



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Universitaire Abbés Laghrour Khenchela

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du

DIPLÔME DE MASTER EN ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

OPTION : Protection et décontamination des eaux et des sols pollués

**L'influence des paramètres climatiques sur la qualité
des eaux superficielles du bassin versant
de Foum El Gueiss**

Devant le jury :

Encadreur : Mr. Daifellah Tarek

Présenté par

Président : Mr. Bolaabaiz. M

Bouali Mohamed

Examineurs : Mlle. Dalli

2011/2012

DEDICACES

Merci Dieu le tout puissant qui ma éclairé le chemin de la réussite et du savoir.

Je dédie ce modeste travail à mes très chères parents, avant tous et pour tous, que j'adore et je souhaite toujours les voir à mes côtés :

*A ma très chère mère **Fatma**, symbole de tendresse et de patience.*

*A mon chère père **Amor**, je te remercie infiniment de tes sacrifices.*

A mes très chers frères

*A les enfants **Badro** et **Sifo***

*Je remercie les familles **Bouali**, **Nouna**.*

*A mes amis intimes : **Omar**, **Ramzi**, **Fouad**, **Abdelouaheb**, **Azzedine**, **Alhachemi**,*

MOHAMED

REMERCIEMENT

Je tiens à adresser mes remerciements à toutes les personnes qui ma aidé de prés ou de loin, en particulier :

Monsieur Daif ullah Tarek qui à toujours été prêt à m'aider et surtout critiquer. lui adresse mes sincères remerciements et mes profonds respects.

J'exprime toute ma reconnaissance aux membre de jury pour l'intérêt qu'ils ont prêté à ce travail en acceptant de juger ce travail dans le cadre de ce mémoire de master.

Je remercie tous les enseignants (graduation-post graduation)

Et à tous le personnel administratif de l'institut des Sciences de la nature et de la vie.

Je remercie également le personnel de l'A.N.R.H. de Constantine ainsi que le personnel de la D.P.A.T, S.M, et C.F de Khenchela

A tous merci

 MOHAMED

المخلص

يقع حوض فم القيس في الشمال الشرقي الجزائري هذا الحوض مزود حاليا بمصادر مياه جوفية و كذا سطحية والمتمثلة أساسا في سد فم القيس أغلب استعمالات مياه هذا السد تستغل في النشاط الزراعي (الري)

الغاية من هذا البحث هو دراسة التأثير الشهري للعوامل المناخية على النوعية الكيميائية والفيزيائية لمياه هذا السد وكذا مدى صلاحيتها للري

يتميز حوض فم القيس جيولوجيا من الطي الرملي الحصى مع بعض الطبقات الصلصالية المتوزعة داخل الحوض

المنطقة المدروسة يسودها مناخ شبه جاف يتميز بربيع ممطر وصيف حار وجاف

نوعية المياه جيدة في الأشهر (مارس، أبريل، ماي، جوان ونوفمبر) بنسبة 41.66%، ومقبولة في الأشهر (جانفي، فيفري، جويلية، أوت، سبتمبر، أكتوبر وديسمبر) بنسبة 58.44% وذلك لقلّة ملوحتها من جهة نوعية الصخور وكذا لعوامل مناخية (درجة الحرارة والتساقط) ومنه فإن مياه سد فم القيس صالحة للري

وفي الأخير نشير إلى أن النتائج المحصل عليها أجابت على إشكالية موضوع البحث

RESUME

Le bassin versant de Foug El Gueiss se situe à Nord-Est d'Algérie, Ce bassin possède actuellement des ressources hydriques souterraines et superficielles, l'utilisation des eaux du barrage de Foug El Gueiss sont beaucoup plus pour l'irrigation

L'objectif de ce thème de recherche est l'étude de l'influence temporaire des paramètres climatologiques sur la qualité physico-chimique des eaux à l'irrigation

Les formations d'âge quaternaire se répartissent en totalité dans le bassin versant avec la présence des alluvions récentes constituent par des sables, des graviers et des limons gris

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride, elle est caractérisée par un printemps pluvieux et un été chaud et sec

La qualité chimique de l'eau est bonne à période de (mars, avril, mai, juin, novembre) avec 41.66%, et admissible à période de (janvier, février, juillet, août, septembre, octobre, décembre) avec 58.44 %, résultant d'une faible salinité influencé par la lithologie de la région et les facteurs climatiques (Précipitations et températures), donc les eaux de barrage de Foug El Gueiss conviennent à l'irrigation.

En fin les résultats de cette étude dépendent aux questions évoquées dans la problématique de départ

Liste Des Abreviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

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

CE : Conductivité électrique

DA : Déficit Agricole (mm)

Dd : Densité de drainage (Km/Km^2)

DSA : Direction des Services Agricoles

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)

EX : Excédent en eau du sol (mm)

I : Indice d'aridité

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

K : Perméabilité (m/s)

Kc : L'indice de compacité

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P : Précipitations (mm)

pH : Potentiel d'Hydrogène

Q2 : Quotient pluviométrique

R : Ruissellement (mm)

RFU : Réserve Facilement Utilisable (mm)

SAR : Sodium Absorption Ratio

T : Température ($^{\circ}\text{C}$)

Tc : Temps de concentration (h)

Liste Des Tableaux	Page
Tableau 01 : Caractérisation du barrage de Foum El Gueiss	06
Tableau 02: Surface et Périmètre du bassin versant Foum el Gueiss	07
Tableau 03: La longueur et largeur du bassin versant Foum el Gueiss	07
Tableau 04 : Les indices de pentes du bassin Foum El Gueiss	10
Tableau 05 : La densité de drainage du Bassin versant FOUM EL GUEISS	13
Tableau 06 : Estimation du temps de concentration du bassin versant FOUM EL GUEISS..	13
Tableau 07 : Les espèces forestières de la région d'étude	25
Tableau 08 : Caractéristique de la station de mesure	29
Tableau 09 : La valeur du quotient pluviométrique d'Emberger à la station d'El Hamma (période 1994-2011).....	37
Tableau 10 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'ElHamma pour la période (1994/2011).....	38
Tableau 11 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite	39
Tableau 12 : Bilan hydrologique moyen (1994/2011) à la station d'ElHamma, par la méthode de Thornthwaite	40
Tableau 13 : Répartition des précipitations à la station d'ElHamma	42
Tableau 14 : Variation mensuelle de Température.....	46
Tableau 15 : Variation mensuelle de pH.....	47
Tableau 16 : Variation mensuelle de conductivité électrique	48
Tableau 17 : Variation mensuelle de résidu sec	50

Tableau 18 : Variation mensuelle de concentration de calcium (Ca^{2+}).....	51
Tableau 19 : Variation mensuelle de concentration de Magnésium	52
Tableau 20 : Variation mensuelle de concentration de Sodium	54
Tableau 21 : Variation mensuelle de concentration de Potassium	55
Tableau 22 : Variation mensuelle de concentration de chlorure	56
Tableau 23 : Variation mensuelle de concentration de sulfate	57
Tableau 24 : Variation mensuelle de concentration de bicarbonate	59
Tableau 25 : Variation mensuelle de concentration de nitrate.....	60
Tableau 26 : Faciès chimiques des eaux du bassin versant Foum El Gueiss.....	63
Tableau 27 : Qualité chimiques des eaux du bassin Foum El Gueiss.....	67

La liste des figures

Page

Figure 01 : Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord (Mebarki, 2005).....	03
Figure 02: Situation géographique de la Wilaya de Khenchela.....	04
Figure 03: la situation géographique de la zone d'étude	05
Figure 04 : Rectangle équivalent du bassin versant de FOUM EL GUEISS (MEHEMAI, 2009).....	08
Figure 05 : Courbe Hypsométrique du bassin versant Foum EL-Gueiss (MEHEMAI, 2009)..	09
Figure 07 : Carte des pentes du bassin versant Foum El-Gueiss (MEHEMAI, 2009).....	11
Figure 08 : Carte des réseaux hydrographique du bassin versant Foum EL-Gueiss (MEHEMAI, 2009).....	12
Figure 09 : Carte géologique du Nord d'Algérie (Sonatrach,1990).....	17
Figure 10 : Carte Géologique de la wilaya de Khenchela (Boudabouze et al, 2008).....	18
Figure 11: Carte des sols du piémont Nord-Est des Aurès (Rjaseix-Bellan, 1924).....	22
Figure 12 : Carte des classes de sols de la wilaya de Khenchela (CF, 2011) Modifiée	23
Figure 13 : Carte de la perméabilité du bassin versant Foum EL-Gueiss. (MEHEMAI, 2009).....	24
Figure 14 : Carte des répartitions des principales espèces forestières à l'Est Algérien (TABET, 2008) Modifier	27
Figure 15 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de EL Hamma pour la période 1994/2011	30
Figure 16 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station d'ELHamma pour la période (1994-2011).....	31
Figure 17 : Variation des températures mensuelles à la station d'ELHamma pour la période (1994-2011).....	31
Figure 18 : La carte pluviométrique du piémont Nord-Est des Aurès (MEHEMAI, 2009)....	32
Figure 19 : Evolution des précipitations annuelles à la station d'Elhamma pour la période (1994-2011).....	33
Figure 20 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Elhamma pour la période (1994-2011)	33
Figure 21 : Diagramme ombrothermique de la station d'Elhamma.....	34

Figure 22 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne	36
Figure 23 : Climagramme d'Emberger de la station ELHAMMA	37
Figure 24 : Le régime pluviométrique saisonnier à la Station d'ElHamma pour la période (1994-2011).....	38
Figure 25 : Bilan hydrologique moyen (1994-2011) à la station ElHamma , par la méthode de Thornthwaite.....	41
Figure 26 : Variation mensuelle de la température	46
Figure 27 : Variation mensuelle de pH	48
Figure 28 : Variation mensuelle de conductivité électrique	49
Figure 29 : Variation mensuelle de Résidu Sec	50
Figure 30 : Variation mensuelle du Calcium	52
Figure 31: Variation mensuelle du Magnésium	53
Figure 32 : Variation mensuelle du Sodium	54
Figure 33 : Variation mensuelle du Potassium	55
Figure 34 : Variation mensuelle du Chlorure	57
Figure 35 : Variation mensuelle du Sulfate	58
Figure 36 : Variation mensuelle du Bicarbonate.....	59
Figure 37 : Variation mensuelle du Nitrate	61
Figure 38 : La représentation des échantillons sur le diagramme de Piper pour tous les mois	62
Figure 39 : Diagramme des échantillons de Schoeler-Berkaloff pour tous les mois	63
Figure 40 : Diagramme de Riverside mensuelle pour tous les échantillons	66
Figure 41 : Diagramme de Wilcox pour tous les échantillons.....	67

TABLE DES MATIERES

DEDICACE

REMERCIEMENT

RESUME EN ARABE

RESUME EN FRANÇAIS

LA LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

	Page
Introduction Générale	01
I -Présentation Général	03
I.1 La localisation Géographique du Piémont Nord-Est des Aurès.....	03
I.1.1 Présentation de la wilaya de Khenchela.....	03
I.1.2 Situation géographique	04
I.1.3 Situation du bassin versant Foug EL-Guiess.....	04
I.2 Etude morphologique	06
I.2.1 Paramètres géométriques :.....	06
I.2.1.1 L'indice de compacité (Kc).....	06
I.2.1.2 Le rectangle équivalent	07
I.2.1.3 La courbe hypsométrique.....	08
I.2.1.4 L'indice de pente	10
a) Indice de pente de M. Roche (Ip)	10

b) Indice de pente global (Ig).....	10
I.2.2 Les paramètre morphométriques	11
I.2.2.1 Le réseau hydrographique	11
I.2.2.2 Calcul des paramètres.....	12
I.3 Conclusion	14

CHAPITRE II : GEOLOGIE

II.1 Introduction.....	15
II.2 Description Lithologique Des Formations.....	15
II.2.1 Trias	15
II.2.2 Jurassique.....	15
II.2.3 –Crétacé.....	15
II.2.4 Miocène.....	16
II.2.5 Quaternaires.....	17
II.3 Tectonique.....	17
II.4 CONCLUSION	19

