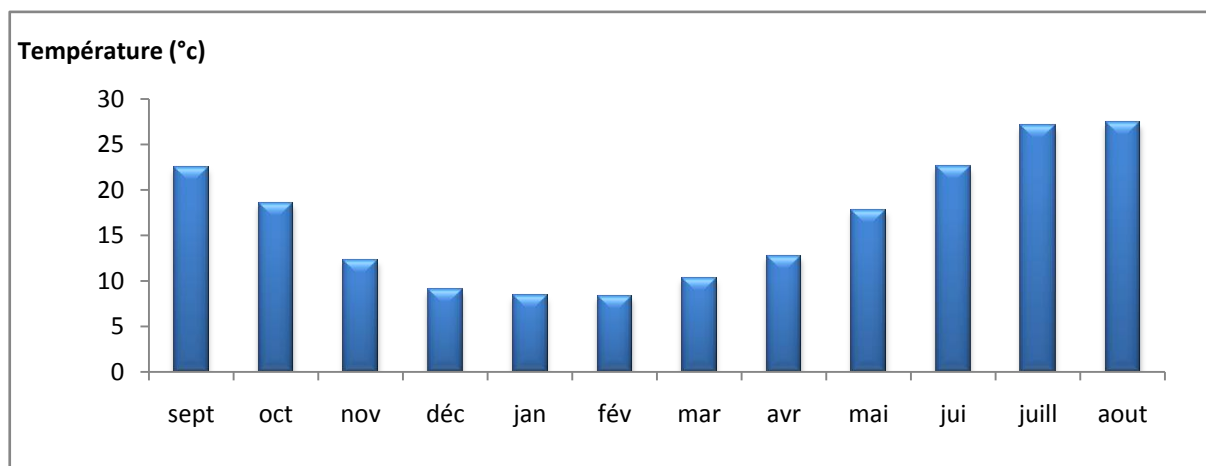


Figure.III. 4: Histogramme des températures moyennes mensuelles de la station Beni Haron (1984 - 2016)

III.3. Relation précipitation/température :

Tableau.III. 5: Valeurs des températures et précipitations correspondant au mois de la Station Beni Haron (1984-2016)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUILL	AOUT
(p) moy mensuelle	45,09	44,90	82,36	100,01	83,71	76,52	71,72	50,65	40,91	13,97	1,47	2,99
(T) moy mensuelle	22,44	18,53	12,30	8,97	8,35	8,32	10,33	12,76	17,79	22,51	27,03	27,38

III.3.1. Diagramme Ombro-thermique : $P \leq 2T$

D'après le diagramme Ombro-thermiques établis selon la règle de GAUSSEN et BERNOULLI on constate que :

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

La région d'étude est caractérisée par un climat possédant une saison sèche qui s'étend du mois de mai jusqu'à le mois de septembre et une saison humide qui s'étend du mois de décembre jusqu'à mois de mai. (**Figure.III.5**).

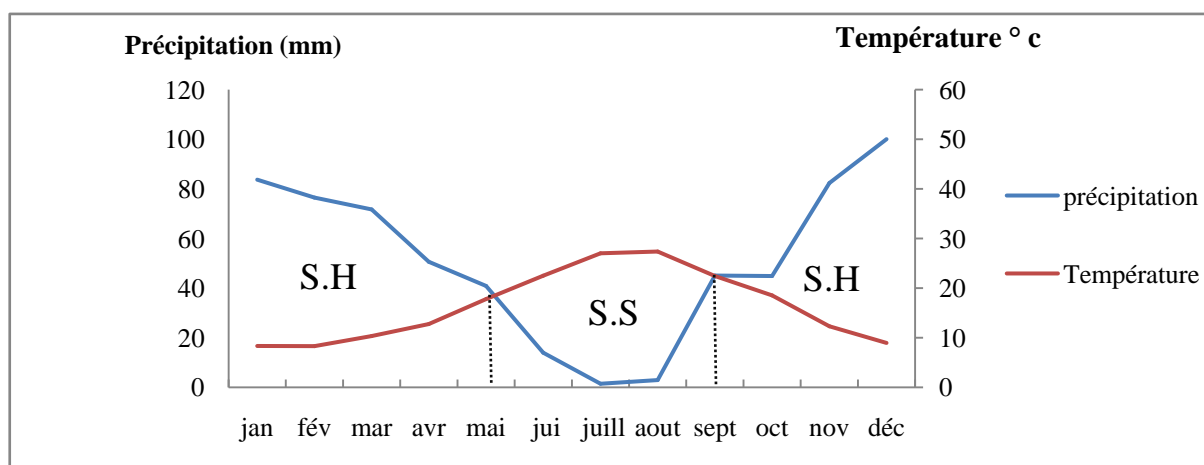


Figure.III. 5: Diagramme Ombro-thermique

III.3.2. Indice de DEMARTONNE (aridité) :

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

$$I = \frac{P}{T+10} \dots \text{III. 1}$$

I : indice d'aridité de DEMARTONNE.

P : précipitation moyenne annuelle P= 614.3 (mm).

T : température moyenne annuelle T = 16.39 (°C).

D'après le (**tableau .III.5**) nous avons trouvés :

Aux différentes valeurs de I, correspondent des types de climats

$I < 5$: le climat est hyper-aride.

$5 < I < 7.5$: le climat est désertique.

$7.5 < I < 10$: le climat est steppique.

$10 < I < 20$: le climat est semi-aride.

$20 < I < 30$: le climat est humide.

P = 614,30 (mm)

T = 16.39(C°)

Donc :

$$I = \frac{614,30}{16,39 + 10} = 23,28$$

On a : $20 < I < 30$: le climat est humide

Donc : la région **d'Oued Endja** est caractérisée par un climat humide.

III.4. Estimation du bilan hydrologique :

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

$$\mathbf{P = ETR + R + I + Wa \dots III. 2}$$

Avec : P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

I : Infiltration (mm).

R : Ruissellement (mm).

Wa : variation des réserves (souvent négligeable),(mm).

III.4.1. 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.

La formule utilisée pour le calcul d'ETP selon THORNTHWAITE est donnée comme suite :

Formule de THORNTWAITE :

La formule de **THORNTWAITE** permet se déterminer pour chaque une évapotranspiration potentiel (ETP).

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ Avec: } i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1,514} \dots \text{III. 3}$$

$$a = 0,016 I + 0,5 \dots \text{III. 4}$$

$$\text{ETP} = 1,6 * \left(10 * \frac{T}{I} \right)^a \dots \text{III. 5}$$

ETP: Evapotranspiration potentiel (cm).

T: Température moyenne annuelle (°C).

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

$$\sum i = 77,36$$

$$a = 0,016 * 77,36 + 0,5$$

$$a = 1,74$$

$$\text{ETP} = 789,14 \text{ (mm)}$$

Tableau.III. 6: Les indices thermiques mensuels

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUILL	AOUT	TOTALE
T Moy mensuelle (° C)	22,44	18,53	12,30	8,97	8,35	8,32	10,33	12,76	17,79	22,51	27,03	27,38	16,39
i	9,71	7,27	3,91	2,42	2,18	2,16	3,00	4,13	6,83	9,76	12,87	13,12	77,36
ETP(mm)	102,06	73,18	35,87	20,72	18,29	18,14	26,48	38,23	68,12	102,64	141,13	144,27	789,14

$$ETP_c = 1,6 * \left(10 * \frac{T}{I}\right)^a .K \dots III. 6$$

Où :

ETP_c : évapotranspiration potentielle corrigée en (mm).

T: température mensuelle en (°C).

I : indice de chaleur, c'est la somme des indices thermiques moyennes mensuelles ' i '

a : l'exposant climatique.

K : Facteur de correction en fonction de la durée de journée.

Tableau.III. 7 : Calcul de l'ETP_c selon la formule de THORNTHWAITE

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUILL	AOUT	TOTALE
T Moy mensuelle (° C)	22,44	18,53	12,30	8,97	8,35	8,32	10,33	12,76	17,79	22,51	27,03	27,38	16.39
i	9,71	7,27	3,91	2,42	2,18	2,16	3,00	4,13	6,83	9,76	12,87	13,12	77.36
ETP (mm)	102,06	73,18	35,87	20,72	18,29	18,14	26,48	38,23	68,12	102,64	141,13	144,27	789,14
K à 37°C	1,03	0,96	0,84	0,83	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	
ETP_c(mm)	105,12	70,25	30,13	17,19	15,73	15,24	27,27	42,06	83,11	126,25	176,42	168,80	877.57

III.4.2. l'évapotranspiration réelle(ETR), ou déficit d'écoulement :

L'évapotranspiration réelle (ETR), est appelé souvent déficit d'écoulement (DE), est définie comme étant la quantité d'eau évaporée ou transpirée effectivement par le sol, les végétaux et par les surfaces d'eau libre ; Elle dépend de l'aération et de la quantité d'eau disponible Pour l'estimation de l'ETR, on a utilisé plusieurs formules et méthodes qui utilisent la température et les précipitations.

- 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. Formule de TURC :

Cette formule est applicable à tous les climats du globe. Elle fait intervenir les précipitations et les températures moyennes annuelles.

$$\text{ETR} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left[\frac{P}{L}\right]^2}} \quad \dots\text{III. 7}$$

Où :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

P : précipitation moyenne annuelle = **614.30 (mm)**

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad \dots\text{III. 8}$$

$$L = \mathbf{929.89}$$

$$\text{ETR} = \mathbf{531,39 \text{ mm}}$$

T : température moyenne annuelle = **16.39°C**

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

L'application de cette formule permet d'avoir un ETR de 531,39 mm, ce qui représente **86.50 %** des précipitations.

b. Formule de COUTAGNE :

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

$$D = P - \lambda p^2 \quad \dots\text{III. 9}$$

Avec :

λ : qui est un paramètre dépendant de la température ;

Où :

$$\lambda = 1/(0.8 + 0.14 * T) \quad \dots\text{III. 10}$$

Dans notre cas et par une application numérique on trouve : $\lambda = \mathbf{0,32}$.

D : Déficit d'écoulement en (m/an) .

P : précipitation moyenne annuelle en (m) = **0.61430m** ;

T : température moyenne annuelle en °C = **16.39 °C**.

Cette formule est valable pour P comprise entre $1/8\lambda$ et $1/2\lambda$, cette condition est vérifiée $0.39 < 0.6143 < 1.56$.

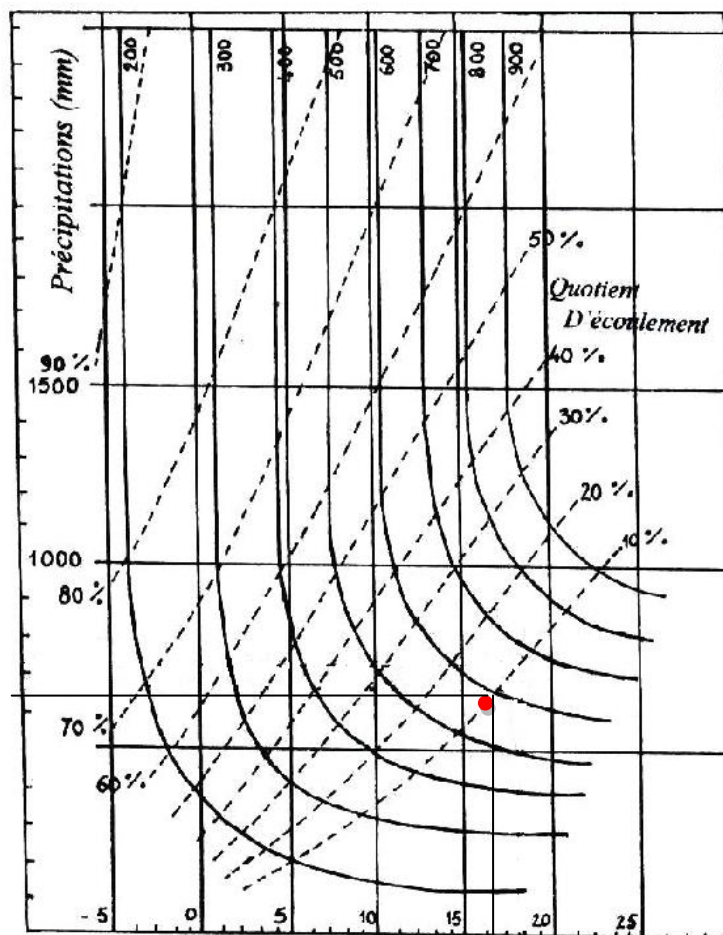
D=574,89 mm = ETR

c. Méthode de WUNDT :

La valeur de l'ETR ou D est déduite du digramme de Wundt qui tient compte de la température et de la précipitation moyenne annuelle, on obtient alors :

ETR= 590 mm

Déficit (mm)



Abaque de Wundt modifié par Coutagne

Figure.III. 6: Evaluation de l'écoulement et du déficit en fonction des températures et des précipitations moyennes annuelles

On note que la méthode R.VERDEILL n'est pas applicable pour notre région, car elle est établie uniquement pour les régions Semi-arides, où les précipitations ne dépassent pas les 400 mm/an.

Tableau.III. 8: L'ETR et ETP calculé par les différentes méthodes (1984-2016).

Paramètres	Méthodes	Valeurs (mm)	Valeurs en (%)
ETP (mm)	THORNTHWAITE	789.14	128.46
ETP_c (mm)		877.57	142.85
ETR (mm)	TURC	531,39	86.50
	COUTAGNE	574,89	93,58
	WUNDT	590	96.04
	THORNTHWAITE	396.96	64.62

Tableau.III. 9: Calcul du Bilan hydrique de la station Beni Haroun (1984 - 2016) par la méthode de THORNTHWAITE .