CHAPITRE III : PEDOLOGIE ET COUVERTE VEGETALE

II.1 Introduction	20
II.2 Les types des sols dans la wilaya de Khenchela	20
II.2.1 Les sols salins.....	20
II.2.2 Les sols Alluviaux.....	20
II.2.3 Les sols Calcimagnésiques	21
II.2.4 Sols Insaturés.....	21
II.2.5 Les types des sols dans la région de Kais (zone d'étude).....	22
II.3 La perméabilité.....	23
II.3.1 Les formations à perméabilité forte (forte capacité de rétention).....	23
II.3.2 Les formations à perméabilité moyenne (moyenne capacité de rétention).....	24
II.3.3 Les formations à perméabilité faible (faible capacité de rétention).....	24

II.4 La végétation	24
II.4.1 Les types de couvertures végétales.....	24
II.5 Conclusion	28

CHAPITRE IV : CLIMATOLOGIE

IV.1 Introduction.....	29
IV.2 La station de mesures.....	29
IV.3 Etude Des Facteurs Climatiques.....	30
IV.3.1 La température	30
IV.3.1.1 Variations des températures moyennes annuelles	30
IV.3.1.2 Variations de la température moyenne mensuelle	30
IV.3.2 La pluviométrie.....	32
IV.3.2.1 Variations interannuelles des précipitations	32
IV.3.2.2 Variations moyennes mensuelles des précipitations	33
IV.4 Caractérisation Du Climat.....	34
IV.4.1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	34
IV.4.2 Indice d'aridité	35
IV.4.2.1 Indice de DE Martonne	35
IV.4.3 Le diagramme de L. Emberger	36
IV.4.4 Le régime saisonnier	37
IV.5 Estimation De L'évapotranspiration.....	39
IV.5.1 ETP (Évapotranspiration potentielle).....	39
IV.5.2 ETR (Évapotranspiration réelle).....	40
IV.6 Calcul Du Bilan Hydrologique Par La Méthode De Thornthwaite.....	40
IV.6.1 Interprétation du bilan hydrologique.....	41
IV.7 Ruissellement R (mm)	42

IV.8 L'infiltration I (mm).....	42
IV.9 Conclusion	43

CHAPITRE V : HYDROCHIMIE

V.1 Introduction	44
V.2 Etude Des Paramètres Physico-Chimiques	45
V.2.1 Les paramètres physiques	45
V.2.1.1 La Température (T).....	45
V.2.1.2 Potentiel d'Hydrogène (pH)	47
V.2.1.3 Conductivité (CE).....	48
V.2.1.4 Le résidu sec (Rs).....	49
V.2.2 Les paramètres chimiques	51
V.2.2.1 Les Cations.....	51
V.2.2.1.1 Le calcium (Ca ⁺⁺).....	51
V.2.2.1.2 Magnésium (Mg ⁺⁺).....	52
V.2.2.1.3 Sodium (Na ⁺⁺).....	53
V.2.2.1.4 Potassium (K ⁺)	55
V.2.2.2 Les anions.....	56
V.2.2.2.1 Les Chlorures (Cl ⁻)	56
V.2.2.2.2 Les sulfates (SO ₄ ⁻)	57
V.2.2.2.3 Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	58
V.2.2.2.4 Le nitrate (NO ₃ ⁻).....	60
V.3 Détermination Des Principaux Facies Hydrochimique.....	61
V.3.1 Représentation graphique des faciès hydrochimique	61

V.3.1.1 Diagramme de Piper	61
V.3.1.2 Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	63
V.4 Aptitude Des Eaux A L'irrigation	64
V.4.1 Caractérisation des eaux pour l'irrigation.....	64
V.4.1.1 Classification des eaux par la méthode de Wilcox	65
V.4.1.2 Classification des eaux par la méthode de Riverside	65
V.5 Conclusion.....	68
Conclusion Générale.....	69

REFERENCES

Introduction Générale

L'eau représente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant, c'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique, depuis l'aube de l'humanité.

Les dernières décennies ont été caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants. L'utilisation de l'eau est liée aux activités économiques. La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion (Kadi, 1997).

La région d'étude (Bassin versant de Foug El Geiss) se situe au Nord Ouest de la ville de Khenchela. Ce bassin s'étale sur une superficie de 156 km².

Ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quelle est la variabilité temporaire quantitative des éléments majeurs ?
- Quels sont les principaux faciès chimiques des eaux de barrage ?
- Quel est la qualité chimique des eaux superficielles du bassin versant ?
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques du bassin ?

Ce travail donne beaucoup plus d'importance à l'aptitude de l'eau pour l'irrigation dans le bassin versant

Afin de répondre à ces préoccupations, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- Un aperçu géographique de la région
- Une étude du cadre géologique consistera à définir la lithologie des formations constituant la région
- Une étude hydro-climatologique permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant le bassin versant

- Une étude hydro-chimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux superficielles, Il sera également apprécié la qualité des eaux superficielles du point de vue potabilité et aptitude à l'irrigation.

Chapitre : I

Cadre Général

I -Présentation Général

I.1 La localisation Géographique du Piémont Nord-Est des Aurès

Le piémont Nord-Est des Aurès est constitué d'un couloir dominé par une chaîne de montagnes du massif des Aurès leur originalité réside dans la permanence du phénomène l'endoréisme qui est traduit par le développement d'une multitude de Sebkhass (Garaâs) occupant le centre des plaines qui constituent de ce fait leur niveau de base géomorphologique et leur exutoire hydrologique.

Le piémont Nord-Est des Aurès fait partie du bassin versant des "HAUTS PLATEAUX CONSTANTINOIS " (Carte N°01).

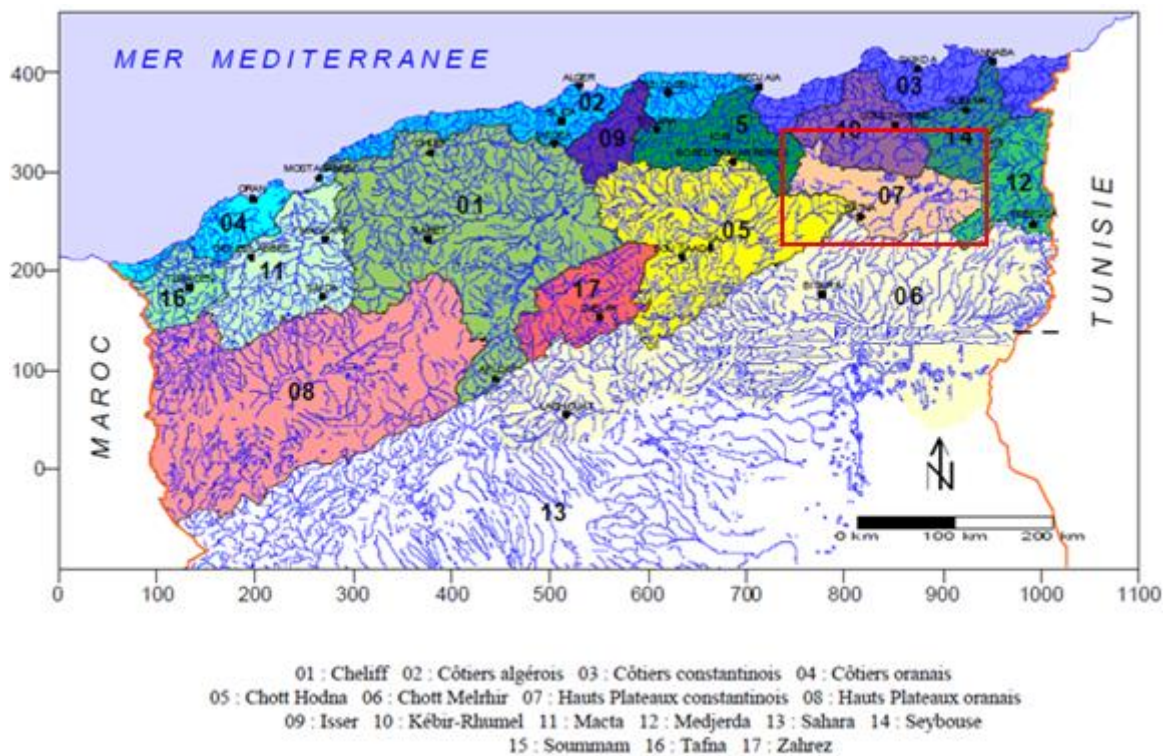


Figure 01 : Bassins hydrographiques de l'Algérie du Nord (Mebariki, 2005)

I.1.1 Présentation de la wilaya de Khenchela

I.1.2 Situation géographique

La région de Khenchela est située au Nord de l'Algérie, au Sud-Est du constantinois ; et au contrefort du mont des Aurès entre 34° 06' 36'' et 35° 41' 21'' latitudes Nord ; et entre

06°34'12'' et 07°35'56'' de longitudes Est, s'étend sur une superficie de 9715,6 km² (Khabthane, 2010).

La population dans la Wilaya de Khenchela s'élève à un quatre cent six milles six cent quatre vingt dix (406.690) habitants (DPAT, 2011).

Elle est composée de 21 communes et 08 daïra ; et limitée géographiquement au :

- Nord : par la Wilaya d'Oum El Bouaghi
- Sud : par la Wilaya d'El Oued
- Est: par la Wilaya de Tébessa
- Ouest: par la Wilaya de Batna.
- Sud- Ouest : par la Wilaya de Biskra

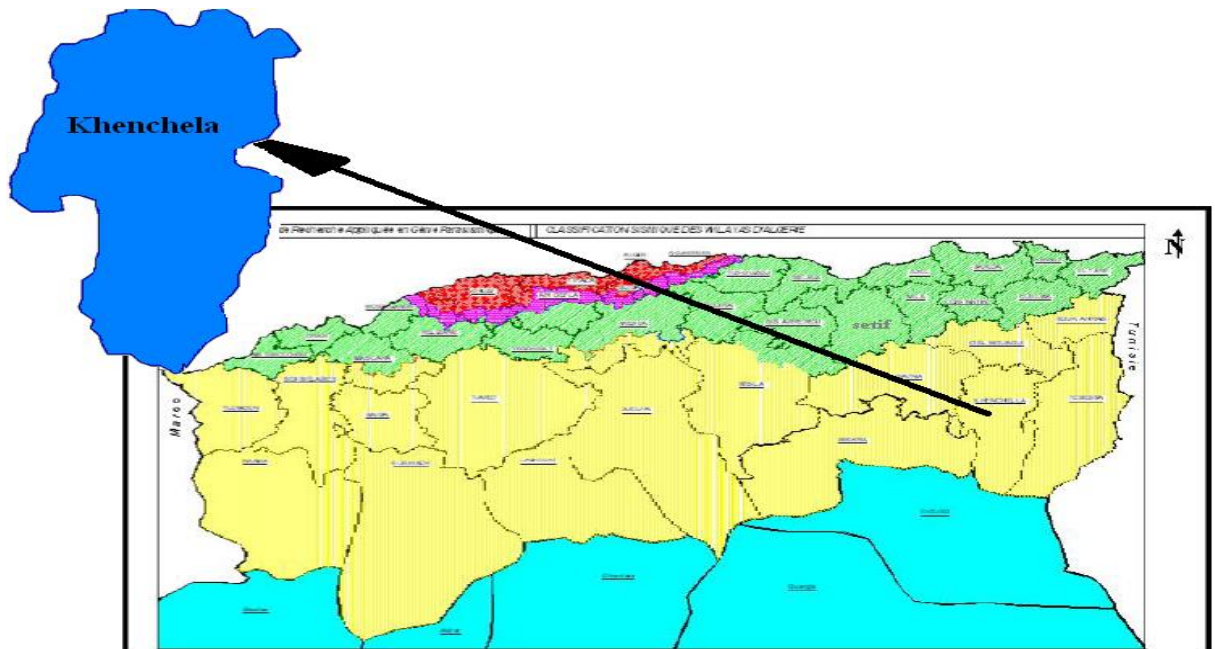


Figure 02: Situation géographique de la Wilaya de Khenchela (Modifiée)

I .1.3 Situation du bassin versant Foug EL-Guies

Notre zone d'étude se situe à Kais qui s'éloigne de 20 km de la wilaya de Khenchela.

C'est une partie essentielle qui forme le bassin versant N°07 (Hauts Plateaux Constantinois)

La zone est limitée par :

- Au Nord : R'mila

-Au sud : Ain mimoune

-A l'ouest : Taouziente et Bouhmama

-Al' Est : El hamma.

a) Les coordonnées géographiques de la région d'étude

Latitude : 35°28'N

-□Longitude : 6°55'E

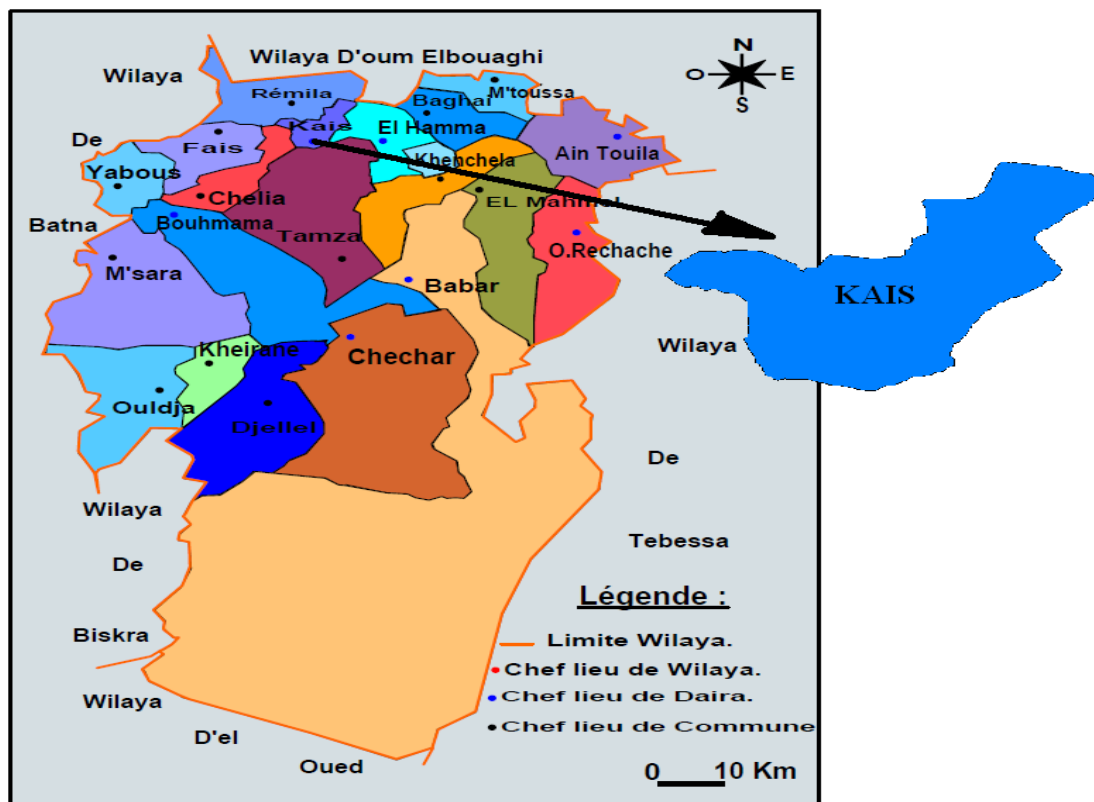


Figure 03: la situation géographique de la zone d'étude

Tableau 01 : Caractérisation du barrage de Foug El Gueiss

Source : Fiche Technique du barrage

Wilaya	Khenchela
Commune	Kais
Oued	Gueiss
Type	Encrochements avec masque en béton
Deversoir	A seuil libre non vane
Debut et fin des travaux	1932-1936
Annee mise en eau	1938-1939
Capacite initiale	2.5 HM ³
Annee de la 1 ^{ère} surlevation	1969
Capacite supplémentaire apres la 1 ^{ère} surlevation	0.90 HM ³
Annee de la 2 ^{ème} surlevation	2005
Capacite apres la surlevation	0.605 HM ³
Capacite derniere leve bathy 2005	0.045 HM ³
Apport moyens anueil	11.3 HM ³
Precipitation moyenne annuelle	409mm
Envasement annuelle	0.03HM ³
Volume regularise	3.2 HM ³
Cote retenu normal	961.90 M
Surfece bassin versant	156 km ²

I.2 Etude morphologique

Deux types de paramètres caractérisent le milieu physique, les uns sont géométriques les autres morphométriques.

I.2.1 Paramètres géométriques :

La caractérisation géométrique d'un bassin versant peut être abordée à l'aide de certains indices caractéristiques quantitatifs.

Ces indices nécessitent d'abord la connaissance et la mesure de deux paramètres de base indispensables, en l'occurrence, la surface du bassin et son périmètre.

La surface et le périmètre sont obtenues par l'utilisation (logiciel mapinfo, version 8)

Tableau 02 : Surface et Périmètre du bassin versant Foum el Gueiss

Surface (Km ²)	156
Périmètre (m)	53

I.2.1.1 L'indice de compacité (Kc)

Le compteur d'un bassin versant englobe une superficie (S), qui a une certaine forme, laquelle va avoir une influence sur l'écoulement global et sur l'allure de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie donnée. Un bassin longiligne ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme arrondie.

La compacité d'un bassin versant influe fortement sur le temps de réponse du bassin versant lors d'une crue c'est-à-dire le temps de concentration de la crue.

$$K_c = \frac{P}{\sqrt{S}} \times 0.28$$

Les valeurs de Kc obtenues montrent que le B.V de Foum El-Gueiss tend vers une forme plus au moins ramassée.

I.2.1.2 Le rectangle équivalent

Le rectangle équivalent se réduit à un carré pour une compacité C=1,12. Sa notion est admissible car pratiquement très peu des bassins ont des compacités inférieures à 1,12 (Fig n°04) et (Tableau n°03) ; on calcule sa longueur « L » en appliquant :

$$\mathbf{L} = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} + 1 \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \quad \mathbf{l} = \frac{P}{2} - L .$$

(BELLOULA, 2008)

Tableau 03: La longueur et largeur du bassin versant Foum el Gueiss

L (Km)	17.75
l (Km)	8.78

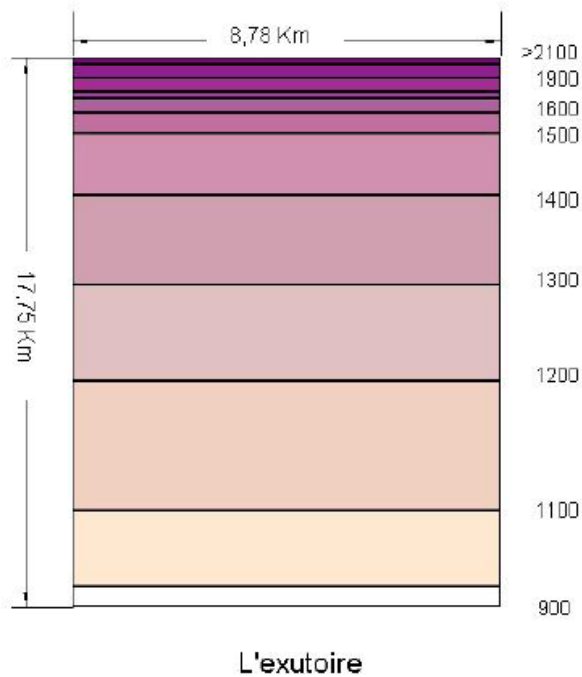


Figure 04 : Rectangle équivalent du bassin versant de FOUM EL GUEISS (MEHEMAI, 2009)

I.2.1.3 La courbe hypsométrique:

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief et représente la répartition des surfaces en fonction de ses altitudes.

Cette courbe est obtenue en portant :

- En abscisses, la surface partielle du bassin versant
- En ordonnées : l'altitude considérée

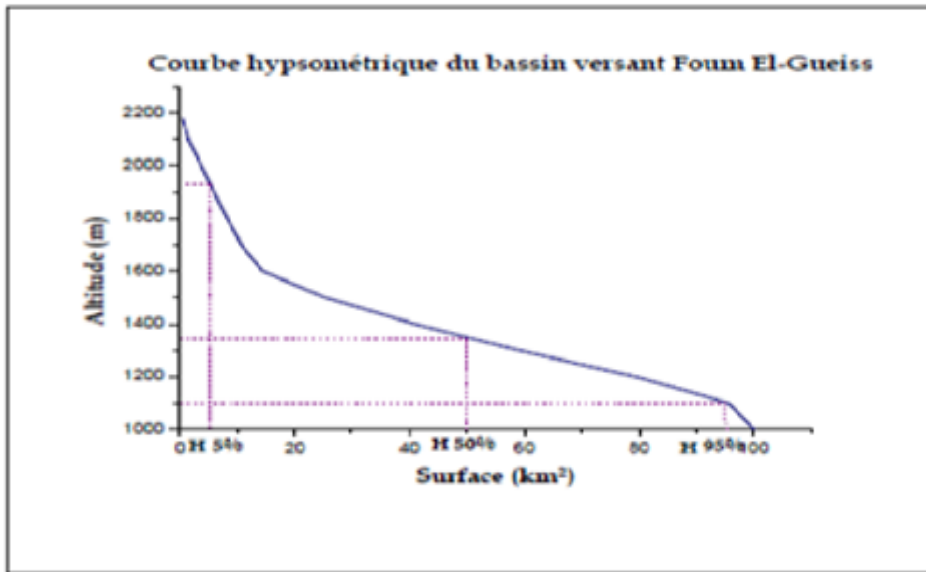


Figure 05 : Courbe Hypsométrique du bassin versant Foum EL-Gueiss (MEHEMAI, 2009)

A partir de cette courbe on détermine :

- L'altitude à 95 % de la surface, (H 95) = 1044.10m
- L'altitude à 5 % de la surface, (H 5) = 1838.36 m
- L'altitude médiane, (H 50) = 1302.62m
- L'altitude moyenne est ainsi définie :

$$\bar{H} = \frac{\sum S_i \times H_i}{S}$$

$$H = 1300.30 \text{ m}$$

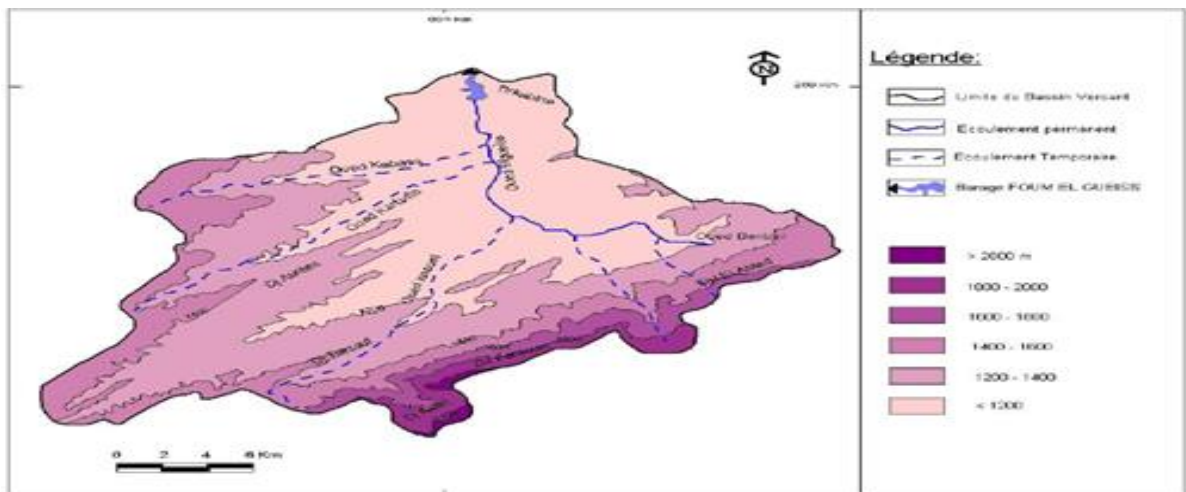


Figure 06 : Carte hypsométrique du bassin versant FOUM EL GUIESS (MEHEMAI, 2009)

I.2.1.4 L'indice de pente

Le relief par sa configuration joue un rôle important vis-à-vis de l'aptitude des différents terrains au ruissellement, elle exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue.

c) Indice de pente de M. Roche (I_p) :

Cet indice montre l'influence du facteur de pente sur le régime hydrologique du bassin versant. Il est défini comme suit :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^N a_i \cdot d_i .$$

L : longueur du rectangle équivalent.

d) Indice de pente global (I_g) :

Sur la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de (A), On aura les altitudes ($H_{5\%}$) et ($H_{95\%}$) entre lesquelles s'inscrit 90% de la surface du bassin, et la dénivelée. (Tableau n°04).