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	total
T (c°)	22,44	18,53	12,30	8,97	8,35	8,32	10,33	12,76	17,79	22,51	27,03	27,38	/
I	9,71	7,27	3,91	2,42	2,18	2,16	3,00	4,13	6,83	9,76	12,87	13,12	77,36
a	/	/	/	/	/		/	/	/	/	/	/	1,74
ETP (mm)	102,06	73,18	35,87	20,72	18,29	18,14	26,48	38,23	68,12	102,64	141,13	144,27	789,14
K à 37°C	1,03	0,96	0,84	0,83	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	/
P(mm)	45,09	44,90	82,36	100,01	83,71	76,52	71,72	50,65	40,91	13,97	1,47	2,99	614,30
ETP_c (mm)	105,12	70,25	30,13	17,19	15,73	15,24	27,27	42,06	83,11	126,25	176,42	168,80	877,57
P-ETP_c (mm)	-60,03	-25,35	52,23	82,82	67,98	61,28	44,44	8,59	-42,19	-112,28	-174,95	-165,81	/
ETR (mm)	45,09	44,90	30,13	17,19	15,73	15,24	27,27	42,06	83,11	71,78	1,47	2,99	396,96
RFU (mm)	0	0	52,23	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	57,81	0,00	0	0	/
EXD (mm)	0	0	0	35,05	67,98	61,28	44,44	8,59	0	0	0	0	217,34
DA (mm)	60,03	25,35	0	0	0	0	0	0	0	54,47	174,95	165,81	480,61

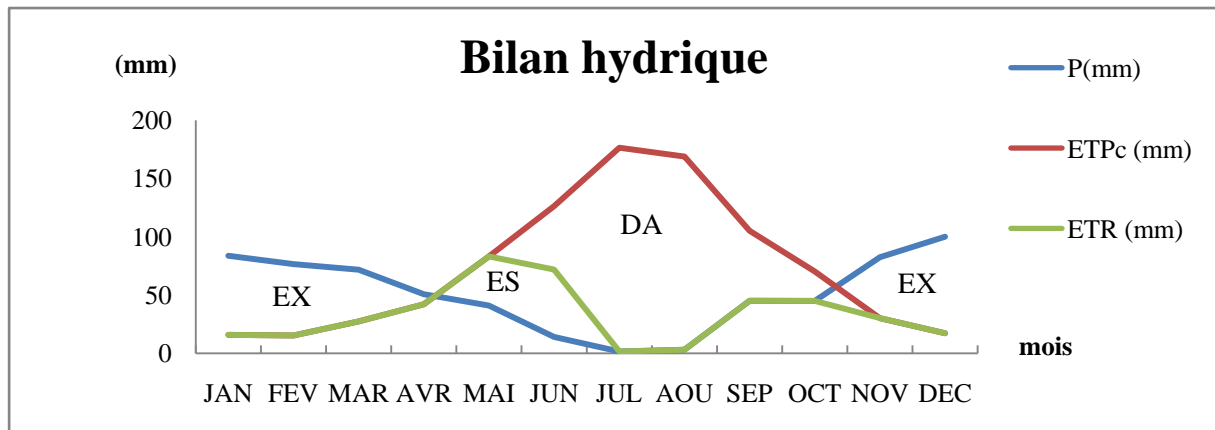


Figure.III. 7: Représentation graphique du bilan hydrologique pour la période (1984-2016) de la station de Beni Haroun.

DA : Déficit Agricole.

EX : Excédent.

ES : Epuisement de stock.

Le bilan hydrique établi mensuellement selon la méthode de THORNWHITE a l'avantage d'estimer pour chaque mois :

L'évapotranspiration réelle (ETR), la réserve facilement utilisable (RFU), le déficit agricole (DA) et l'excédent (EX), le (RFU) est calculé à l'aide de la formule de HALLAIRE 1960 [33] estimé à 100 (mm).

L'examen de l'évolution de (ETPc) à l'échelle mensuelle permet de distinguer deux saisons :

- L'une pendant laquelle les précipitations sont supérieures à l'ETPc, elle s'étend du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril, durant cette période les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettant la recharge de (RFU), cette dernière atteint ces valeurs maximales 100 (mm) pendant les mois de Décembre à Avril.
- La seconde pendant laquelle l'ETPc est supérieure aux précipitations, elle s'étend de mois de Mai jusqu'au Octobre, cette période correspond à la période sèche observée sur le diagramme Ombro-Thermique (**Figure.III.5**). Durant laquelle on a une consommation de l'excédent et de l'RFU jusqu'à l'épuisement et l'apparition du déficit agricole.

Le déficit agricole (DA) commence à partir du mois de Juin et se prolonge jusqu'au mois d'Octobre.

Au delà du mois d'Octobre, il y a recharge de (RFU) atteint son maximum, mais à partir du mois d'Avril, il y a l'abaissement de (RFU) qui s'accompagne d'épuisement de stock.

III.5. Estimation du ruissellement (R) :

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

$$R = \frac{P^3}{3 * [ETP_c]^2} \quad \dots \text{III. 11}$$

$$R = 100,34 \text{ (mm)}$$

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

$$R (\%) = \frac{100,34 * 100}{614,30}$$

$$R\% = 16,33 \%$$

Donc : le ruissellement représente **16,33 %** des précipitations.

III.6. Estimation de l'apport moyen annuel selon les formules empiriques :**1. Formule de SAMIE :**

$$1- L_e = \bar{P}_0^2 (293 - 2,2 \sqrt{S}) \quad (\text{Hm}^3) \quad \dots \text{III. 12}$$

L_e : lame d'eau écoulée (m).

\bar{P}_0 : précipitation moyenne annuelle en (m) ;

S : superficie en Km^2 .

Donc $L_e = 77.01$ (mm)

$$2- L_e = 289 (\bar{P}_0 - 0.076)^2 \quad (\text{mm}) \quad \dots \text{III. 13}$$

L_e : lame d'eau écoulée (mm).

\bar{P}_0 : précipitation moyenne annuelle en (m) ;

Donc $L_e = 83.74$ (mm)

$$3- L_e = 0,784 (\bar{P}_0 - 0,232)^2 \quad \dots \text{III. 14}$$

L_e : lame d'eau écoulée (m)

\bar{P}_0 : Précipitation moyenne annuelle (m)

$L_e = 114.5$ (mm)

L'apport liquide sera donc :

$$\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3} \text{ (Hm}^3\text{) } \dots \text{III.15}$$

L_e : Lamme d'eau écoulée (m) ;

S : Superficie du bassin versant (Km^2) ;

1- $\bar{A} = 0.085 \text{ Hm}^3$

2- $\bar{A} = 0.0923 \text{ Hm}^3$

3- $\bar{A} = 0.126 \text{ Hm}^3$

2. Formule dite ALGERIENNE :

$$L_e = \bar{P}_0 (1 - 10^{-k \frac{\bar{P}_0^2}{}}) \dots \text{III.16}$$

L_e : Lamme d'eau écoulée (m)

\bar{P}_0 : Précipitation moyenne annuelle (m)

k : coefficient dépendant de la surface du bassin versant

$$k = 0,18 - 0,01 \cdot \text{Lg}_{10}(S) \dots \text{III.17}$$

S : Superficie du bassin versant (Km^2)

L'apport moyen annuel est donc :

$$\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3} \dots \text{III.15}$$

$$k = 0,18 - 0,01 \cdot \text{Lg}_{10}(1633.4) = 0.149$$

$$L_e = 0.075 \text{ m}$$

$$\bar{A} = 0.083 \text{ Hm}^3$$

3. Formule de MALLET- GAUTTHIER :

$$L_e = 0,6 \bar{P}_0 (1 - 10^{-0,36 \frac{\bar{P}_0^2}{}}) \dots \text{III.18}$$

\bar{P}_0 : Précipitation moyenne annuelle (m) ;

L_e : Lamme d'eau écoulée (m) .

$L_e = 0.099$ (m) ;

L'apport moyen annuel sera donc :

$$\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3} \dots \text{III.15}$$

$$\bar{A} = 0.109 \text{ Hm}^3$$

4. Formule de TURC:

$$L_e = \bar{P}_0 \cdot \frac{\bar{P}_0}{\sqrt{\left[0,9 + \frac{\bar{P}_0^2}{L^2}\right]}} \dots \text{III.19}$$

L_e : Lamé d'eau écoulée (m)

\bar{P}_0 : Précipitation moyenne annuelle (m)

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \dots \text{III.8}$$

$T = 929.89$

$L_e = 0.0331$ m

L'apport moyen annuel sera donc :

$$\bar{A} = L_e \cdot S \cdot 10^{-3} \dots \text{III.15}$$

$$\bar{A} = 0.0365 \text{ Hm}^3.$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans le (**tableau III.10**):

Tableau.III. 10: Résultats de Calcul de l'apport annuel

Auteurs	Lame d'eau écoulee (mm)	Apport annuel (Hm3)
SAMIE	77.01	0.085
	83.74	0.092
	114.5	0.126
ALGERIENNE	75	0.083
MALLET- GAUTTHIER	99	0.109
TURC	33.1	0.037
Moyenne	80.4	0.089

D'après les résultats obtenus par ces différentes formules, on adopte celle de MALLET-GAUTTHIER (**99 mm**), car elle se rapproche de celle de TIXERON-BARKALOV, ce qui nous donne un apport annuel de **109,16** millions de m³.

III.7.Détermination de l'infiltration (I) :

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

Considérons : $Wa = 0$

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

$$I = 614,3 - (396,96 + 100,34) = 117 \text{ mm}$$

$$I = 117 \text{ (mm)}$$

Donc : l'infiltration représente **19,05 %** des précipitations.

III.8.Conclusion :

Ce chapitre a fait l'objet d'une description et d'une analyse des divers facteurs climatiques du sous bassin d'Oued Endja. Les paramètres analysés concernent la station pluviométrique de Béni Haroun de (1984 à 2016).

Les précipitations dans le sous bassin de Oued Endja varient entre 435.24 et 857 (mm), se caractérise par des variations inter et intra-annuelle, mensuelles et saisonnières et se concentre sur une part assez courte de l'année.

Concernant les températures, l'analyse de différentes moyennes obtenues à la station de Béni Haroun révèle que les moyennes mensuelles sont pratiquement inférieures à la moyenne annuelle, et cela à partir de novembre jusqu'à avril. Dès le mois de mai jusqu'à octobre ces moyennes deviennent supérieures à la moyenne annuelle, marquant ainsi une période sèche.

Une forte évapotranspiration, marque le climat dans le bassin, sa valeur dépasse nettement la moyenne des précipitations 877.57 (mm).

L'ETR est de l'ordre de 396.96 (mm), ce qui représente 64.62 % des précipitations annuelles.

Le déficit des précipitations pour satisfaire l'évapotranspiration réelle serait de 480,61 (mm), soit 78.24% de l'ensemble des précipitations annuelles, réparti entre le mois de Juillet et le mois d'Octobre, donnant ainsi une idée sur la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation ;

L'infiltration est de l'ordre de 117 (mm) soit 19.05 % des précipitations annuelles ;

Le ruissellement est de 100.34 (mm) qui présente 16.33 % des précipitations annuelles.

D'une manière générale, notre région est caractérisée par un climat humide (Type méditerranéen), avec une saison pluvieuse allant de la mi-octobre jusqu'au mois d'Avril et un été sec et chaud.

CHAPITRE IV
ETUDE HYDROCHIMIQUE

IV.ETUDE HYDROCHIMIQUE :

Introduction :

L'eau douce est une ressource indispensable à la vie, elle mérite une attention toute particulière, étant donné qu'elle peut être très altérée et sérieusement menacée par l'activité humaine. En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels [29]. L'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et des pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent au déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs [30]. Ces actions conduisent également à l'altération de l'usage de l'eau (captage de l'eau, baignade, etc.) [31].

Oued Endja qui draine une partie de bassin versant de Oued Elkebir de l'Algérie Nord orientale, se trouvent particulièrement touchés par le problème de pollution du fait de la démographie croissante des centres urbains riverains et du développement continu des secteurs industriels et agricole. En effet. C'est dans cette perspective que s'inscrit ce chapitre qui consiste à étudier l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux de surface d'Oued Endja. L'étude hydrochimique d'une eau permettra de préciser la répartition quantitative des divers éléments dessous, et de suivre leur évolution spatio-temporelle, Cette étude a porté sur l'analyse et l'interprétation de 12 échantillons d'eau, espacés de 15 jours, prélevés entre le 11 Avril 2017 et le 11 Mai 2017 au niveau des points situés le long de Oued Endja et ses affluents, le choix de lieu de prélèvement a été fixé de manière à couvrir tout le secteur d'étude.

IV.1.Echantillonnage et choix du prélèvement :

Un échantillonnage de Stations S1, S2, S3 et S4, chaque station comprend trois points (**Figure. IV.1**) a été retenu pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux de surface du bassin versant étudié. Pour cela, nous avons utilisé les données des analyses chimiques concernant les quatre points, réalisées par l'Algérienne De l'Eau (ADE) de Mila.

Les éléments et les paramètres mesurés et déterminés par l'ADE sont, la conductivité électrique de l'eau (CE), la salinité, la turbidité, TDS, Dureté totale , résidu sec, Matière oxydable, le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^-), les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-) et les phosphates (PO_4^{3-}). (**Tableau. IV.3**)

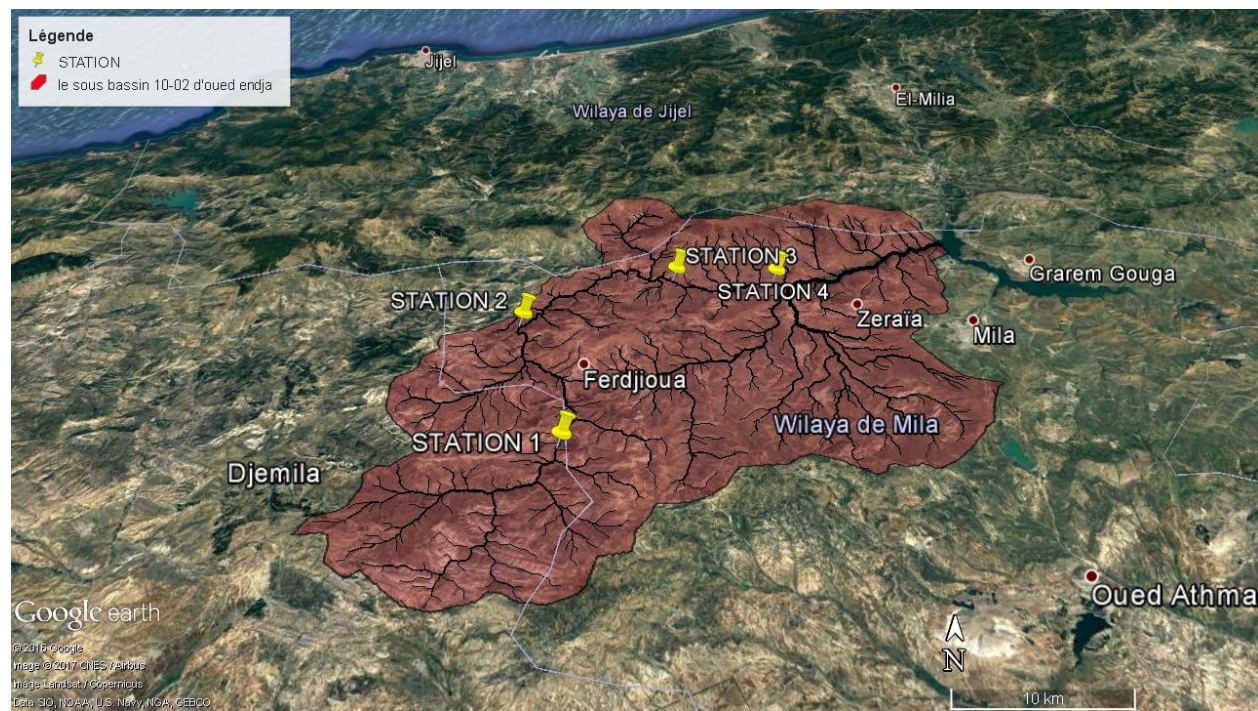


Figure.IV. 1 : Carte de situations des quatre points .extrait de GOOGLE EARTH PRO.