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} . \quad I_g = \frac{D}{L} . \quad (\text{BELLOULA, 2008})$$

Tableau 04: Les indices de pentes du bassin Foum El Gueiss

Indice de pente	B.V FOU M EL-GUEISS
Indice de pente M . ROCHE I_p	4.47
Indice de pente globale I_g (m/Km)	44.74
Indice de pente moyenne I_m (m/Km)	68.28
Dénivelée spécifique D_s (m)	558.80

D'après la classification de L' ORSTON, le bassin versant de FOU M EL GUEISS présente un relief très fort : $D > 500 \text{ m}$.

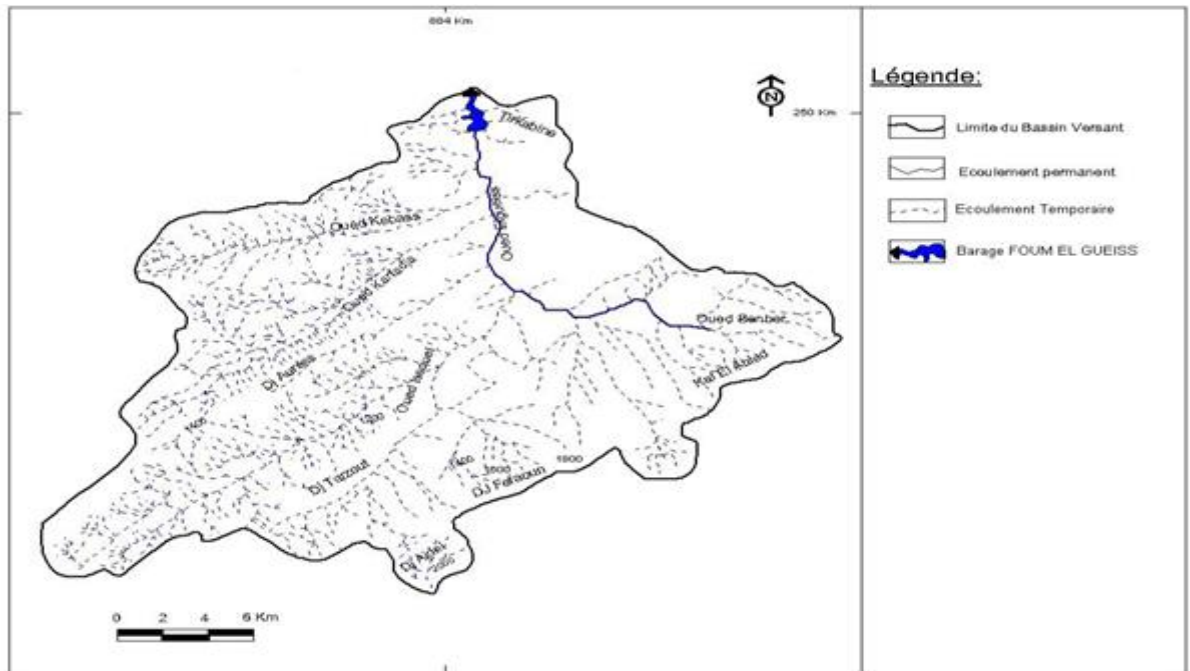


Figure 08 : Carte des réseaux hydrographique du bassin versant Foum EL-Gueiss (MEHEMAI, 2009)

I.2.2.2 Calcul des paramètres

a) La densité de drainage :

La densité de drainage est définie pour un bassin donné de superficie S, comme la longueur totale des cours d'eau de tout ordre sur la surface drainée:

$$Dd = \frac{\sum_{x=1}^n Lx}{S} \quad (\text{Km/km}^2)$$

La densité de drainage est généralement élevée (2,51) pour l'ensemble d'OUED FOU M EL-GUEISS ce qui est la caractéristique des régions semi-aride où les facteurs de couvert végétal, la pente et la lithologie favorisent la dessiccation du relief et l'accentuation du phénomène érosif.

b) Coefficient de torrentialité :

Le coefficient de torrentialité tient compte de la densité de drainage et de la densité du thalweg élémentaire d'ordre 1. Il est égale au produit de ces derniers.

$$C_t = F_1 \times Dd$$

Tableau 05 : La densité de drainage du Bassin versant FOUM EL GUEISS

F1	3.88
Dd	9.85

c) Le temps de concentration (Tc) :

Physiquement, il correspond au temps que met la goutte d'eau la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci il se mesure de la fin de la pluie efficace à la fin de l'écoulement superficiel.

L'estimation opérationnelle, de ce temps de concentration, ne peut-être obtenue qu'à partir de nombreuses formules empiriques, dont nous ne citons ci-après la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Tableau 06 : Estimation du temps de concentration du bassin versant FOUM EL GUEISS

Estimation du temps de concentration du bassin versant FOUM EL GUEISS		
Superficie du BV: S=	156	Km ²
Longueur du talweg principal : L=	17.5	Km
Altitude minimale en aval du talweg principal : Hmin=	965	M
Altitude moyenne sur le versant H moy=	1300.30	M
Tc =	5.20 heures	5 h 12 m

I.3 Conclusion

A l'issue de ce Chapitre on conclut que :

- le relief de bassin de Foum el Gueiss est très fort $D > 500$ m
- les valeurs d'indice de compacité (K_c) obtenues montrent que le B.Vde Foum El-Gueiss tend vers une forme plus au moins ramassée
- Les secteurs montagneux qui présentent des caractéristiques morphologiques favorables à la genèse et la propagation des crues ; les secteurs de piémont ont degré moindre ; alors que les secteurs de plaines sont le siège d'une accumulation des dépôts détritiques où les conditions d'écoulement sont défavorables au ruissellement
- Les caractéristiques physiques et morphométriques permettent de mieux connaître le bassin versant étudié (sa topographie, son réseau hydrographique...etc.) et son comportement vis-à-vis de l'écoulement liquide et solide surtout en période de crue
- La densité de drainage (D_d) est beaucoup plus élevée se qui traduit de la nature de la region
- le temps de concentration est élevée (T_c) à cause de la nature du bassin versant FOUM EL GUEISS (paramètres géométriques).

Chapitre : II

Géologie

II.1 Introduction

Les caractères hydrologiques d'un bassin versant sont dans une large mesure influencée par la capacité qu'ont les roches et les sols qui en dérivent d'absorber l'eau et de la retenir de manière temporaire. La capacité de stockage que possèdent les nappes phréatiques conditionne l'importance relative de l'écoulement de base des cours d'eau par rapports à l'écoulement total.

L'étude géologique d'un bassin versant a pour but de déterminer la perméabilité de substratum. Celle-ci intervient sur la vitesse de montée des crues.

Un bassin à substratum imperméable présente une crue plus rapide et plus violente qu'un bassin à substratum perméable soumis à une même averse.

La synthèse géologique est réalisée sur la base de :

- La carte géologique de Khenchla
- la carte géologique du Nord Algérien

II.2 DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES FORMATIONS

II.2.1 Trias :

Cet étage est caractérisé par la présence de marne accompagnée de gypse et de sel gemme, et se situe sur les flancs des anticlinaux.

Le Trias affleure en masse chaotique, sans aucune stratification. Dans ces masses, divers éléments sont reconnaissable (dolomies noires, grès, gypses marneux et gypses fibreux) et emballés dans des argilites vertes.

Les pointements Triasiques sont en contact anormal à Khenchela avec l'Aptien, le Cénomaniens et le Coniacien.(MEHEMAI, 2009)

II.2.2 Jurassique

Il s'agit des marnes, des calcaires marneux et des dolomies, constituant la succession de cet étage.

La partie supérieure est constituée de calcaire de plus en plus dolomitique jusqu'à la dolomie pure

II.2.3 -Crétacé

II.2.3.1 L'aptien

Caractérisé par la large présence des faciès carbonates (dolomie et calcaire dolomitique)

II.2.3.2 L'albien

Où son épaisseur est entre 400-500m présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès, les marnes constituent la base, les calcaires sont développés au sommet(MEHEMAI, 2009).

II.2.3.3 Cénomanién supérieur

Ce sont des calcaires marneux gris-bleus à cassures noirâtres en bancs métrique.

II.2.3.4 Turonien

Occupé à l'affleurement les plus grandes surfaces de l'Aurès pendage faible. Il est présenté par les calcaires à rudistes et des marno-calcaires. L'épaisseur de l'étage varie de 100 à 300 mètres dans faciès à rudistes et atteint 800 m et plus dans faciès calcaires marneux.

II.2.3.5 Coniacien

Formé de marne grise et de marno-calcaire.

II.2.3.6 Santonien

C'est un faciès marneux: marnes gris-bleu et calcaires marneux.

II.2.3.7 Campanien

Formé de marnes et de calcaires crayeux.

II.2.4 Miocène

Le miocène marin surmonte dans l'Aurès des assises d'origine continentale comprenant:

- A la base des argiles rouges
- Au dessus des grès ou sable bruns ou rouge
- Au sommet des poudingues rouge

-II.2.4.1 Langhien-serravalien

Formé des marnes, biomicrites; bio micros-parités et grès blanc.

II.2.4.2 Tortonien gréseux blanc grossier

Formé de l'argile siltenses à grès blancs grossiers en bômes pluri métriques, à abondantes dragées de quartz.

II.2.5 Quaternaires

Les formations récentes sont aussi largement répandues à la périphérie de l'Aurès; ils sont rares dans le centre massif des Aurès, ils sont représentés uniquement par des éboulis et des terrasses; tandis qu'ils forment en périphérie de large et épaisses nappes alluviales.

II.2.5 .1 Alluvion récentes au actuelles

Ces formations sont limitées aux zones basses, à l'oued Issouel qui aboutit au Barrage deFoum el Gueiss, et à l'oued Ras Serdoun. Ce sont des sables, des graviers et des limons gris de gros galets émoussés calcaires ou gréseux.

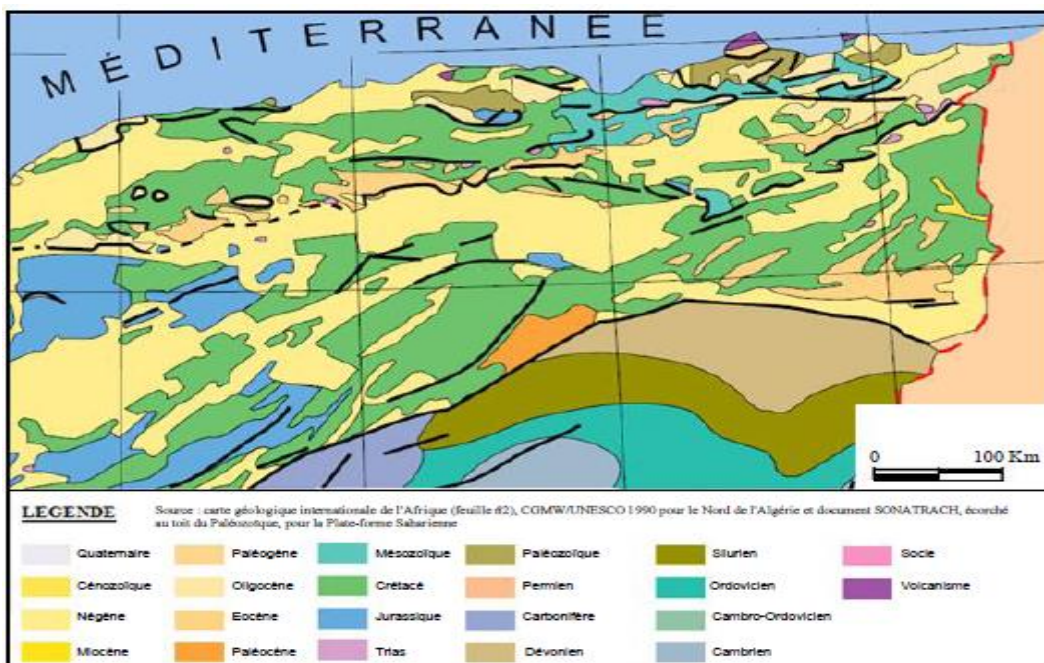


Figure09 : Carte géologique du Nord d'Algérie (SONATRACH, 1990)

II.3 Tectonique

Le piémont Nord-Est des Aurès se trouve dans le Nord-Est de l'Algérie, sur la bordure Nord de la plaque Africaine, le long de sa zone de contact avec la plaque eurasiatique au Nord.