Tableau.IV. 1: Caractéristiques des points de prélèvement

N°	Symbole de la station	Coordonnées Lambert			Lieu de prélèvement
		X(m)	Y(m)	Z (m)	
01	S01	789785.061	343472.370	591	Oued Bouselah
02	S02	786006.580	355103.163	375	Oued Bouselah
03	S03	797283.277	360586.521	235	Oued Elkebir
04	S04	804998.293	360802.724	199	Oued Elkebir

Tableau.IV. 2 : Les normes des paramètres physico-chimiques [OMS]

Les paramètres	Concentration maximale admissible
PH	<6,5-8,5
Conductivité	<2800 $\mu\text{c}/\text{m}$
Dureté totale	<500 mg/L
Chlorure	<500 (mg/l)
Nitrate	<50 (mg/l)
Nitrite	<0,1 (mg/l)
Calcium	<200 (mg/l)
Magnésium	<400 (mg/l)
Sodium	<200 (mg/l)
Potassium	<15 (mg/l)
Sulfate	<0,5 (mg/l)
Phosphate	<150 (mg/l)

IV.2. Analyse des paramètres physico-chimiques :**IV.2.1. Méthodes d'analyses et présentation des résultats**

Le suivi de la qualité physico-chimique des eaux de surface. Le réseau du secteur étudié a été étendu pour caractériser l'état physico-chimique des hydro systèmes en relation avec la rivière du bassin versant.

Les analyses ont porté sur 4 stations le long d'Oued Endja (Oued Bouselah et Oued Elkebir).

Elles ont permis de mesurer les caractéristiques physico-chimiques des échantillons :

- Cations : potassium, magnésium, calcium, sodium.
- Anions : bicarbonates, carbonates, chlorures, sulfates. Nitrates les phosphates et les Nitrites
- Conductivité, pH.

a) Matériel et Méthodes

Une analyse complète des éléments chimiques a été effectuée pour cette étude, les éléments majeurs (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} , NO_3^{-2} , NO_2^-), $T^\circ\text{C}$, pH et la Conductivité électrique. Environ 12 échantillons ont été analysés au total.

Les échantillons d'eau pour chaque prélèvement ont été conservés dans deux flacons. Le premier est acidifié à un $\text{pH} < 2$ à l'aide de l'acide nitrique pur, destiné à l'analyse des cations. Le deuxième flacon n'a subi aucun traitement et a été destiné à l'analyse des anions.

On note que toutes les eaux ont été filtrées à $45 \mu\text{m}$ à l'aide des filtres seringues stériles (SFCA). La conductivité électrique (C.E.) et le pH, ont été mesurés en site à l'aide d'un appareil portatif type Multi-line 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 l'analyse des eaux de A.D.E (Mila), Trois méthodes d'analyses ont été utilisées : Dosage Titrimétrique, Dosage Chloro-métrique 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. 3 : Méthodes utilisées pour l'analyse de l'eau.

Paramètres	Méthodes utilisées
Chlorure (Cl en mg/l)	Titrimétrie
Carbonate (CO ₃ en mg/l)	Titrimétrie
Bicarbonate (HCO ₃ en mg/l)	Titrimétrie
Magnesium (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

b) Méthode des tendances :

Les données que nous avons utilisées forment une série chronologique d'un mois, prise sur les eaux de bassin versant d'Oued Endja. Ces séries sont généralement caractérisées par une certaine structure (uni-variée ou multi-variée, linéaire ou non linéaire), qu'il s'agit de mettre en évidence et d'étudier [32]. Nombreux sont les modèles qui permettent de traiter ces séries.

Tableau.IV. 4: Caractéristiques statistique des données chimiques des 4 stations à courte terme (11 Avril-11 Mai 2017) en (mg/l).

	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET
	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)				Ca⁺²				Cl⁻			
S1	1233	1588	1444	186,74	94,37	153,90	123,64	29,78	152,52	156,72	154,85	2,14
S2	1420	3450	2603,33	1056,05	106,00	190,70	146,46	42,48	141,10	260,13	210,07	61,73
S3	1290	1418	1356,33	64,13	57,72	85,00	69,36	14,08	152,45	197,11	170,63	23,46
S4	1407	1535	1450,67	73,05	59,32	96,37	82,89	20,48	155,99	203,50	176,33	24,48
	pH				Mg⁺²				SO₄⁻²			
S1	7,34	8,10	7,71	0,38	43,14	61,18	52,16	9,02	239,79	256,04	249,97	8,87
S2	7,56	7,87	7,76	0,17	38,80	42,58	40,69	1,89	183,84	221,45	207,70	20,74
S3	7,88	8,27	8,11	0,21	28,67	72,71	50,33	22,02	162,08	179,19	170,92	8,57
S4	7,63	8,08	7,80	0,25	25,27	65,56	43,99	20,29	14,51	150,08	103,40	77,01
	PO₄⁻³				Na⁺				HCO₃⁻			
S1	0,04	0,33	0,18	0,21	91	100	95,5	4,5	163,00	312,32	249,53	77,44
S2	0,09	2,85	1,53	1,38	70	87	78,5	8,5	164,98	278,16	218,91	56,78
S3	0,12	0,64	0,33	0,27	74	99	86,5	12,5	168,36	237,90	211,06	37,38
S4	0,24	0,82	0,46	0,32	80	86	83	3	204,96	250,10	220,10	25,98
	K⁺				NO₂⁻²				NO₃⁻			
S1	5	5	5	0	0,11	0,13	0,12	0,01	1,66	3,46	2,41	0,94
S2	6	8	7	1	0,12	0,58	0,33	0,23	0,09	3,31	1,69	1,61
S3	5	7	6	1	0,04	0,25	0,15	0,11	1,13	2,15	1,68	0,51
S4	4	5	4,5	0,5	0,18	0,20	0,19	0,01	0,76	1,99	1,56	0,69

Interprétation des résultats :

D'après Le tableau (**Tableau.IV.4**) montre que :

- **Le pH** de l'eau est défini par la concentration des ions (H^+) contenues dans la solution.

Par définition, le pH est le log décimal de l'inverse de cette concentration totale :

$$PH = \text{Log} \left[\frac{1}{H^+} \right] \dots \text{IV. 1}$$

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.

- Les valeurs des PH concernant les quatre points sont compris entre 7.34 et 8.27, ce qui indique que le PH est conforme à la norme.

- **La conductivité** : 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 25°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 ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

Les valeurs maximales de la conductivité sont inférieurs à la norme admissible sauf la valeur de la station (2) qui atteint 3450 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) ; ce qui indique à une minéralisation élevée.

- **Les hydrogencarbonates** (HCO_3^-) varient entre 163 et 312.32 mg/l.

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.

En remarque aussi que la majorité des éléments sont inférieurs à la norme admissible, tel que :

- **Le Calcium** (Ca^{+2}) varié entre 57.72 et 190.70 mg/l, les grandes valeurs sont enregistrées au niveau de la station 2.
- **Le Chlorure** (Cl^-) oscille entre 141.10 et 260.13 mg/l.
- **Le Magnésium** (Mg^{+2}) varié entre 25.27 et 72.71 mg/l.
- **Phosphate** (Po_4) est de 0.04 à 2.85 mg/l.
- **Le Sodium** (Na^+) est de 70 à 100 mg/l.
- **Le Potassium** (K^+) varié entre 4 et 8 mg/l.

Le potassium provient généralement 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.

- **Nitrate** (NO_3^-) varié entre 0.09 et 3.46 mg/l.

Le reste des éléments sont supérieur à la norme admissible comme :

- **Nitrite** dépasse le 0.1 (mg/l), sauf à la station 3, où il a une valeur de 0.04 (mg/l).
- Les **Sulfates** (SO_4^{2-}) sont trop chargés, varient entre 14.51 et 256.04 (mg/l).

IV.3.Faciès chimique.

- **Présentation des résultats**

Les résultats d'analyses utilisés pour cette étude sont très hétérogènes, en effet le nombre d'analyses par point de prélèvement est de trois (3) (**Tableau.IV.4**).

Il est important de prendre en considération que l'étendue des chroniques varie courtement, débutent en 11 Avril alors que d'autres sont établies au 11 Mai. Dans le but d'étudier la cohérence des données en vue de l'exploitation de celles-ci notamment dans différents diagrammes (Piper), nous avons déterminé et étudié les balances ioniques. En effet on considère qu'à partir de 10% le défaut de la balance ionique est important, or dans le cas de notre étude plusieurs de point de prélèvement présentait une balance ionique comprise entre 10 et 20%. Ces anomalies correspondaient probablement à des défauts de manipulation ou de mauvaise lecture de mesure.

- **Outils et méthodes :**

Pour pouvoir analyser ces données et en ressortir le plus d'information, il a fallu utiliser des outils et méthodes efficaces et rapides.

IV.3.1 Outils

Le principal outil utilisé est le logiciel **diagramme** créé par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation des résultats d'analyse de l'eau, ses fonctions sont variées et complètes, en voici quelques unes:

Toutes les fonctionnalités n'ont pas été utilisées, mais ce logiciel s'avère être simple d'utilisation. De ce fait le diagramme de PIPER a été établi grâce à ce logiciel.

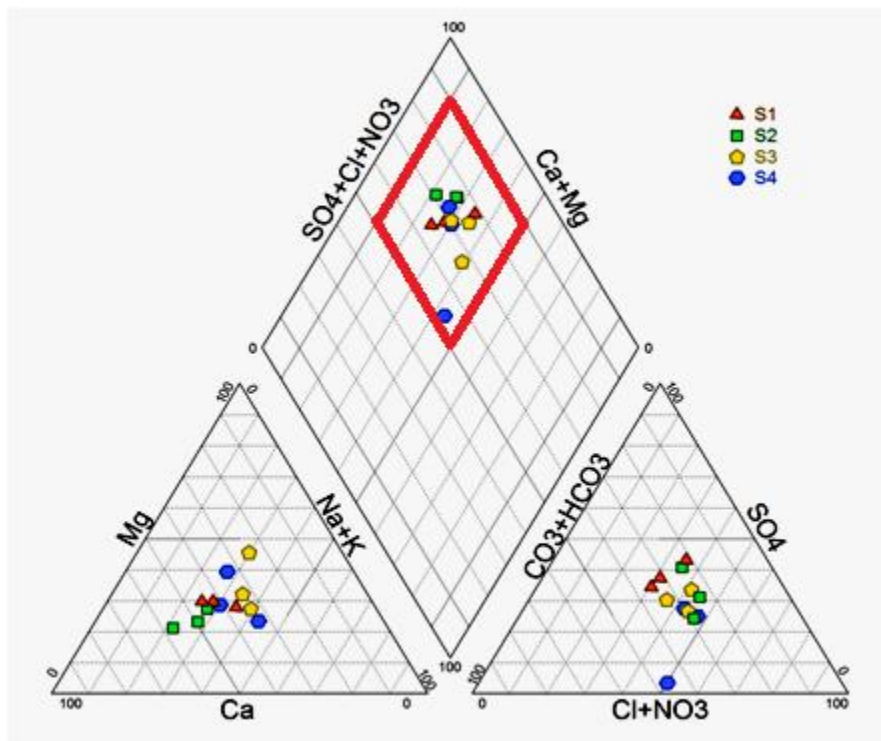
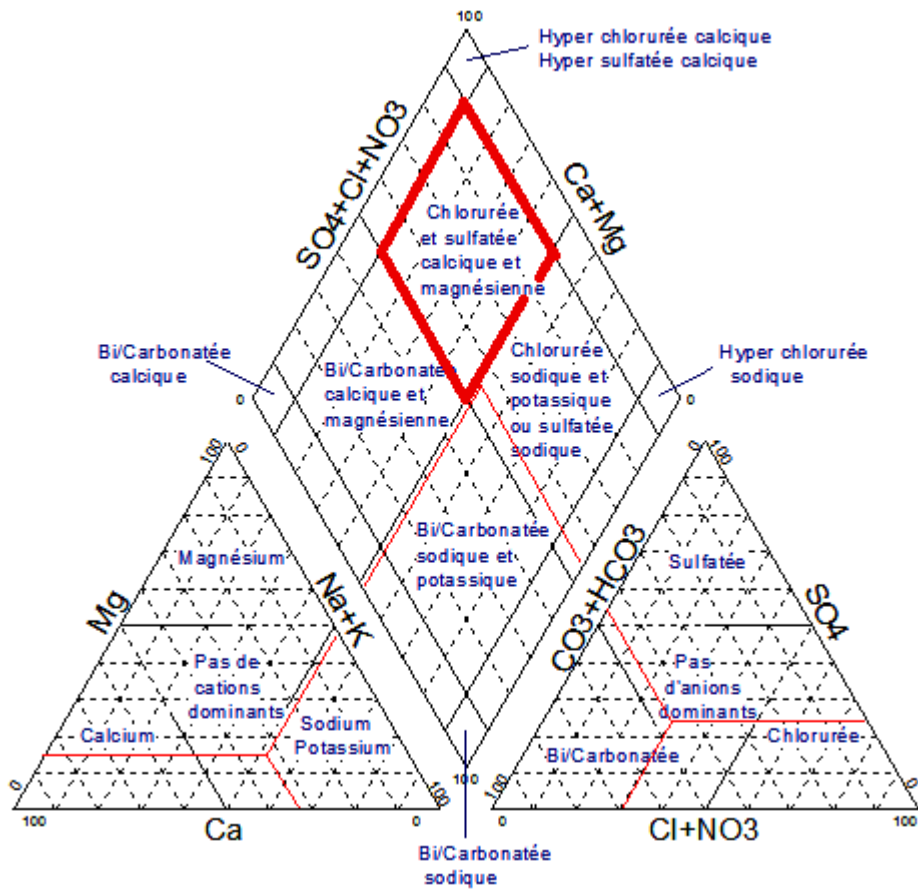


Figure. IV. 2 : Diagramme de Piper et son interprétation, Oued Endja (2017)

- On observe que les eaux d'Oued Endja sont principalement de facies Chlorurées Sulfatées Calciques et Magnésiennes. Elles présentent aussi des concentrations notables en Chlorures, qui sont entre 141,10 et 260,13 mg/l, il semble que deux phénomènes soient à l'origine des ces teneurs en chlorure :

- Solubilisation croissante : L'augmentation des concentrations de chlorure entre l'amont et l'aval du oued Endja (141,10 à 260,13 mg/l) s'explique par une concentration croissante, au fil du ruissellement, des éléments issus de l'érosion des roches riveraines (Mio Pliocène), abondantes dans la partie amont du bassin versant.

- Les eaux ont toutes une même origine, En effet, comme vue dans les diagrammes de Piper (**Figure.IV.2**), les eaux de l'un des points de la S3 présente une légère augmentation en HCO_3 .

IV.4. Rapport caractéristiques :

Remarque : tous les valeurs des paramètres dans les figures sont exprimées en (még/l).