Depuis le Trias jusqu'à l'Actuel, l'Atlas Saharien a subi plusieurs épisodes successifs

de subsidence et de soulèvement, en relation avec les mouvements relatifs de plaque tectoniques,

Ce qui indique un changement dans la dynamique d'écoulement. Cette mobilité tectonique apparaît dans les structures suivantes:

- Le synclinal du Djebel l'Aurès, pli dissymétrique avec un flanc long au NO et un flanc court au SE.
- L'anticlinal de Khenchela.
- Le synclinal du Djebel Djehfa.
- L'anticlinal du Djebel Chélia.

Ces plis dont l'expression morphologique constitue les reliefs au Sud du Barrage de Fom El-Gueiss et Koudiat Medouar sont formés à la faveur de failles dont la direction est parallèle à elle des axes de plis.

La transition entre la plaine des Sabkhas et les reliefs de l'Aurès est matérialisée par un piémont de grès miocène (Tortonien) discordants sur les calcaires cénomaniens de l'anticlinal du Djebel Chélia.

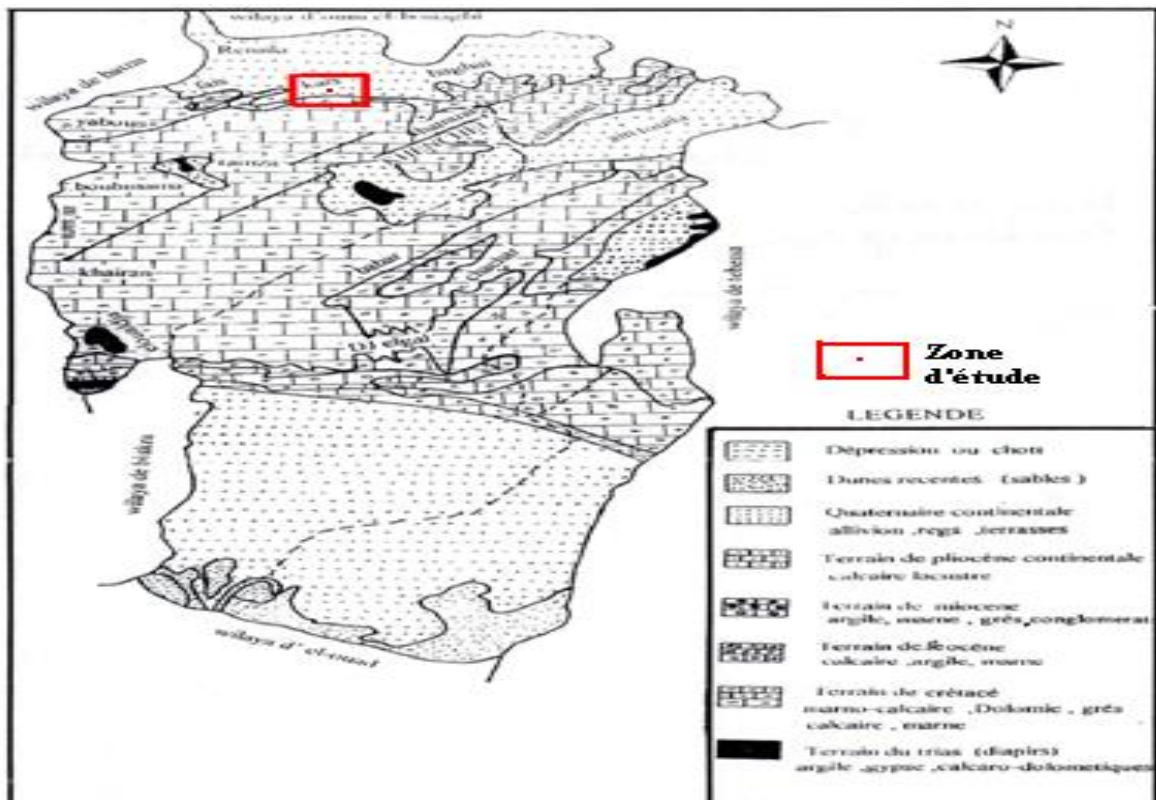


Figure 10: Carte Géologique de la wilaya de Khenchela (Boudabouze et al, 2008).

II.4 Conclusion

Le bassin versant de Foum El-Gueiss se caractérise géologiquement par :

- Sa localisation dans les hautes plaines constantinoises
- Le trias est constitué par des couches des marnes accompagnées de gypse et de sel gemme
- Le Jurassique se forme par des calcaires marneux et de dolomies
- Les formations d'âge quaternaire se répartissent en totalité dans le bassin versant
- Les Alluvions récentes constituent par des sables, des graviers et des limons gris de gros galets émoussés calcaires ou gréseux
- Alluvions récentes sont limitées aux zones basses, Oued Issouel qui aboutit au barrage de Foum el Gueiss
- Les plis anticlinaux (Khenchela, Chélia) et le pli synclinal (Djebel de djehfah) sont morphologiquement constitués des reliefs au sud de barrage de Foum el Gueiss
- A partir de la lithologie des formations géologiques, on peut avoir une idée sur la qualité des eaux
- Les calcaires donnent un faciès généralement bicarbonaté calcique ou magnésique
- Les marnes donnent un faciès sulfatés
- Les alluvions donnent plusieurs faciès non salés.

Chapitre: III

Pédologie et Couverte Végétale

II.1 Introduction

L'étude des caractéristiques des sols ou l'étude pédologique de la zone d'étude est très importante dans notre travail, à cet effet, la carte n°(11) représente la répartition spatiale des différents types de sol dans le piémont Nord-Est des Aurès. (MEHEMAI, 2009)

La région de Khenchela présente des potentialités appréciables par ces caractéristiques physiologiques (topographiques, hydrographiques et hydrologiques) et pédologiques générales, qu'il est possible de mettre à profit et de valoriser.

Ce présent chapitre est réservé à la présentation des différentes caractéristiques des grandes classes des sols et la répartition des principales espèces forestières de la région

II.2 Les types des sols dans la wilaya de Khenchela

II.2.1 Les sols salins (Solontchaks)

Les sols salins sont localisés dans les dépressions, occupant ainsi les Sebkhass et les chotts et leur extensions à savoir, Sebkhass Garaât-Et-Taraf, Chat-El-Maleh, Chatt zahar au Nord de la ville de Khenchela, toute fois d'autres Sebkhass se sont formés au Nord-Est de la ville, ces dépressions sont inondées surtout en hiver lors des fortes pluies.

Ces sols sont soumis à l'influence d'une nappe salée peu profonde, riche en sels de sodium, la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée est supérieure à 4 ds/m à 25°C, le sel remonte par ascension capillaire et forme souvent des efflorescences blanches en surface.

II.2.2 Les sols Alluviaux

Ces sols sont observés essentiellement au Nord-Ouest, Nord-Est de la ville de Khenchela entourant les extrémités des sebkhass occupant des glacis et terrasses, d'une pente variable entre 2 à 4%, ainsi que dans les terrasses alluviales le long des sebkhass.

Ces sols se localisent généralement dans le lit majeur des oueds où ils sont souvent rajeunis par les dépôts de matériaux neufs en période d'inondation.

Ils sont caractérisés par la présence d'une nappe phréatique, qui circule et n'est donc pas réductrice et qui subit de fortes oscillations.

La perméabilité des sols alluviaux dépend étroitement des caractères des matériaux, de sa granulométrie, ainsi que de la topographie des terres et la profondeur de la nappe.

Sur les berges des oueds, se forme un bourrelet qui retient l'eau de moins en moins renouvelée dans les dépressions latérales ainsi isolées, on observe alors la succession dans l'espace :

- Sols alluviaux gris dans les zones inondées à côté des oueds,
- Sols brun alluviaux sur les bourrelets, et les sols hydromorphes alluviaux dans les

dépressions marécageuses

II.2.3 Les sols Calcimagnésiques

II.2.3.1 Sols bruns Calcaires ou Calciques

Les sols calcimagnésiques occupent une surface plus importante, ils sont rencontrés dans tout le piémont, dans le versant de Dj Amrane, Dj Mahmel.

Ils sont situés sur les glacis à croûte calcaire et encroûtement, selon des profondeurs et occupe la plaine de la wilaya de Khenchela.

-Des sols évolués sur calcaire marneux

-Sols carbonatés calciques.

-Sols caractérisés par une texture argileuse, et un taux important en Ca Co_3 , les propriétés physiques sont très variables suivant l'épaisseur et la nature de la terre fine et la quantité de cailloux que contient le profil.

II.2.4 Sols Insaturés

Les sols insaturés occupent le sommet des versants de Djebel Chélia et Djebel Aidel, ce sont des sols qui occupent de fortes pentes d'où un drainage parfait et un risque d'inondation très faible

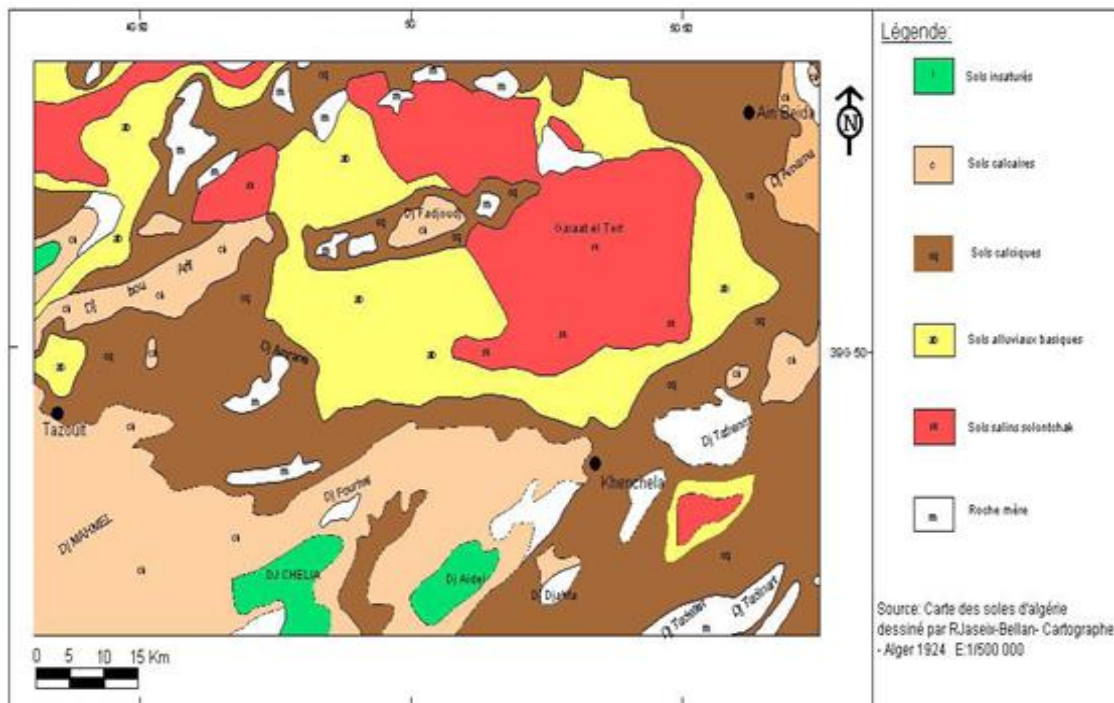


Figure 11: Carte des sols du piémont Nord-Est des Aurès (Rjaseix-Bellan, 1924)

II.2.5 2 Les types des sols dans la région de Kais (zone d'étude)

L'étude pédologique du périmètre de Kais a été réalisée par M.AISSOUG en 1971, les sols de la pinède de cette région sont calcimorphes, la couche d'humus est peu développée; ce qui explique le surpâturage, les incendies et l'érosion qui en résultent

Le sol est caillouteux; il est commun de trouver beaucoup de pierres de différentes tailles, tout aussi bien en surface qu'à l'intérieur des profils.