IV.4.1.Le faciès chimique : Échelle Bi logarithmique

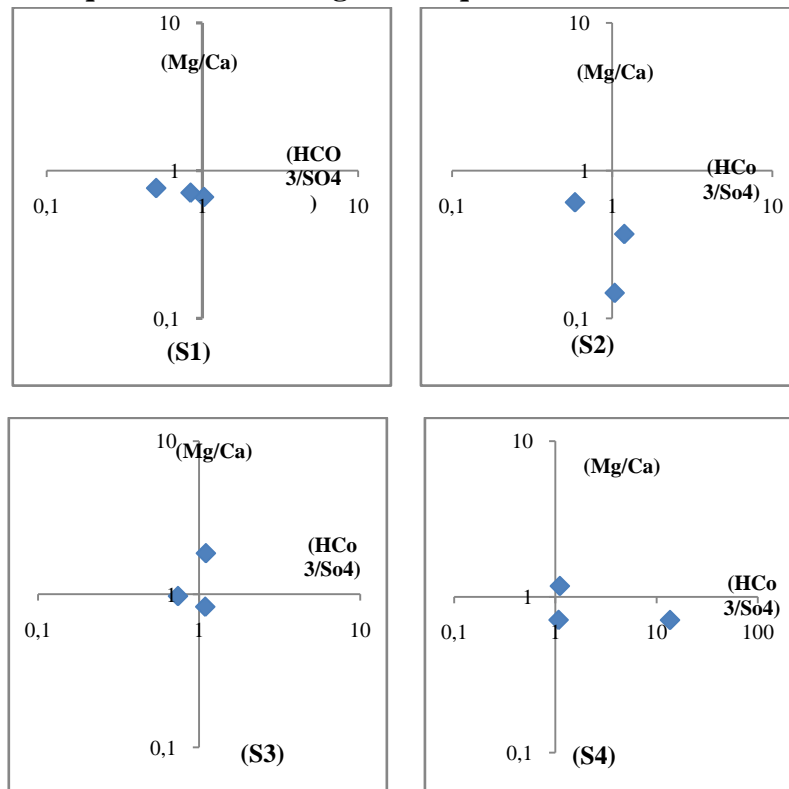


Figure.IV. 3: Représentation des faciès chimiques des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).

- L'examen de ce diagramme permet de voir qu'il ya une légère différence entre les eaux de l'amont et celle de l'aval d'Oued Endja, ou on remarque que :

- Pour les stations S1 et S2 tous les points sont situées au dessous de l'axe (HCO₃/SO₄), donc le Ca domine le Mg, et le SO₄ domine le HCO₃, donc le faciès est sulfaté calcique.

-Pour les station S3 et S4 deux points sont au dessus de l'axe (HCO_3/SO_4), ils sont de faciès HCO_3Mg , et un point de la S3 est SO_4Ca , on a aussi un points en S4 qui est HCO_3Ca .

IV.4.2.L'origine des éléments dominant :

L'origine des principaux éléments majeurs Ca^{+2} , Cl^- , Mg^{+2} , Na^+ et SO_4^{-2} qui caractérisent le faciès chimique de l'eau et son évolution hydro chimique est abordée à l'aide des diagrammes binaires.

a) Origine de chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+) :

Il est connu que le chlorure est un élément très mobile, fréquemment employée comme traceur pour les études de cycle hydrologique, les teneurs en Cl^- et Na^+ peuvent résulter du lessivage de formations géologiques.

➤ Rapport Na/Cl :

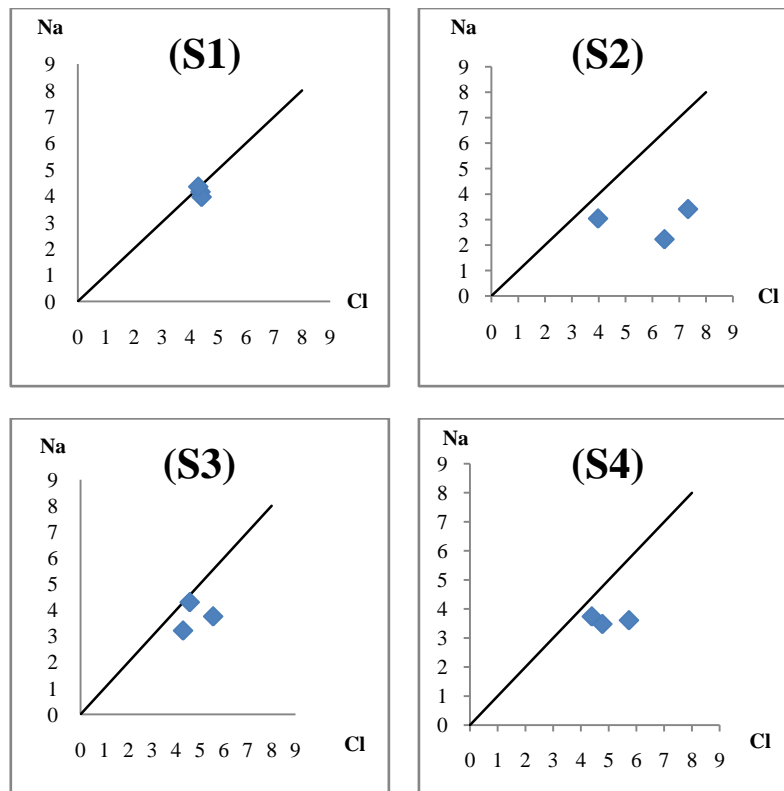


Figure. IV. 4 : Représentation de Rapport (Na^+/Cl^-) des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).

- Les valeurs des 4 stations reportées dans le diagramme (Na^+/Cl^-) (Figure. IV. 5) montrent la dominance de l'ion Cl^- par rapport à l'ion Na^+ , confirmé par le positionnement des points au dessous de l'axe 1/1, cela peu s'explique par la présence d'une venu d'eau particulièrement riche en Cl^- , ayant une conductivité de $3450 \mu\text{S}/\text{cm}$, ou un éventuelle lessivage de surface des formation du Miopliocene ou du Trias présent dans le bassin versant de Oued Endja.

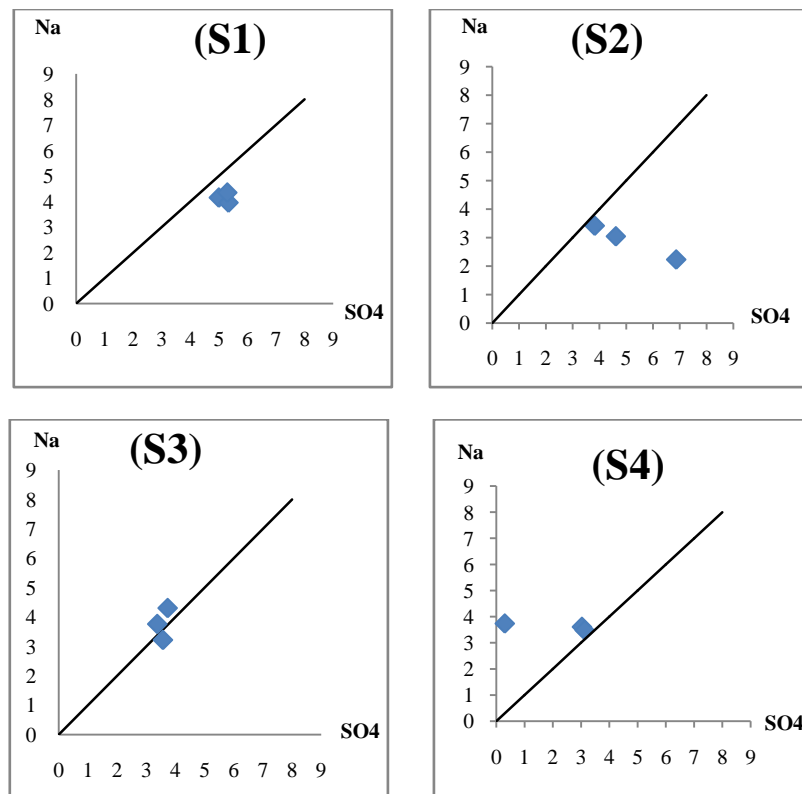
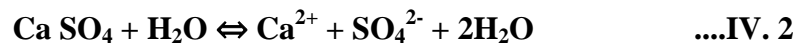
Rapport Na/SO₄ :

Figure.IV. 6 : Représentation de Rapport (Na⁺/SO₄²⁻) des eaux d'Oued Endja, Mila.

L'examen de la figure (IV. 7) du rapport Na/SO₄, montrent qu'il ya une évolution des concentrations au cours de trajet de l'eau, au niveau la **S1 et S2** (en amont) les points sont situées au dessous de la droite 1/1, montre la dominance du SO₄ par rapport au Na, alors que pour les S3 et S4, les points sont au dessus de la droite de pente 1/1, ce qui indique à un excès des sodium par rapport au sulfates, ce qui est probablement due a la dissolution de Gypse.

- Par la suite au cours du trajet, des ions sodique qui a fait accroitre la concentration de Sodium par rapport à celle des sulfates, cet apport supplémentaire pourrait provenir de altérations des Silicates Sodiques.

- Le rapport d'échange de Base, montre que presque la totalité des éléments présent un état naturel (Figure.IV. 6), a l'exception d'un point a la S3 qui montre une dominance du CaCl par rapport au HCO₃+SO₄ et Na.



b) Echange de base :

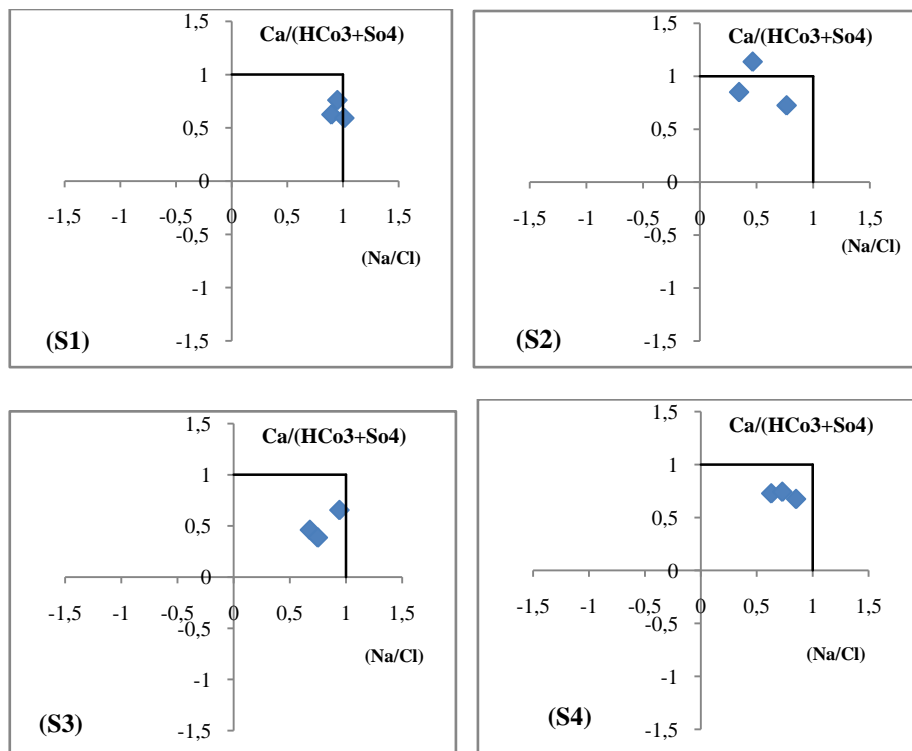


Figure.IV. 8 : Rapport d'échange de base des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).

c) Origine de Mg :

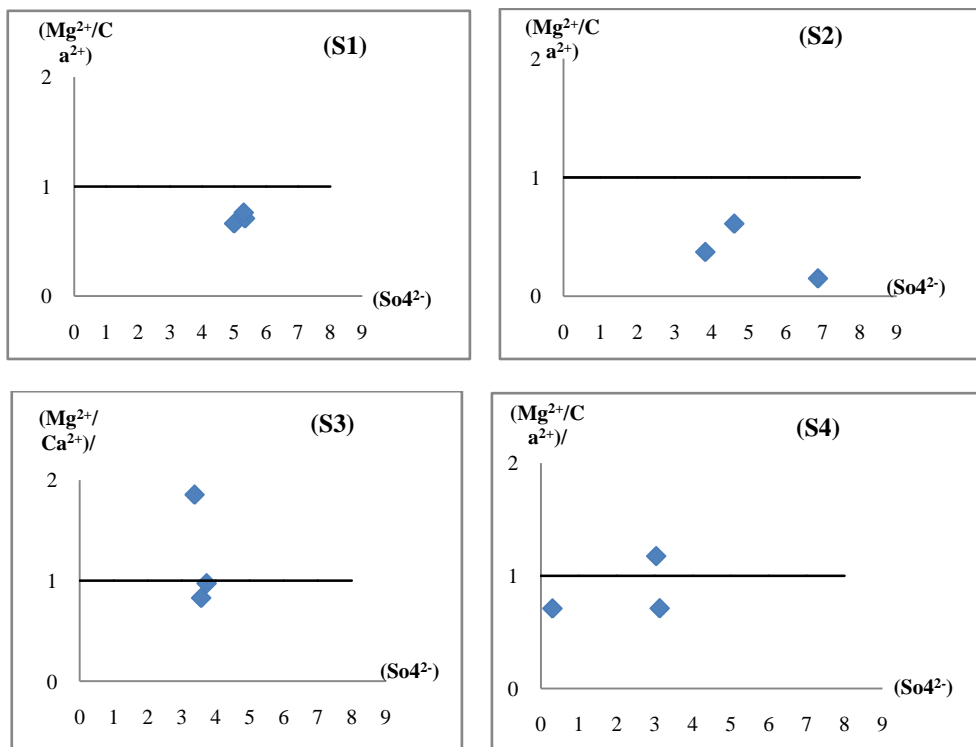
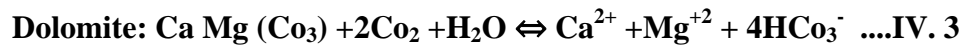
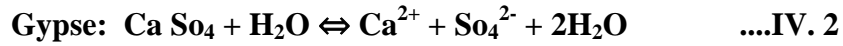


Figure.IV. 9 : Rapport $(\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+})/\text{So}_4^{2-}$ des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).

- La projection des points sur l'axe $(Mg^{2+}/Ca^{2+}) / (SO_4^{2-})$, et pour les S1 et S2 montrent que la totalité des échantillons présentent un rapport de $(Mg^{2+}/Ca^{2+}) < 1$, ce qui nous permet de dire que le Calcium domine le Magnésium, et qui peut probablement être due à la dissolution des évaporites $(Ca SO_4) H_2O$ et des formations Carbonatées (Dolomites) ; alors que les S3 et S4 présentent deux points chacune sous l'axe 1, et un point chacune sur l'axe 1, montrant ainsi la dominance du Ca par rapport au Mg pour le premier cas et l'inverse pour le deuxième.



d) Origine de calcium :

➤ **Rapport Ca^{2+} / HCO_3^- :**

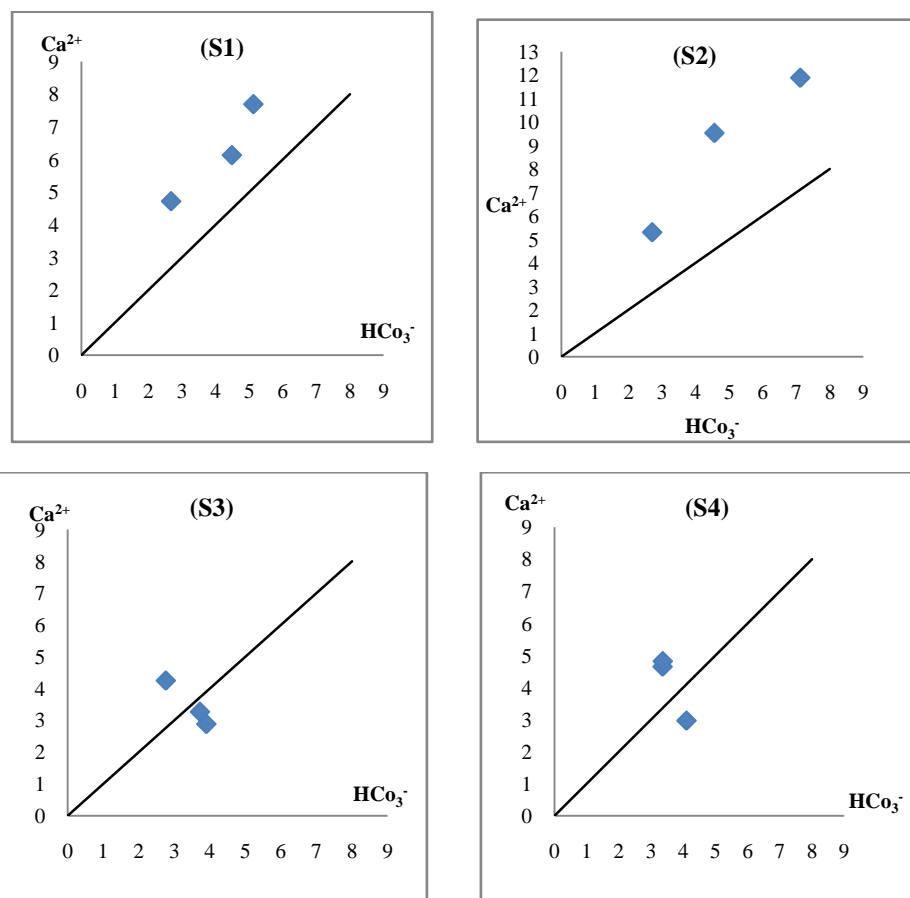


Figure.IV. 10 : Représentation de Rapport (Ca^{2+} / HCO_3^-) des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).

Sur les représentations du rapport Ca^{2+} / HCO_3^- (Figure.IV. 11), on remarque que :

- Pour les S1 et S2 les points sont situés sur la droite 1/1, indiquant un excès en Ca.
- Pour les S3 et S4, trois points sont sur la droite et les autres sous la droite, montrant respectivement une dominance du Ca et une dominance du HCO3.

➤ Rapport $\text{Ca}^{2+} / \text{So}_4^{2-}$:

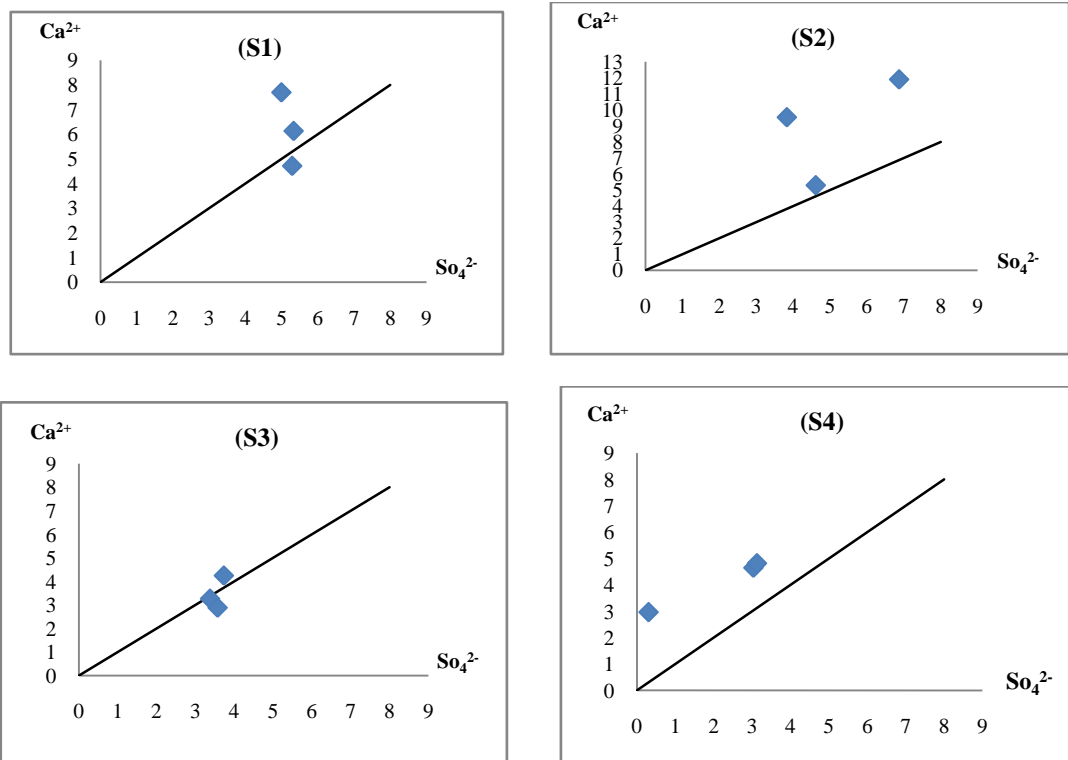


Figure.IV. 12 : Rapport ($\text{Ca}^{2+} / \text{So}_4^{2-}$) des eaux d'Oued Endja, Mila.

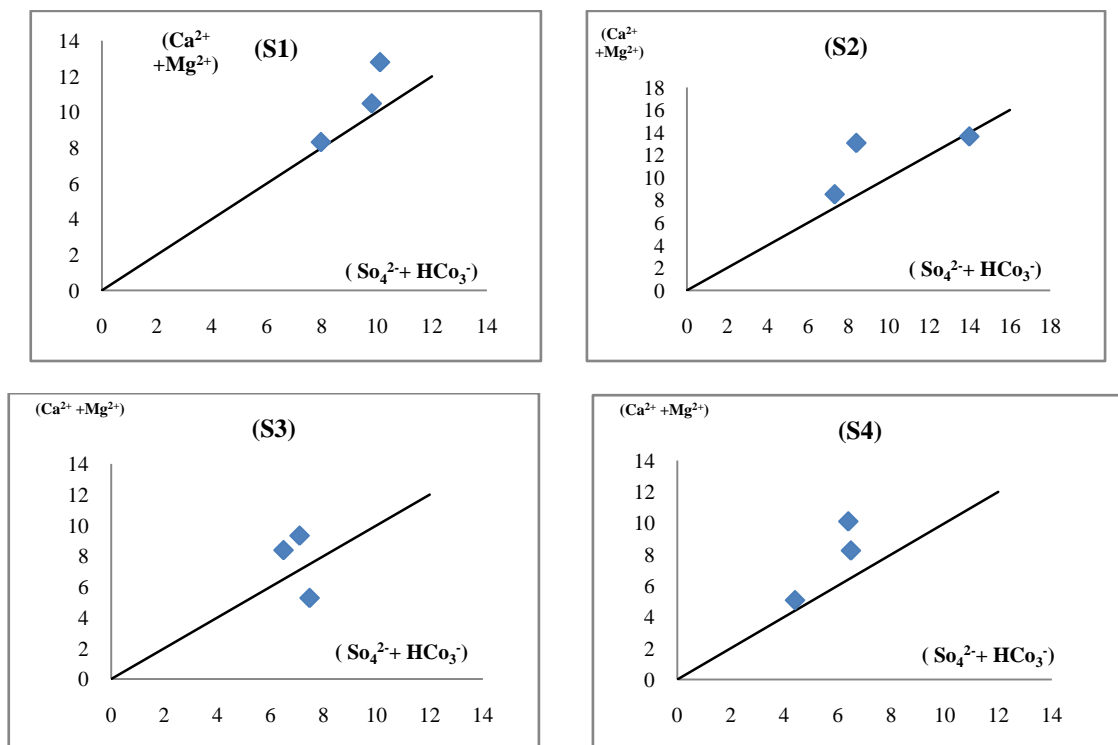


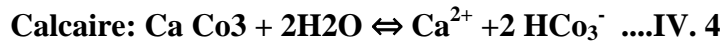
Figure.IV. 13 : Rapport $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / (\text{So}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ des eaux d'Oued Endja, Mila.

- Le rapport $\text{Ca}^{2+} / \text{So}_4^{2-}$ indique, pour les S2 et S4, la quasi-totalité des échantillons sont > 1 , ce qui traduit l'influence des minéraux calciques sur la minéralisation (Figure.IV. 9), alors que

pour les S1 et S3, il y a quelques points sous la droite 1/1, montrant un apport en SO_4^{2-} , d'origine évaporitiques.



-Mais en second lieu par la dissolution des éléments Carbonatés (Calcaire)



a) Rapport $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / (\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$:

- L'origine de ces éléments a été également abordée à l'aide du diagramme $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / (\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ (**Figure.IV. 10**), ou on observe que les points sont sur la droite de pente 1, les réactions sont dues à la dissolution de la (Calcite, Dolomite) et le (Gypse), l'échange de Base à tendance à stabiliser les points vers le haut en raison de l'excès de $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$, seul un points en S3 montre un apport en $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$.

- La présence de sulfates dans les eaux (256.04 mg/l) d'Oued Endja, pourrait également être attribuée à la Dolomite ou de l'anhydrite.

b) Origine de salinité :

➤ **Rapport $(\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{+2}) / \text{CE}$:**

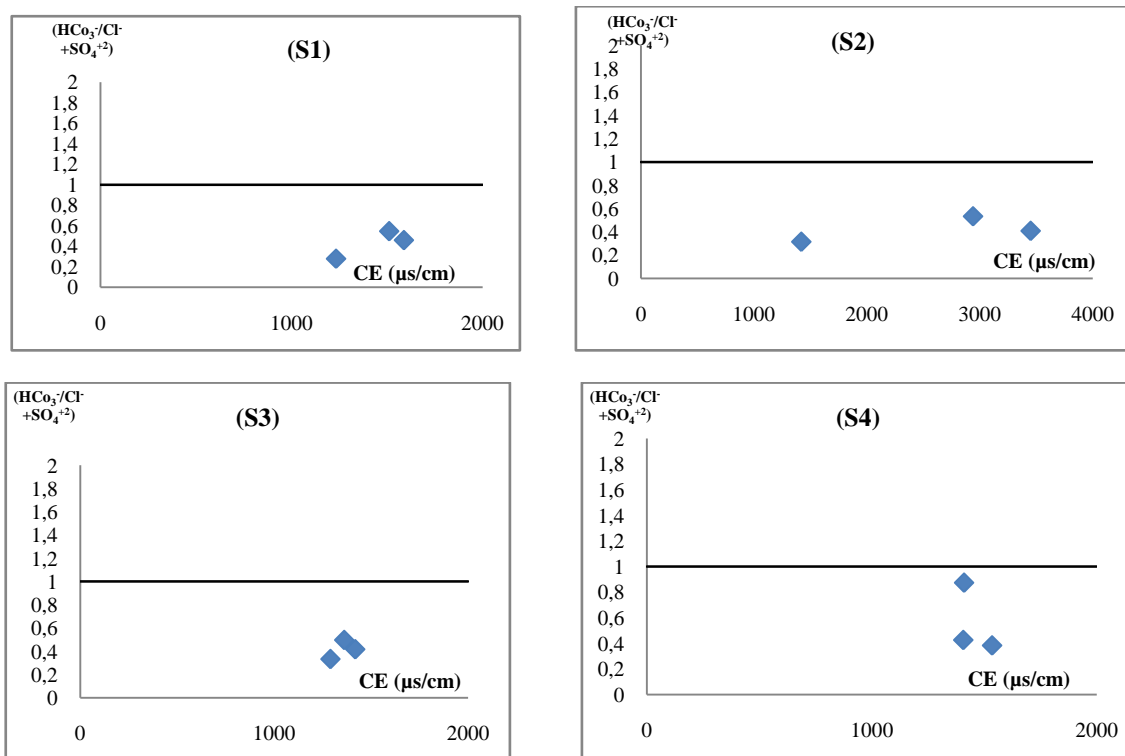
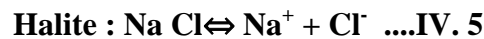


Figure.IV. 14 : Rapport $(\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{+2}) / \text{CE}$ des eaux d'Oued Endja, Mila (2017).

- Pour mieux expliquer la minéralisation des eaux d'Oued Endja nous avons établie le diagramme $(\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{+2}) / \text{CE}$, le rapport est dans la quasi-totalité des échantillons < 1 , Ce qui traduit l'influence des minéraux évaporitiques sur la minéralisation totale (**Figure.IV. 11**)

-La dissolution des éléments évaporitiques se fait selon les réactions suivantes :



➤ **Rapport [(Cl⁻+SO₄⁺²) /CE] :**

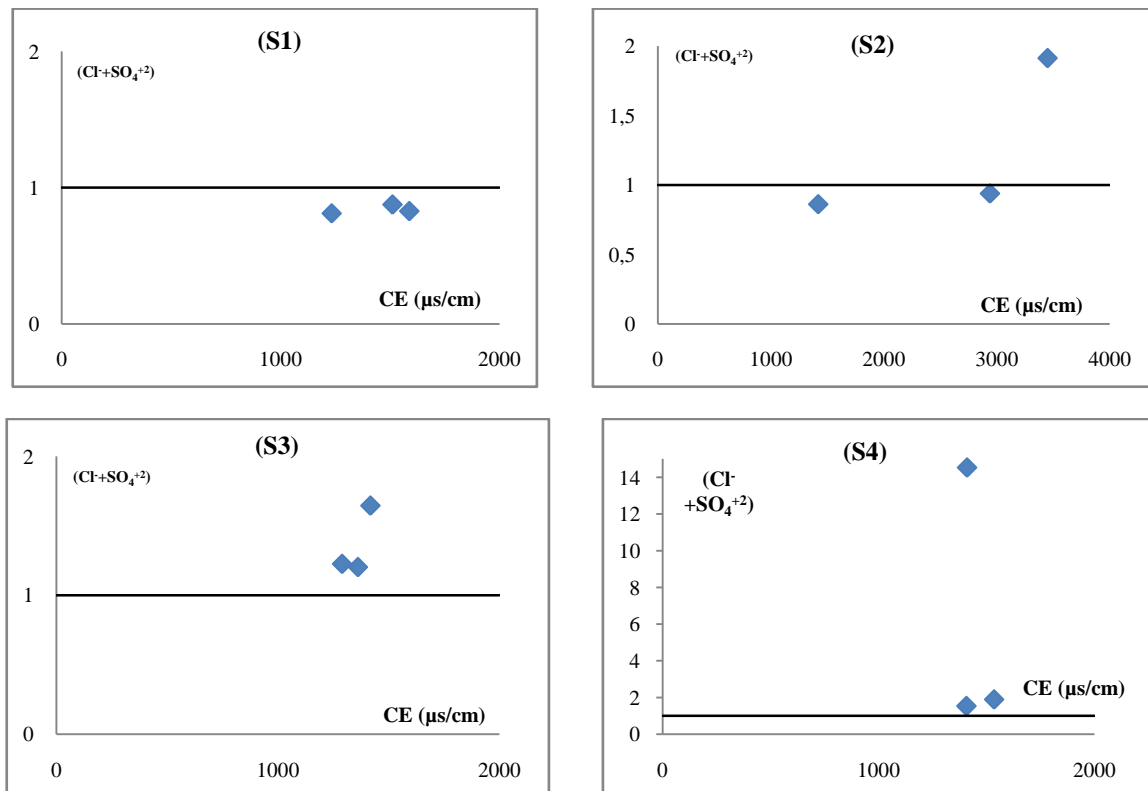


Figure.IV. 15 : Rapport (Cl⁻+SO₄⁺²)/CE des eaux d'Oued Endja, Mila.