Les sols les plus fréquents sont des Rendzines (sol calci-morphe).

Les sols bruns calcaires sont rares, sur des versants fortement inclinés, tout comme ailleurs, on trouve des Lithosols (c'est-à-dire des sols squelettiques pleins de cailloux)

Généralement les sols sont superficiels, la profondeur est moyenne et inférieure à 20 cm, sauf dans les vallées et les terrains plats.

L'érosion est forte par endroit, par suite de l'absence d'humus, ce qui expose le sol directement à l'impact des gouttes de pluies.

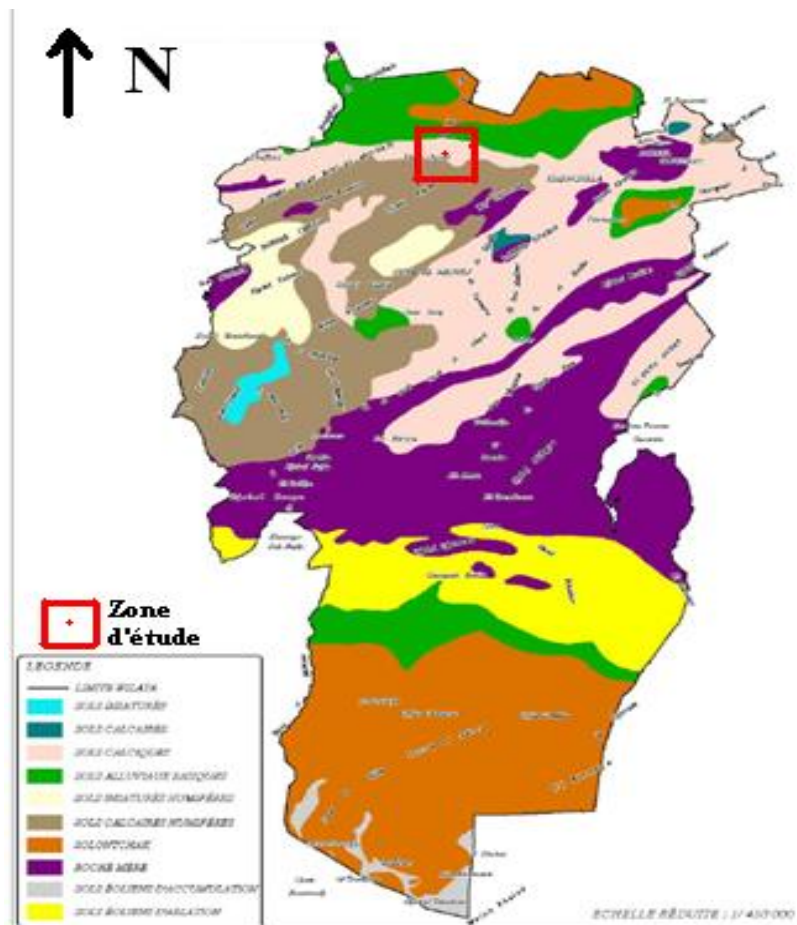


Figure 12 : Carte des classes de sols de la wilaya de Khenchela (CF, 2011) Modifiée

II.3 La perméabilité:

Pour décrire les principales formations lithologiques et préciser leurs capacités de rétention, il convient de les regrouper en des ensembles lithologiques en tenant compte à la fois de la perméabilité ou de fissures des roches et de leurs extensions. (MEHEMAI, 2009) Ainsi en distingue :

II.3.1 Les formations à perméabilité forte (forte capacité de rétention)

On regroupe sous cette classe les roches réservoirs calcaires (fissuré), les formations quaternaires, leur extension est surtout dans les montagnes de Kouanana et l'Aurès.

II.3.2 Les formations à perméabilité moyenne (moyenne capacité de rétention)

On regroupe sous cette classe les formations gréseuses les formations marneuses calcaires, des formations occupent la plus grande superficie de la zone d'étude, elles affleurent essentiellement dans les secteurs montagneux.

II.3.3 Les formations à perméabilité faible (faible capacité de rétention)

Cet ensemble regroupe le reste des formations dont la nature lithologiques est très variée, mais ce sont les séries à dominance argileuse ou marneuse du mio-pliocène, et du crétacé qui sont les plus largement représentées de la surface totale.

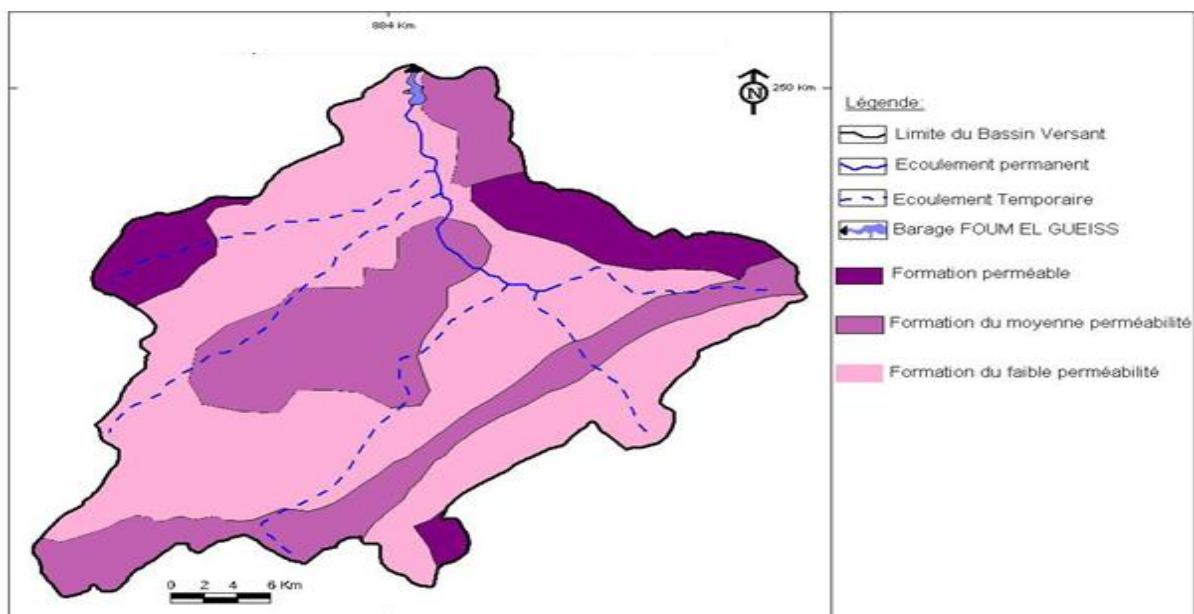


Figure 13 : Carte de la perméabilité du bassin versant Foum EL-Guieiss. (MEHEMAI, 2009)

II.4 La végétation

II.4.1 Les types de couvertures végétales

La végétation est assez fidèle à la nature des faciès géologiques marnes, marnes gris, marno-calcaires, caractérisent notre bassin versant. (Mekkaoui S et Samri H, 2009)

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluviale, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration (MEKKAOUI, SAMRI, 2009), elle présente un rôle indispensable pour, la genèse des sols, elle peut participer dans le processus d'accumulation de calcaire.

On peut distinguer la répartition des différents types de végétations de la région de Ain Mimoun, la zone d'étude renferme un ensemble d'espèce végétal comme; le cèdre, le pin d'Alep, le chêne vert et Genévrier.

***Le cèdre (*Cedrus atlantica*)**

Il se localise au niveau des hautes altitudes.

***Le pin d'Alep (*Pinus Halepensis*)**

Il se localise au sud de la zone et au centre du massif sur le synclinal de Djebel Aurès, out autour du centre de Ain Mimoun.

Il se développe mieux sur les sols marneux (profond) que sur les sols calcaires

***Le chêne vert (*Quercus Ilex*)**

Il est localisé au Nord de la zone d'étude, il se présente sous forme de maquis avec de nombreuses espèces de faibles dimensions.

***Le genévrier de Phénicie (*Juniperus Phoenicea*)**

Il se trouve surtout dans les endroits dégradés et très secs, dans les zones Sud-ouest du bassin versant.

On peut trouver d'autres espèces végétales dans le périmètre d'étude.

Tableau 07: Les espèces forestières de la région d'étude

(Source : la flore d'Algérie Quezel et SANTA, 1963)

N° d'espèce	Nom scientifique	Famille
01	<i>Cynoglossum cheirifolium</i> L	Boraginacees
02	<i>Paronychia argentea</i>	Cayophyllacees
03	<i>Paronychia capitata</i>	
04	<i>Atriplex halimus</i> L	Chenopodiacees
05	<i>Ziziphus lotus</i>	
06	<i>Halianthemum canu</i>	Cistacees
07	<i>Halianthemum virgatum</i>	
08	<i>Artimisia herba alba</i> ;(Armoise)	Composacees
09	<i>Cardonem</i> sp ; (chardonne)	
10	<i>Cenataurea incana</i>	
11	<i>Cupressus sempervivens</i> L ; (Cyprés)	Cupressacées
12	<i>Junipersus oxycedrus</i> (genevrien oxycèdes)	
13	<i>Daphnia</i> sp (dophnie gnudium)	Daphnoidées
14	<i>Euphorbia helioscopia</i> L, (Guphorbe)	Euphorbiacées
15	<i>Queransilex</i> (chêne vert)	Fagacées
16	<i>Bonium</i> sp	Glubelifées
17	<i>Avena fantal</i> ; (avaine sp1)	Graminées
18	<i>Bramus Scoparins</i> L	
19	<i>Bramus Squarrosns</i> L	
20	<i>Rosmarinus off : sinalis</i> (Romarin off : cinal)	Labiacées
21	<i>Rosmarinus tourney fortii</i> (Romarin off : sp)	
22	<i>Thymus algeriensis</i> ; Thym sp	
23	<i>Génista cephalanta</i>	Léguminenses
24	<i>Jasminum font : cons</i> ; (jasmin esp)	Oléacées
25	<i>Stipa tenacissimali</i> (l'Alfa sp1)	PaplionPacées
26	<i>Stipa cerasus</i> L ;(cerise sp)	
27	<i>Prunus cerasus</i> L ;(cerise sp)	Rosacées
28	<i>Prunus malus</i> L ; (pommier sp)	