- La (**Figure.IV. 12**) nous permet de voir manière selon laquelle évolues la dissolution des ions évaporitiques (Cl⁻) et (SO₄⁺²) en fonction de la conductivité. Ce ci nous permet de dire qu'il ya une évolution de teneurs au cours de trajet des eaux, au niveau de la station 1 (Amont) le rapport <1 ce ci expliqué par la domination des Sulfates par rapport au Chlorures, donc une salinité Sulfatée due à la dissolution des Gypse, en suite il ya un changement progressive au niveau de la station 2, 3 et 4 ou les ions de (Cl⁻) emporte sur les ions de (SO₄⁺²). La minéralisation s'enrichie en les ions Cl⁻ par rapport aux ions SO₄⁺², là l'origine des éléments est probablement due au lessivage ce certaines formation salifère.

IV.5.Apport de l'Analyse en Composant Principales (ACP) :

Le traitement des nombreuses données chimiques, échantillonné durant la période de 11 Avril au 11 Mai 2017, 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 de 12 échantillons, étalées sur un mois.

IV.5.1. 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 [33, 34, 35]. Nous cherchons à mettre évidence les liens éventuels de deux ou plusieurs variables au cours de leur évolution.

a) 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.

b) Traitement statistique :

Une analyse statistique des composantes principales (ACP) a été effectuée sur un tableau de 12 individus et de 12 variables (pH, conductivité, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^{2-} , NO_2^- et PO_4).

L'analyse a été poussée jusqu'à Cinq facteurs et 86.98% de la variance (**Tableau.IV.5**), ont peut-être exprimés.

Le critère de KAISER [36], a été appliqué à fin de déterminer le nombre total des facteurs significatif, selon ce critère, seuls les facteurs ayants une valeur propre supérieure ou égale à 1 seront acceptées comme sources possibles de variance dans les données. Cinq facteurs (F) ont été retenue et qui représente 86,98 % de la variance total ce qui assez bon et peut être utilisé pour identifier les principales variations dans l'hydrochimie (**Tableau.IV. 5**)

Tableau.IV. 5: Pourcentage de la variance exprimée.

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	4,364	2,278	1,570	1,180	1,046
Variabilité (%)	36,370	18,985	13,080	9,834	8,716
% cumulé	36,370	55,355	68,435	78,270	86,986

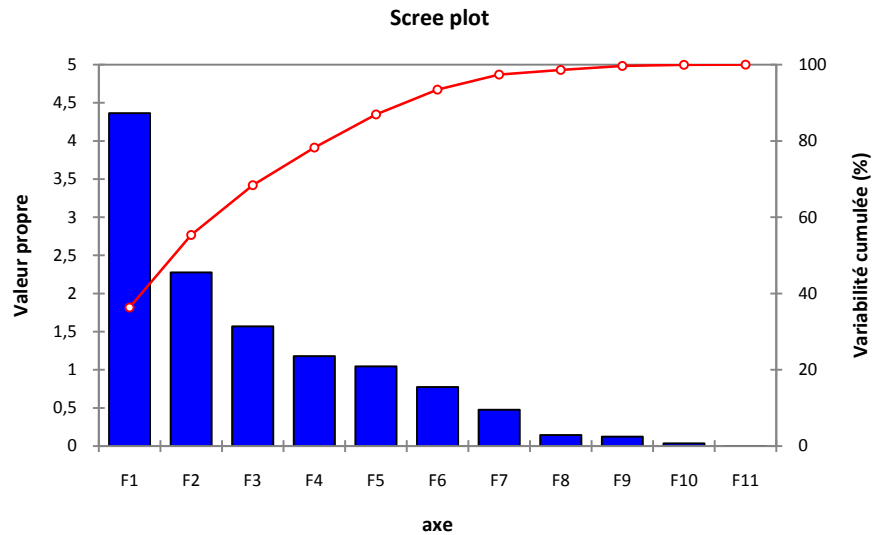


Figure.IV. 16: Histogramme des valeurs propres.

c) Matrice de corrélation :

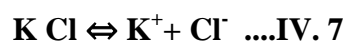
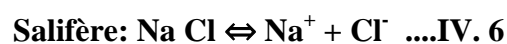
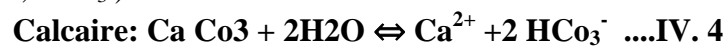
La valeur du coefficient de corrélation critique « r » dépend des nombres d'individu « n », dans notre cas, n = 12, ce nombre d'individu permet d'avoir un coefficient de corrélation critique égale 0,432 (Tableau de Pearson), sur cette base, plusieurs corrélation on peut être mise en évidence.

L'examen du (Tableau.IV.6) Montre plusieurs corrélations significatives

Tableau.IV. 6: Matrice des corrélations entre les différents variables au seuil de 5% et avec 12 d'échantillons (r = 0,4324 soit r² = 0,186)

Variables	pH	Cond	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	NO2	PO4
pH	1											
Cond	-0,011	1										
Ca	-0,272	0,771	1									
Mg	-0,071	-0,107	0,129	1								
Na	-0,030	-0,210	0,038	0,345	1							
K	0,184	0,347	0,166	-0,283	-0,623	1						
Cl	0,070	0,877	0,565	0,210	-0,148	0,143	1					
SO4	-0,411	0,113	0,497	0,310	0,248	0,185	-0,047	1				
HCO3	0,300	0,330	0,448	0,123	0,008	-0,043	0,221	-0,040	1			
NO3	-0,261	-0,155	-0,043	-0,176	0,329	-0,239	-0,384	0,293	0,025	1		
NO2	0,150	0,874	0,555	-0,251	-0,432	0,395	0,808	-0,123	0,380	-0,451	1	
PO4	0,096	0,854	0,524	-0,008	-0,096	0,200	0,836	0,057	0,116	0,019	0,649	1

- L'examen du (Tableau.IV.6) montre que la conductivité présente une liaison moyenne avec les éléments (Na⁺, K⁺, HCO₃⁻) ce ci liée à la dissolution des fractions carbonatées.



- Et une forte corrélation positive avec (Ca, Cl⁻, NO₂, PO₄) ce ci liée d'une part par la dissolution des carbonatées. (**Formule. IV.4.6.7**).

- la deuxième part des éléments NO₂ et PO₄ des pourrait être liées aux l'oxydation de matière organique qui conduire à la transformation de la matière organique en matière minérale.

- On remarque que les Nitrates ne présent aucune corrélation avec les autres éléments, sont conséquence de la contamination anthropique des eaux des stations (pollution due l'épandage d'engrais chimique).

- Le Calcium Ca⁺² présentes une forte liaison avec (Cl, SO₄, HCO₃, NO₂, PO₄) due a la dissolution des formations évaporitiques (K Cl, Na Cl, Ca SO₄), carbonatées (CaCO₃), le calcaire à une double liaison ; la première Carbonatées et la seconde Salifère.

- Les éléments salifères (Na, K, Cl, SO₄) semblent bien corrélés avec les Carbonates (CaCO₃).

d) L'analyse de cercle de l'ACP :

L'analyse des variables (**Tableau. IV.7**) montre que le facteur 1 est déterminé par la conductivité, Ca, Cl, NO₂, PO₄ et à moindre degré par le pH, K, HCO₃, c'est donc le facteur de la minéralisation. Ce facteur oppose donc les eaux minéralisées aux eaux faiblement minéralisées. ,

Les facteurs 2, 3,4 et 5, il a été clairement expliqué par la quasi-totalité des variables pour les quatre stations. C'est donc la CP de la minéralisation liée aux évaporites et aux carbonates (NaCl, KCl, CaMg(CO₃)₂, CaSO₄, CaSO₄, (H₂O) 2, Na₂SO₄, CaCO₃ et Ca(HCO₃)₂).

Tableau. IV. 7: Corrélation entre les variables et les facteurs

	F1	F2	F3	F4	F5
pH	0,104	-0,520	-0,544	0,184	0,297
Conductivité	0,968	0,144	0,063	0,128	-0,105
Ca	0,721	0,542	0,126	0,018	0,221
Mg	-0,056	0,521	-0,456	-0,610	0,139
Na	-0,349	0,654	-0,420	0,154	-0,121
K	0,428	-0,416	0,559	-0,172	0,372
Cl	0,894	0,105	-0,246	-0,161	-0,285
SO4	0,052	0,710	0,469	-0,212	0,330
HCO3	0,381	0,129	-0,436	0,369	0,639
NO3	-0,338	0,459	0,292	0,682	-0,041
NO2	0,932	-0,219	-0,024	0,046	-0,015
PO4	0,811	0,170	-0,030	0,173	-0,355

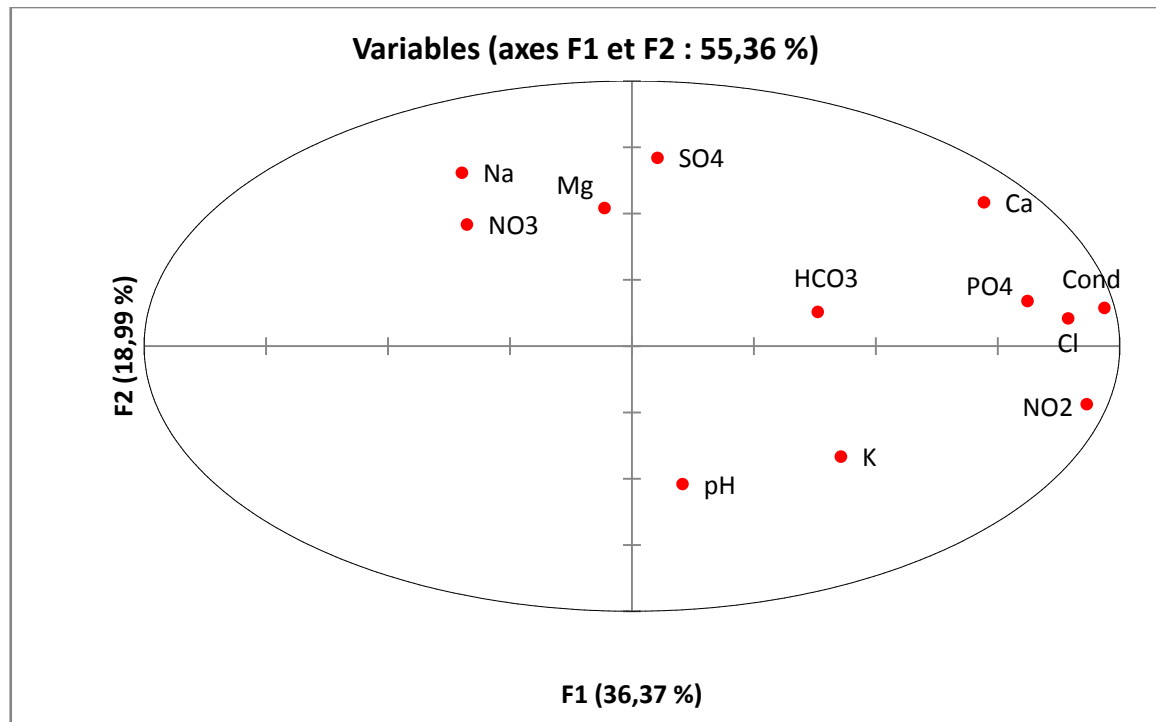


Figure. IV. 17: Plan factoriel F1-F2 des variables

Les axes F1 et F2 sont les plus significatifs parce qu'ils fournissent 55,36% de l'information (**Figure. IV.14**) :

L'observation du cercle montre selon l'axe horizontal F1 une influence importante de la conductivité par les ions : Cl, Ca, PO₄, et NO₂, par un degré moindre les HCO₃ et K.

Selon le plan F2, on note une opposition entre le pH, K, NO₂, qui indique une origine des éléments nitriques agricole tel que NO₂ et l'autre anthropique NO₂, puisque ce dernier est bien liée au pH.

Tableau.IV. 8: Cosinus carrés des individus :

	F1	F2	F3	F4	F5
pH	0,011	0,270	0,296	0,034	0,088
conductivité	0,938	0,021	0,004	0,016	0,011
Ca	0,520	0,294	0,016	0,000	0,049
Mg	0,003	0,271	0,208	0,372	0,019
Na	0,122	0,428	0,176	0,024	0,015
K	0,183	0,173	0,312	0,030	0,138
Cl	0,799	0,011	0,061	0,026	0,081
SO ₄	0,003	0,505	0,220	0,045	0,109
HCO ₃	0,145	0,017	0,190	0,137	0,408
NO ₃	0,114	0,211	0,085	0,465	0,002

IV.6. Aptitude des eaux à l'irrigation :

Les sels minéraux contenus dans les eaux d'irrigation ont un impact sur le sol et les plantes, car ils peuvent causer des changements dans la structure du sol, modifiant ainsi sa perméabilité et son aération et perturber le développement des plantes [37].

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.

Pour pouvoir apprécier ce processus, nous allons utiliser deux méthodes afin de mettre en évidence ce phénomène, celle de :

- 1) RICHARDS (1954) ou celle du RIVERSIDE ;
- 2) Pourcentage du Sodium (%Na) en fonction de la conductivité électrique ;

IV.6.1. 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) :

Cette méthode est celle établie par United State Salinity Laboratory Staff en 1954 et modifiées par Durand (1958), on la trouve également sous le nom de classification de "l'USSL" ou "USSLS", qui est le sigle de son laboratoire d'origine. En plus de sa simplicité, elle est la plus répandue et la plus utilisée [38,39,40]. Elle prend en compte les deux grands dangers que peuvent comporter les eaux utilisées en irrigation : celui de la salinisation et celui de sodisation (ou d'alcalisation) des sols. Le diagramme de cette méthode se construit avec deux paramètres, la conductivité électrique (CE) est représentée en échelle logarithmique en abscisse, le Sodium Adsorption Ratio (SAR), représenté en ordonnée en échelle arithmétique. Ce diagramme fait ressortir plusieurs catégories de classes d'eau séparées par des axes verticaux et des droites inclinées ayant les équations suivantes [38, 41] :

Droite supérieure SAR = $43,75 - 8,87 \times \log \text{CE}$

Droite médiane SAR = 31,31- 6,66 X log CE

Droite inférieure SAR = 18,70 - 4,35 X log CE.

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents sur les sols, en raison de la fixation du sodium issu des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes. [42].

- Le S.A.R est donné par la formule (IV.12) :

$$S.A.R = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}} \quad \dots\text{IV. 8}$$

Où : toutes les teneurs sont exprimées en (méq/l).

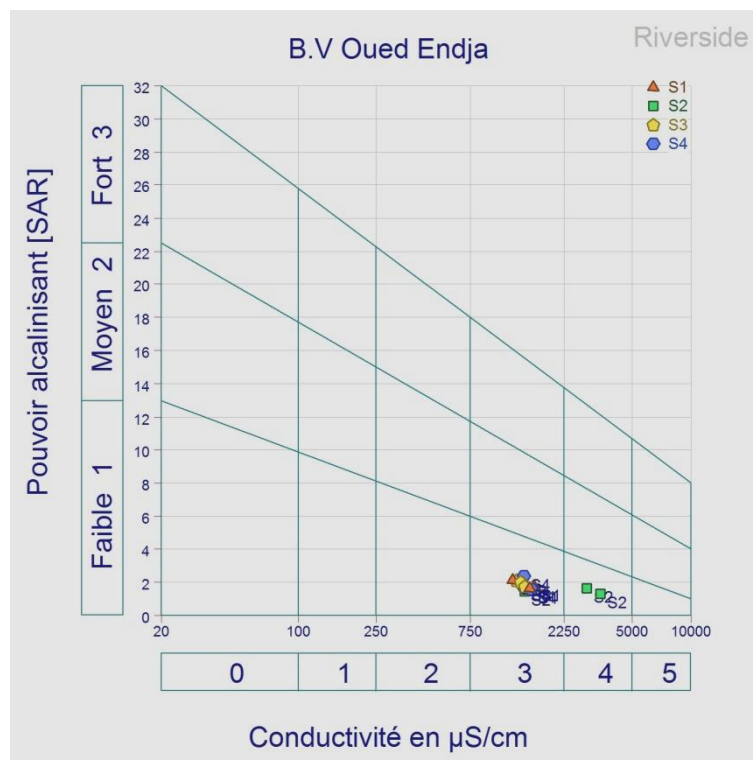


Figure.IV. 18: Aptitude de l'eau à l'irrigation selon le diagramme de Richards (SAR).

Pour les eaux de surface des quatre stations, on s'aperçoit que le risque de salinité est faible pour tous les échantillons, la conductivité varie entre 1233 et 3450 ($\mu\text{s}/\text{cm}$). Par contre le risque de sodicité, est faible pour les eaux de la station 1, 3 et 4, et faible à moyen pour les eaux de la station 2. (**Figure.IV.15**), La qualité est donc est admissible et l'eau convient à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

Tableau.IV. 9 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R [46].

Degré	Qualité	Classes	L'état d'utilisation
1	"Excellente"	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	"Bonne"	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	"Admissible"	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	"Médiocre"	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	"Mauvaise"	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions: sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

IV.6.2. Influence de la sodicité et de la salinité de l'eau sur la perméabilité du sol :

En milieu salé, la conduite de l'irrigation est fortement influencée par la perméabilité du sol. Dans un sol salé imprégné de Na^+ et 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 [43], 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 / SO_4 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.

$$Na(\%) = \frac{(Na + k).100}{Ca + Mg + (Na + K)} \quad \dots\text{IV. 9}$$

Cependant ces pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité en Algérie [44, 45, 46, 47].

- 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 ce 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.

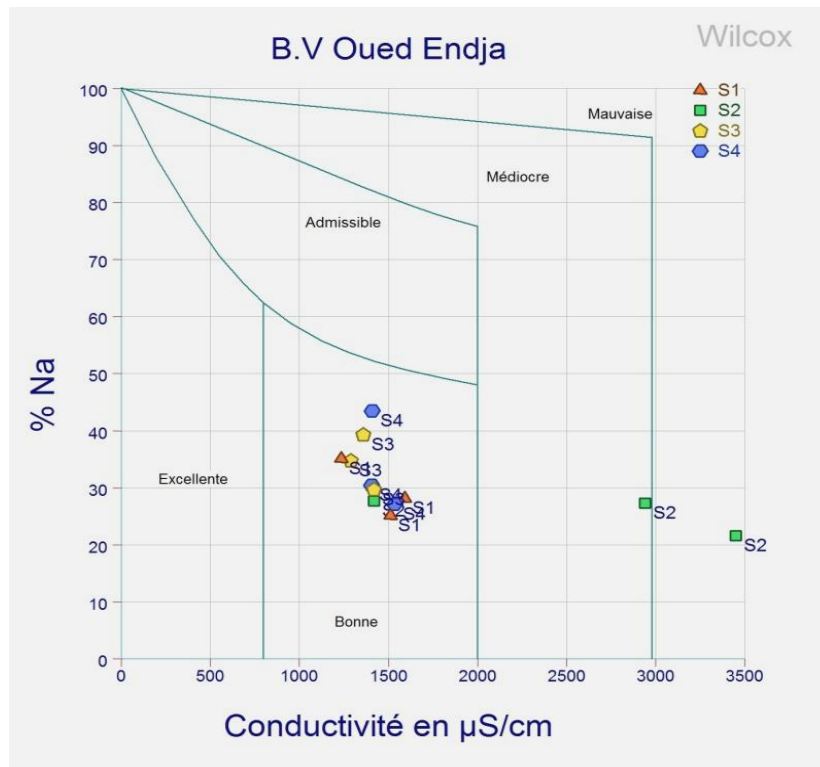


Figure.IV. 19: Aptitude de l'eau à l'irrigation selon le diagramme de Wilcox.

- D'après la méthode de Wilcox, presque tous les eaux d'Oued Endja sont de bonne qualité pour l'irrigation, sauf deux points de la S3, où l'un présente une qualité médiocre et l'autre une mauvaise qualité. (**Figure.IV.16**)

IV.7.Conclusion :

Une caractérisation physicochimique des eaux d'oued Endja, ainsi que les mécanismes responsables de la minéralisation ont été identifiés. Les concentrations en éléments majeurs sont dues au lessivage des formations géologiques riveraines. En conséquence, la minéralisation des éléments mesurés est évidente avec la typologie suivante $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3$ pour les anions et $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$ pour les cations. La variation de la concentration des nitrates est en liaison avec le pH et la matière en suspension. Cependant, le climat humide influe d'une manière nette sur le chimisme de l'eau, par l'apport de pluie qui favorise la dilution.

Le calcul des rapports des éléments dominants entre eux, montre la forte sensibilité des minéraux évaporitiques à la dissolution par rapport aux minéraux carbonatés, ce qui permet d'avoir de fortes concentrations de Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} .

L'ACP réalisée sur ces données, a montré que la minéralisation est liée aux évaporites et aux carbonates.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Cette étude a été très bénéfique, il nous a permis de prendre conscience du fragile équilibre qui existe entre le fonctionnement naturel d'un système hydrologique et des infrastructures humaines favorables au développement d'une société.

Beaucoup de facteurs sont à prendre en compte, notamment les relations qui existent entre chaque compartiment d'un système hydrologique. C'est pour cela que l'étude porte sur tout un secteur.

L'étude de ces eaux de la surface de bassin versant d'Oued Endja s'est déroulée selon deux étapes principales:

- Une compilation d'informations sur le comportement hydrologique du secteur d'étude.
- L'élaboration et l'interprétation des différentes analyses chimiques des eaux.

La morphologie a montré que le bassin versant d'Oued Endja est caractérisé par une morphologie variée, avec une superficie de l'ordre 1105,73 Km² et un périmètre de l'ordre de 173,4 Km, de forme Allongée On note que le talweg principal 54 Km de longueur avec un chevelu hydrographique très dense.

La géologie du bassin étudié dans son ensemble est caractérisé par l'hétérogénéité des formations sédimentaires qui s'étalent du Trias au Quaternaire, constitué généralement par des sédiments marins, d'où la dominance des terrains imperméables ce qui aboutira à un faciès chimique typique.

Le régime hydrologique de bassin versant se caractérise par une irrégularité mensuelle et une irrégularité interannuelle exprimée par les fortes valeurs de variations des différents paramètres climatiques et hydrologiques, Elle présente un climat humide, L'hiver est la saison la plus pluvieuse avec une précipitation de 260,24 mm présente presque la moitié de la pluviométrie annuelle ; Le maximum a été observé en 2013 avec 857 mm , pour les températures la station de Beni Haroun , indique que La moyenne annuelle des températures de la période 1984/2016, est de 16.39°C, L'analyse des observations montrent que le mois le plus froid est le mois de Février (avec 8,32 °C) et le plus chaude est le mois d'Août (avec 27,38°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, les 614,3 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

396,96 mm par évaporation des surfaces d'eau libre, et de l'eau du sol drainée, ou par transpiration de la végétation. Le reste environ 217,34 mm, est drainé par le réseau hydrographique vers la méditerranée. 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 35,38 % de précipitations.

On peut prévoir la variabilité dans le chimisme de l'eau suite à l'influence climatique (Précipitation et Evapotranspiration), hydrologique et géologique par dissolution des minéraux de la roche mère. Nous pouvons constater que les analyses des paramètres physico-chimiques ont permis d'étudier l'évolution spatio-temporelle de la qualité des eaux de ces sites, destinées essentiellement à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation. La taille des échantillons de ces analyses a permis d'aborder le problème surtout d'une manière quantitative.

Les principales caractéristiques des rivières étudiées se traduisent par les teneurs élevées en Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , HCO_3^- et SO_4^{2-} réduits naturellement à l'amont du bassin en plus de leurs large élimination à leur niveau. On considère que les eaux du bassin étudié, sont en revanche faiblement chargées.

Pour le bassin étudié contrôlant Oued Endja, dans sa partie amont, les concentrations des différents éléments évoluent d'une manière irrégulière. Les concentrations de la quasi-totalité des paramètres sont faibles par rapport à normes recommandées, mais les valeurs maximales de ces concentrations dépassent les concentrations maximales admissibles selon les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé. Quant aux valeurs moyennes elles restent en dessous des concentrations maximales admissibles. Le dépouillement de ces analyses chimiques a montré que les eaux sont chlorurées-sulfatées- Magnésien à calciques. L'utilisation du diagramme de Wilcox montre que les eaux sont caractérisées par qualité bonne à médiocre pour l'irrigation. Cette eau doit donc être utilisée pour des cultures tolérant le sel, sur des sols bien drainés et où la salinité doit être contrôlée.

Le calcul des rapports des éléments dominants entre eux à l'eau de surface, montre la forte sensibilité des minéraux évaporitiques à la dissolution par rapport aux minéraux carbonatés, ce qui permet d'avoir de fortes concentrations de Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} .

L'ACP réalisée sur ces données, a montré que la minéralisation est liée aux évaporites et aux carbonates.

Cette analyse montre que les eaux de surface sont fortement influencées par le climat. Ainsi, ceux de la partie Sud sont fortement salées où l'évaporation permet l'augmentation de la salinité par concentration.

Référence et bibliographie

- [1] **LEHNER, B., REIDY LIERMANN, C., REVENGA, C., VOROSMARTY, C., FEKETE, B., CROUZET, P., DOLL, P., ENDEJAN, M., FRENKEN, K., MAGOME, J., NILSSON, C., ROBERTSON, J.C., RODEL, R., SINDORF, N., WISSER, D.**, 2011. Global Reservoir and Dam Database, Version 1 (GRanDv1): Reservoirs, Revision 01, <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/grand-v1-reservoirs-rev01>.
- [2] **HUMBORG, C., RAHM, L., CONLEY, D.J., TAMMINEN, T., BODUNGEN, V.O.N.**, 2008. Silicon and the Baltic Sea. Long-term Si decrease in the Baltic Sea-A conceivable ecological risk? *J. Mar. Syst.* 73: 221-222.
- [3] **LUDWIG, W., DUMONT, E., MEYBECK, M., HEUSSNER, S.**, 2009. River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem changes during past and future decades. *Prog.Oceanogr.*, doi:10.1016/j.pocean.2009.02.001.
- [4] **MONTAGNA, P.A., ALBER, M., DOERING, P., CONNOR, M.S.**, 2002. Freshwater inflow: Science, policy and management. *Estuaries* 25: 1243-1245.
- [5] **BOSC, E., BRICAUD, A., ANTOINE, D.**, 2004. Seasonal and inter-annual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from 4 years of Sea WiFS observations.
- [6] **TURLEY, C. M.**, 1999. The changing Mediterranean Sea. A sensitive ecosystem? *Prog.Oceanogr.* 44: 387-400.
- [7] **BILLEN, G., GARNIER, J.**, 2007. River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae. *Mar. Chem.* 106: 148-160.
- [8] **HOWARTH, R.W., BILLEN, G., SWANEY, D., TOWNSEND, D., JAWORSKI, N., LAJTHA, K., DOWNING, J.A., ELMGREN, R., CARACO, N., JORDAN, T., BERENDSE, E., FRENEY, J., KUDEYAROV, V., MURDOCH, P., ZHAO-LIANG, Z.**, 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N & P
- [9] **RABALAIS, N.N., TURNER, R.E.**, 2001. Coastal hypoxia. *Coastal Estuary Studies* 52. Washington DC: American Geophysical Union.
- [10] **RABALAIS, N.N.**, 2002. Nitrogen in aquatic ecosystems. *Ambio* 31: 102-112.
- [11] **RAGUENEAU, O., CONLEY, D.J., LEYNAERT, A., LONGPHUIRT, S.N., SLOMP, C.P.**, 2006. Responses of coastal ecosystems to anthropogenic perturbations of silicon cycling. In: Unger D, Humborg C, Tac Ad N, Ittekkot V (eds). *The silicon cycle. Human Perturbations and Impacts on aquatic systems. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) Series 66*, p296.

REFERENCE ET BIBLIOGRAPHIE

- [12] **TURNER, R.E., RABALAIS, N., JUSTIC, D., DORTCH, Q.**, 2003. Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers. *Biogeochemistry* 64: 297-317.
- [13] **BENBLIDIA, M.**, 2011. L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude nationale, Algérie. CAR/PNUE/PAM, Plan Bleu, Sophia Antipolis, 24pp. fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-139.
- [14] **REMNI, B.**, 2010. Le problème de l'eau en Algérie du Nord. *Larhyss journal*, 8 : 27-46.
- [15] **(A.B.H.-C.S.M (octobre 1999))**, Les cahiers de l'Agence, Le bassin du Kebir-Rhumel, Agence de bassin hydrographique Constantinoise-Seybouse-Mellegue, Constantine. N°2,p 4 ,8)
- [16] **OUADJDI SALIHA ; BOUSHABA CHAFIKA** .Etude hydrologique et hydrogéologique du barrage D'inferoflux dans la plaine de L'oued endja (mila). Ingénieur d'état : université de Constantine, Département de géologie, 1997, p2,6,7)
- [17] **DURAND DELGA, M.**, (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie.* 39, pp. 89-131.
- [18] **BOUILLIN, J.P.**, (1977). Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de Collo et d'El Milia (Algérie). Thèse doct. Uni. P. et M. Curie, 511 p.
- [19] **WILDI, W.**, (1983). La chaîne Tello-rifaine (Algérie - Maroc - Tunisie) : Structure, stratigraphie et évolution du Trias au miocène. *Rev. Géol. Dyn. Geogr. Phy. Paris.* 24, pp. 201-297.
- [20] **DURAND DELGA, M.**, (1955). Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse. *Sc. Paris. Bull. Serv. Carte géol. Algérie.* 24, 533 p.
- [21] **RAOULT, J.F.**, (1969). Relations entre la Dorsale Kabyle et les Flyschs sur la transversale du Dj Rhédir, phases tangentielles Eocènes, paléogéographie (Nord du Constantinois, Algérie). *Bull. Soc. Géol. Fr. XI. Paris*, pp. 523-543,163,349-409).
- [22] **BOUILLIN, J.P., ET RAOULT, J.F.**, (1971). Présence sur le socle kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut-il être un néo-autochtone? *Bull. Soc. Géol. France.* 7, 117 p.
- [23] **GELARD, J.P.**, (1969). Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata : le flysch maurétanien (Grande Kabylie). *Bull. Soc. Géol. France. Paris.* 7, pp. 676-686.
- [24] **DJELLIT, H.**, (1987). Evolution tectono-métamorphique du socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en petite Kabylie occidentale (Algérie). Thèse doct. Univ. Paris, 206 p.