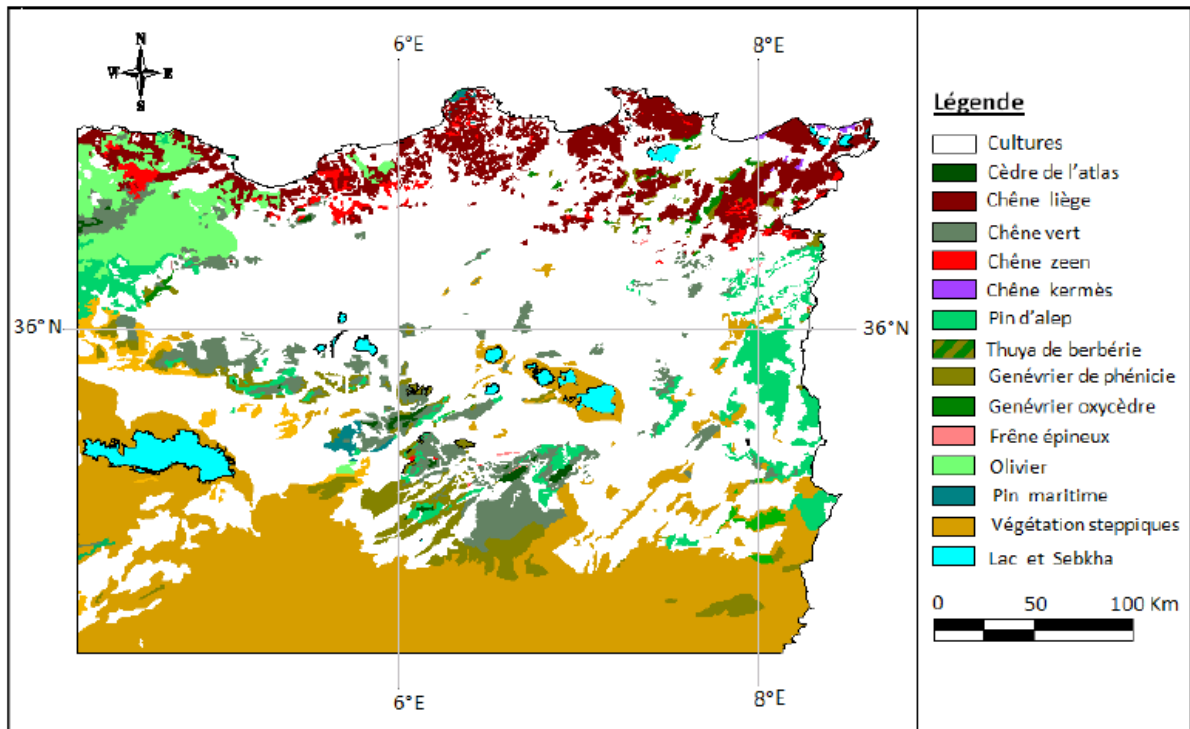


Figure 14 : Carte des répartitions des principales espèces forestières à l'Est Algérien (TABET, 2008)

II.5 Conclusion

A partir de l'étude pédologique et botanique de notre région, on peut dire que

- La majorité des sols sont de type calci-morphe
- Les sols bruns calcaires sont rares
- Les sols généralement sont superficiels, sauf dans les vallées et les terrains plats.
- Le sol dépourvu de l'humus donc il est exposé pour l'érosion
- La perméabilité est forte au niveau de djebel Kouanana et l'Aurès, (Présence des calcaires fissuré) et faible dans la plupart surface du bassin (Présence des marnes et des argiles).
- On peut dire que la formation végétales de la région de Kais est un maquis peu dégradé, se qui limite son rôle et son action sur le sol de point de vue évolutif.

Chapitre : IV

Climatologie

IV.1 Introduction

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des données, des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique, ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants: (les précipitations, la température, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement), qui conditionnent ce bilan.

L'étude des données climatiques permet d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui nous informera sur :

- 1- Le type du climat.
- 2- Les caractéristiques de bilan hydrique du bassin versant.
- 3- La structure de variation temporelle des termes du bilan (Pluies, évaporation).
- 4- Le comportement hydro-climatologique du bassin versant.

Les paramètres climatologiques sont soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures) soit calculés par des formules (ETP, ETR, R, I).

IV.2 La station de mesures

Pour caractériser la nature des variations climatiques mensuelles et interannuelles dans notre région d'étude nous avons choisi la station météorologique, d'El Hamma. Nous disposons pour cette station des données, étalant sur une durée de 18 ans d'observation.

Tableau 08 : Caractéristique de la station de mesure.

<i>Station</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude</i>	<i>Période d'observation</i>
ElHamma	35° 28°	7° 5'	983 (m)	1994-2011

IV.3 Etude Des Facteurs Climatiques

IV.3.1 La température

La température constitue un élément majeur qui conditionne le climat d'une région. Elle permet de déterminer l'évapotranspiration et le déficit de l'écoulement, elle intervient dans l'établissement de bilan hydrologique.

IV.3.1.1 Variations des températures moyennes annuelles

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température, sur une période de 18 ans (1994-/2011), montre que l'année la plus chaude est l'année 1999 avec une moyenne de 16.67 °C, et l'année la plus froide est l'année 2005, avec une moyenne de 14.88 °C. Signalons que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 16.69 °C.

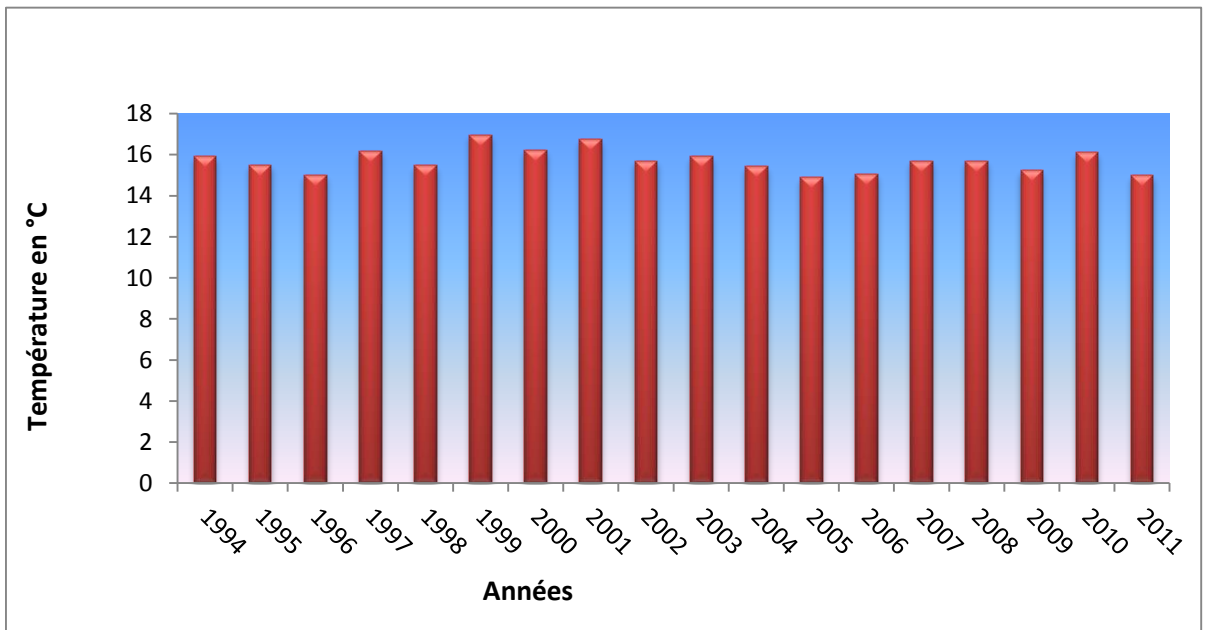


Figure 15 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de EL Hama pour la période (1994/2011)

IV.3.1.2 Variations de la température moyenne mensuelle

La température moyenne mensuelle présente de très variations saisonnières elle atteint leur minima au mois de janvier avec 6.73°C qui est le mois le plus froid de l'année, par contre le mois de juillet est le plus chaud par une valeur maximale de la température moyenne mensuelle de 26.71 °C.

L'amplitude maximale des variations des températures mensuelles moyennes interannuelles s'observe entre ces deux mois avec 19.98 °C.

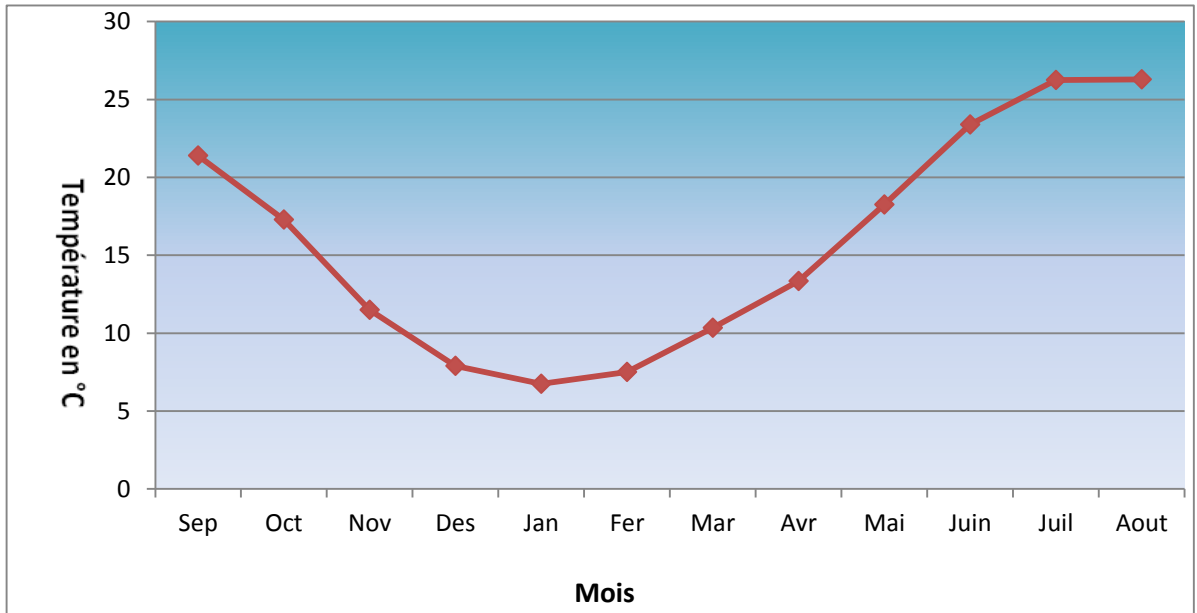


Figure 16 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station d'ELHamma pour la période (1994-2011).

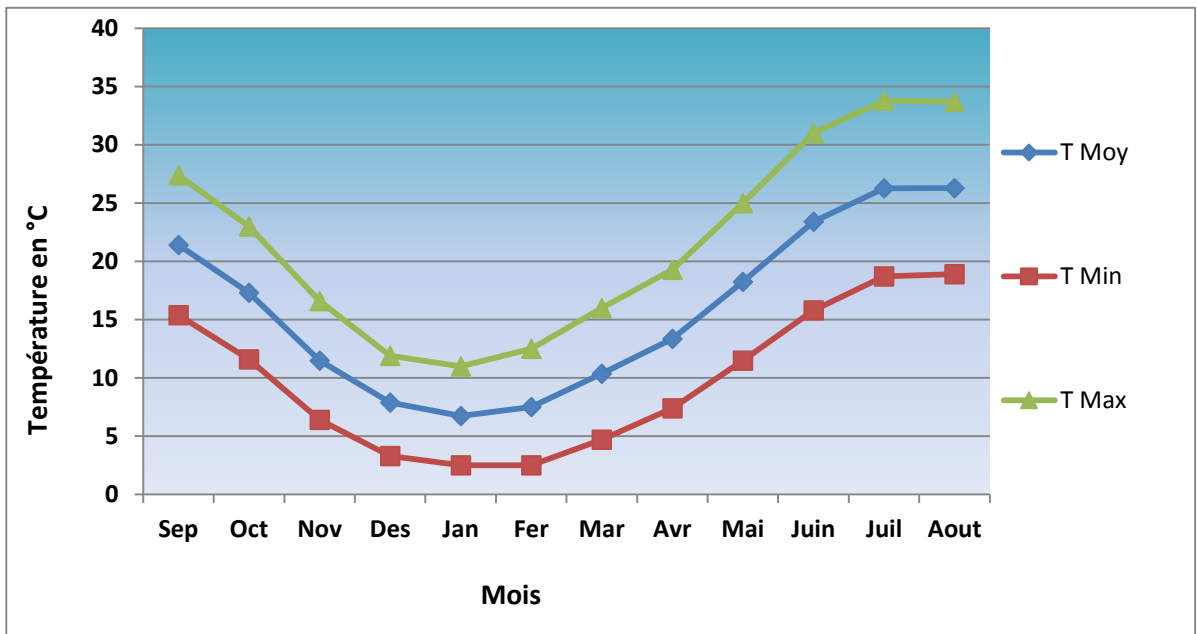


Figure 17 : Variation des températures mensuelles à la station d'ELHamma pour la période (1994-2011).