REFERENCE ET BIBLIOGRAPHIE

- [25] **LAHONDER, J.C., ET AL.** (1979). Datation des grès numidien d'Algérie orientale conséquences structurales. C.R.Acad. Sc. Paris. T 289. (D). 4, pp. 383-386.
- [26] **VILA, J.M.,** (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doct. Univ. P. et M. Curie. Paris. 3 Vol, 665 p.
- [27] **COIFFAIT, PH.A.,** (1992). Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie orientale). Thèse sc. Univ. Nancy, 502 p.
- [28] **HALLAIRE.M** 1960 : le problème du potentiel de l'eau dans le sol et de la disponibilité de l'eau pour la végétation. Ann. Physiol, Vég.2, PP.119-130 .
- [29] **MC KINNEY M.L,** (2002): Urbaization, biodiversity and conservation. Biosci., 52, 883-890.
- [30] **MULLISS R.M,** Revitt D.M, Shutes R.B.E, (1997):The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. Water Sci. Technol., 36, 195-199.
- [31] **BURTON J.R, PITT R.E,** (2001): Stormwater effects handbook, a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers. CRC/ Lewis Publishers, 875p.
- [32] **David M, BONNIEUX .F. RAINELLI .P,** (1983) : Introduction au traitement des séries chronologiques. Economie rurale. 157, 49-56.
- [33] **FARNHAM I.M, SINGH A.K, STETZENBACH K.J, JOHANNESSON K.H,** (2002): Treatment of non-detects in multivariate analysis of groundwater geochemistry data. Chemometrics Intelligent. Lab. Syst. 60 (1-2), 265–281.
- [34] **JOLLIFFE I.T,** (2002): Principal Component Analysis. Springer, New York.
- [35] **KIERS H.A.L,** (1991): Hierarchical relations among 3-way methods. Psychometrika 56 (3), 449–470.
- [36] **KAISER,H.F,** 1960. The application of electronic computer to factor analysis.Educ,psychol,Meas.151pP
- [37] **PERSON J,** (1978) : Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. Bulletin du BRGM, 2ème série, section III, n° 2, p. 143-151.
- [38] **LARAQUE A,** (1991) : Comportements hydrochimiques des açudes du Nord-Est Brésilien semi-aride (évolution et prévisions pour un usage en irrigation). Th. Doct. Univ. MontpellierII..
- [39] **GONZALEZ BARRIOS J. L,** (1992) : Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride mexicaine : exemple dans la « ComarcaLagunera ». Thèse de Doctorat. Univ. Montpellier II. 316 p.

REFERENCE ET BIBLIOGRAPHIE

- [40] **MONTOROI J-P**, (1995) : Dynamique de l'eau et géochimie des sels d'un bassin versant aménagé de Basse-Casamance (Sénégal). Conséquences sur la gestion durable de l'écosystème de mangrove en période de sécheresse. Thèse de Doctorat, Université de Nancy I, France. 349 p.
- [41] **LOUVRIER M**, (1976) : Acquisition et traitement des données hydrogéo-chimiques, exemple d'application. Thèse 3ème cycle. Sciences de la terre. Paris VI.
- [42] **TODD DK**, (2006): Groundwater hydrology. New York: John Wesley & Sons, 2nd Ed. 556 p.
- [43] **GOUAIDIA L, GUEFAIFIA O, BOUDOUKHA A, HEMILA M.L, MARTIN C**, (2012) : Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est algérien). Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement, 2012, volume VI. URL : <http://physio-geo.revues.org/2632> ; DOI : 10.4000/physio-geo.2632
- [44] **DOUAOUI A, HARTANI T**, (2007) : Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Actes du troisième atelier régional SIRMA (Nabeul, Tunis), CD-Rom, Édit. CIRAD, Montpellier, 5 p.
- [45] **BOUHLASSA S, ALECHCHEIKH C, KABIRI L**,(2008) : Origine de la minéralisation et de la détérioration de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique du Quaternaire du bassin-versant de Rheris (Errachidia, Maroc). Sécheresse, 19 (1), 67-75.
- [46] **ROUABHIA A.E.K. , DJABRI L**, (2010) : L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma Labiod. Larhyss Journal n° 8, p. 55-67.
- [47] **TYAGI N**, (1996): Salinity management in irrigated agriculture. Sustainability of irrigated agriculture / Pereira, L.S. (réd.), P. 345-358.

ANNEXES :

Annexes. 1: les précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de beni haron (1984 - 2016).

année	Sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juill	aout	p annuelle
1984	66,76	87,89	63,63	270,49	86,75	54,51	38,91	41,70	48,03	4,53	6,26	-	769,43
1985	70,41	39,64	72,21	64,66	109,05	76,18	2,86	32,51	23,01	11,12	0,48	-	502,12
1986	11,82	46,40	88,89	126,13	82,76	164,05	20,58	51,51	49,70	4,53	0,48	-	646,83
1987	5,24	39,44	73,10	38,74	84,15	90,83	15,17	42,00	33,02	22,53	0,48	-	444,71
1988	29,16	32,27	70,04	218,51	81,17	66,81	49,42	94,90	29,68	4,53	0,48	-	676,97
1989	51,61	60,66	72,42	41,14	92,32	29,32	74,66	48,09	67,12	4,53	0,48	-	542,35
1990	-	34,49	95,89	186,03	75,17	87,90	19,68	66,99	66,71	4,53	0,48	-	637,87
1991	5,61	59,02	70,44	36,60	81,17	72,67	31,39	151,62	76,38	16,83	8,62	-	610,34
1992	23,86	37,83	68,79	186,03	83,96	85,26	60,24	36,11	66,79	11,56	3,08	-	663,51
1993	19,30	32,27	70,08	169,79	81,17	46,29	98,09	-	16,34	4,53	0,48	-	538,34
1994	60,37	54,46	82,22	78,70	109,05	52,75	24,18	30,08	20,18	56,17	0,48	-	568,63
1995	63,47	43,48	83,33	54,66	77,21	49,82	23,28	71,95	58,37	16,05	0,48	-	542,09
1996	43,03	46,17	72,14	62,59	92,32	46,89	89,08	24,23	29,60	18,58	0,48	5,41	530,51
1997	39,38	51,74	98,25	114,56	77,68	76,18	48,52	66,99	31,35	20,25	2,05	2,94	629,89
1998	124,55	39,10	92,00	44,13	57,30	46,13	88,45	70,59	66,37	24,82	1,69	3,37	658,50
1999	173,01	43,25	69,63	76,10	71,02	37,75	74,21	21,53	32,27	30,26	1,12	5,26	635,41
2000	-	37,37	63,58	47,32	56,80	36,99	84,37	20,27	65,29	18,23	0,48	4,55	435,24
2001	141,41	37,10	67,00	31,46	72,11	39,57	95,46	21,08	43,28	4,53	0,48	3,24	556,72
2002	9,63	35,47	91,16	86,75	57,02	45,25	78,62	15,14	26,77	6,90	0,48	5,69	458,87
2003	50,51	47,71	69,78	124,70	68,79	29,32	105,30	79,15	16,34	4,53	0,94	1,87	598,94
2004	35,00	32,10	145,60	228,30	83,40	32,20	50,20	81,60	60,70	44,00	0,90	-	794,00
2005	12,20	19,20	86,20	84,20	167,60	154,30	50,00	103,30	6,20	-	0,50	1,70	685,40
2006	35,30	28,00	34,90	151,80	94,80	85,30	37,30	10,60	45,90	0,40	-	0,80	525,10
2007	33,90	66,70	72,60	134,30	10,30	58,20	175,10	46,10	16,40	11,30	-	0,50	625,40

2008	25,20	25,80	120,00	50,00	15,20	16,60	120,00	50,80	47,80	6,30	5,40	4,30	487,40
2009	157,20	65,10	52,50	80,70	158,00	71,50	86,10	108,80	36,00	5,50	0,30	7,00	828,70
2010	33,00	74,00	100,00	59,60	96,10	47,50	58,50	34,60	82,00	21,50	2,50	3,00	612,30
2011	25,00	89,00	57,00	99,00	19,50	156,00	38,00	60,00	34,30	34,00	3,50	1,00	616,30
2012	49,00	9,50	35,00	55,50	52,50	197,50	40,50	93,50	6,50	10,50	2,00	4,00	556,00
2013	27,00	54,50	248,50	65,50	112,00	180,00	67,00	30,00	39,00	3,50	3,50	26,50	857,00
2014	0,50	5,50	63,00	202,00	69,00	59,00	253,00	10,00	23,00	21,00	-	-	706,00
2015	37,00	82,50	82,50	0,50	219,00	192,00	98,00	4,50	26,60	1,50	-	17,50	761,60
2016	28,5	24,00	85,50	30,00	68,00	40,50	170,50	51,20	59,20	11,90	-	-	569,30
p.m.m(mm)	45,09	44,90	82,36	100,01	83,71	76,52	71,72	50,65	40,91	13,97	1,47	2,99	614,30

Annexes. 2: précipitation moyennes annuelles station béni Haroun

année	Pluie moyenne annuelle	année	Pluie moyenne annuelle
1984	769,43	2001	556,72
1985	502,12	2002	458,87
1986	646,83	2003	598,94
1987	444,71	2004	794,00
1988	676,97	2005	685,4
1989	542,35	2006	525,1
1990	637,87	2007	625,4
1991	610,34	2008	487,4
1992	663,51	2009	828,7
1993	538,34	2010	612,3
1994	568,63	2011	616,3
1995	542,09	2012	556
1996	530,51	2013	857
1997	629,89	2014	706

1998	658,50	2015	761,6
1999	635,41	2016	569,3
2000	435,24		

Annexes. 3: Températures moyennes mensuelles de la station Beni Haron (1984 à 2016)

année	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juill	aout	T Moy annuelle
1984	22,44	18,51	10,51	9,06	8,94	8,78	10,34	11,96	17,94	22,65	26,99	27,57	16,31
1985	22,43	18,52	10,01	9,15	8,50	8,74	10,26	11,89	17,79	22,45	26,68	27,55	16,16
1986	22,34	18,52	11,26	9,13	8,56	8,69	10,33	12,01	17,90	22,37	26,62	27,53	16,27
1987	22,60	18,48	11,18	9,32	8,99	8,43	10,39	12,02	17,79	22,54	26,87	27,52	16,34
1988	22,44	18,50	10,43	9,25	8,64	8,72	9,94	12,05	17,79	22,38	26,86	27,55	16,21
1989	22,38	18,50	11,26	9,46	8,56	8,83	9,93	12,04	17,84	22,52	27,15	27,55	16,34
1990	22,55	18,50	12,25	9,08	8,94	8,65	10,09	12,02	17,96	22,30	27,47	27,59	16,45
1991	22,56	18,51	10,51	9,05	8,57	8,43	10,04	12,05	17,81	22,75	27,40	27,56	16,27
1992	22,54	18,51	12,92	9,15	8,50	8,69	10,01	12,11	17,95	22,70	27,15	27,57	16,48
1993	22,54	18,51	11,34	9,54	8,66	8,75	9,52	11,54	17,95	22,45	27,18	27,55	16,29
1994	22,40	18,52	11,67	9,06	8,67	8,77	10,12	12,00	17,78	22,47	24,87	27,51	16,15
1995	22,41	18,50	11,34	9,40	8,62	8,78	10,08	11,75	17,85	22,28	27,06	27,56	16,30
1996	22,52	18,51	10,84	9,07	8,69	8,74	9,53	11,89	17,88	22,40	27,25	27,55	16,24
1997	22,38	18,52	11,94	9,40	8,91	8,65	9,77	12,08	17,95	22,48	26,94	27,53	16,38
1998	22,35	18,65	16,48	7,52	8,24	7,90	11,33	12,26	18,23	22,42	27,50	27,61	16,71
1999	22,46	18,49	15,99	7,99	8,24	7,06	11,09	12,26	17,43	22,26	28,20	27,50	16,58
2000	22,30	18,61	12,83	8,74	7,59	7,90	10,65	11,98	17,60	22,81	27,31	27,58	16,33
2001	22,52	18,49	14,06	9,42	8,35	8,53	10,09	12,07	17,84	22,72	26,65	27,55	16,53
2002	22,37	18,56	12,83	9,64	8,33	8,82	10,49	12,10	17,91	22,74	26,73	27,54	16,51
2003	22,38	18,59	12,40	9,00	7,85	8,05	10,19	11,92	18,07	22,82	27,35	27,61	16,35
2004	23,90	20,70	12,40	10,33	9,96	11,99	13,22	13,83	17,34	24,26	26,66	28,00	17,72
2005	23,44	19,61	12,72	9,85	6,52	6,36	10,62	12,52	19,78	24,72	28,02	26,46	16,72

ANNEXES

2006	21,63	22,71	16,69	9,13	8,51	9,40	13,73	22,06	21,64	21,51	31,06	32,44	19,21
2007	21,48	17,84	10,35	7,58	10,37	10,38	9,86	13,54	17,11	22,09	24,89	25,24	15,90
2008	22,98	17,85	11,05	8,24	7,11	7,11	8,61	12,55	14,94	21,71	25,04	25,68	15,24
2009	22,16	16,79	10,92	10,19	8,77	7,65	9,50	11,70	17,79	23,44	29,03	26,14	16,17
2010	22,22	17,03	13,33	8,33	8,40	8,48	9,63	13,77	15,71	21,30	25,85	26,10	15,85
2011	21,98	16,50	12,70	8,95	7,45	7,82	10,03	14,66	17,55	21,13	25,94	28,23	16,08
2012	21,40	17,73	13,40	8,55	7,23	4,70	10,56	13,33	17,71	24,30	26,90	29,52	16,28
2013	21,93	19,45	12,33	8,23	7,72	6,18	10,87	13,18	16,58	20,29	26,42	25,23	15,70
2014	24,30	18,35	13,85	8,88	8,81	8,39	9,56	13,73	17,23	22,00	26,77	25,71	16,47
2015	21,72	18,03	11,90	7,48	6,84	6,93	10,28	13,57	18,55	23,13	28,26	26,29	16,08
2016	21,30	20,30	13,50	10,50	7,61	9,10	10,40	14,80	17,80	22,70	26,70	25,00	16,64
T Moymensue	22,44	18,53	12,30	8,97	8,35	8,32	10,33	12,76	17,79	22,51	27,03	27,38	16,39