IV.3.2 La pluviométrie

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable, car elle permet de déterminer la quantité d'eau écoulee qui est à l'origine du lessivage des formations géologiques.

Selon la carte pluviométrique du piémont Nord-Est des Aurès suivant (MEHEMAI, 2009). On trouve que notre région d'étude est de 450 mm à 500 mm

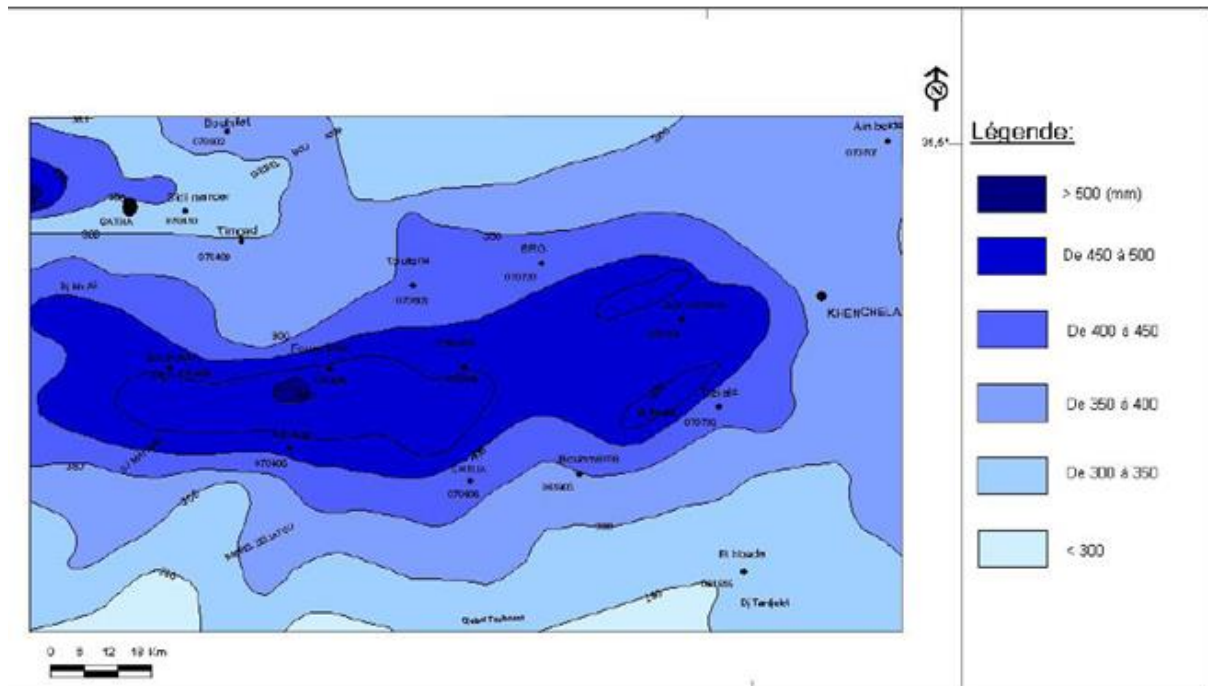


Figure 18 : La carte pluviométrique du piémont Nord-Est des Aurès (MEHEMAI, 2009)

IV.3.2.1 Variations interannuelles des précipitations

Pour étudier ces données, nous nous sommes basés sur une série de mesures s'étalant sur la période allant de 1994 à 2011. Cette série permet de dire que: La répartition des précipitations interannuelles à la station d'ElHamma est extrêmement irrégulière d'une année à l'autre. Le maximum de la pluviométrie a été observé en 2010 avec 756.8 mm et alors que le minimum a été enregistré en 2000 avec 311.9 mm. Le module pluviométrique interannuel est égal à 499.77 mm.

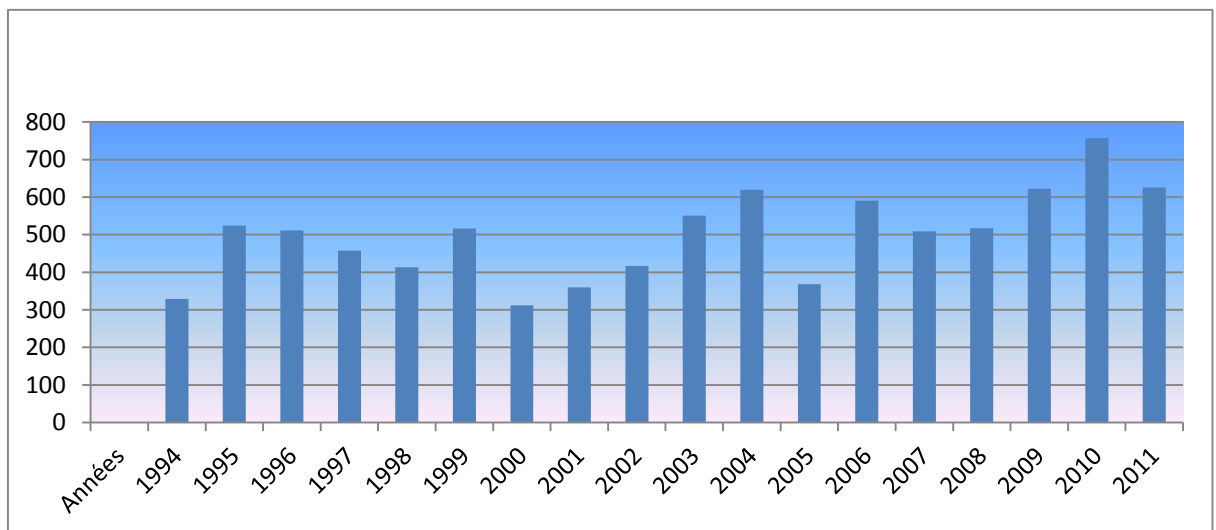


Figure 19 : Evolution des précipitations annuelles à la station d'Elhamma pour la période (1994-2011)

IV.3.2.2 Variations moyennes mensuelles des précipitations

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 18 ans (1994/2011) montre que le mois de Mai est le plus pluvieux, avec 62.66 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 16.32 mm et la saison la plus pluvieuse c'est Printemps avec 149.62 mm. L'amplitude de précipitation est de 46.34 mm.

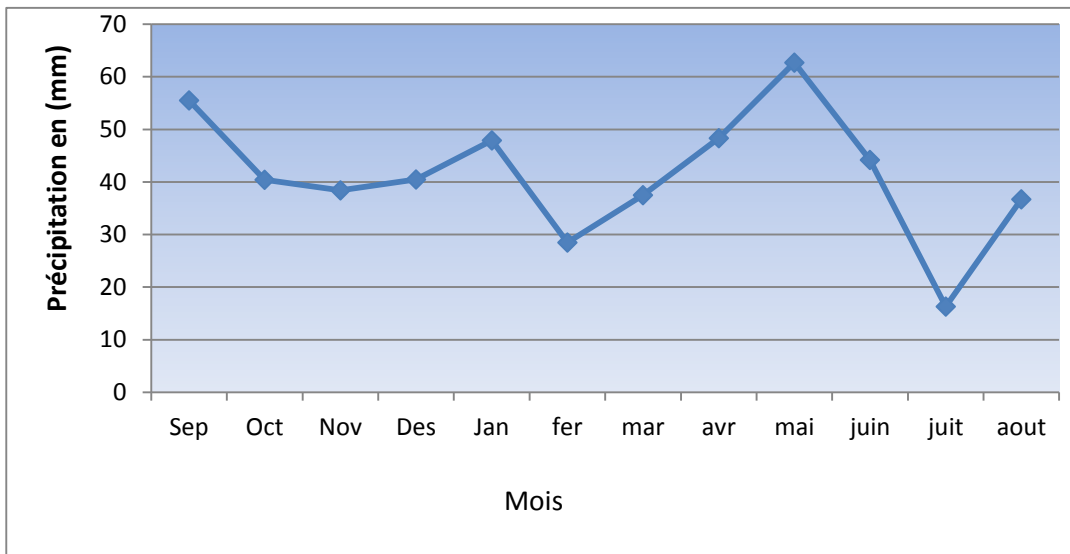


Figure 20 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Elhamma pour la période (1994-2011)

IV.4 Caractérisation du climat

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques: la température et les précipitations permettent de déterminer les périodes sèches et humides ainsi que la localisation de l'étage bioclimatique bien définie d'une région donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes. Ceux qui sont les plus couramment utilisés sont les suivants :

IV.4.1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Il permet de comparer mois par mois la température et la pluviosité. Les ordonnées sont choisies de telle sorte que 10 °C correspondent à 20 mm de pluie.

Une période de l'année est considérée comme sèche, lorsque la pluviosité, exprimée en mm, est inférieure ou égale au double de la température, exprimée en degrés Celsius.

L'analyse des températures et des précipitations permet de tracer le diagramme ombrothermique, suivant :

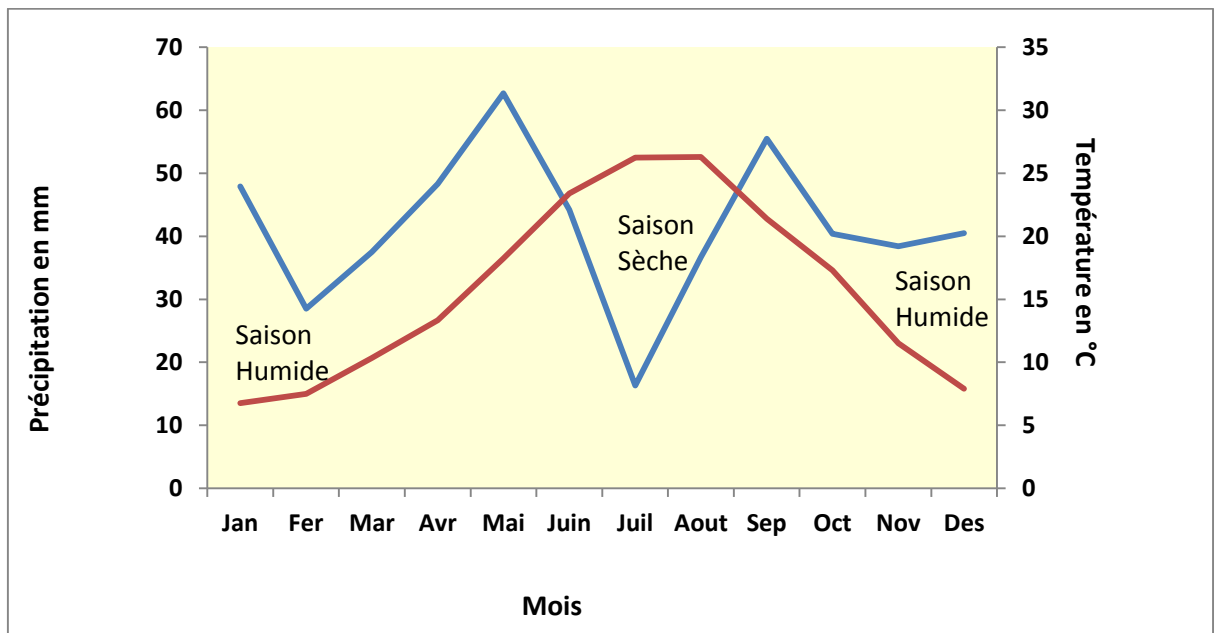


Figure 21 : Diagramme ombrothermique de la station d'Elhamma

Nous constatons que la saison sèche est formée par trois mois secs consécutifs. Le diagramme de Gausson permet de mettre en évidence une saison sèche débutant au mois de Juin qui se termine au mois de Aout, et une saison Humide qui s'étale du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai.

IV.4.2 Indice d'aridité

L'indice d'aridité est une valeur numérique sensée représente le degré de sécheresse du climat à un endroit donné, plusieurs méthodes de calcul ont été proposées.

IV.4.2.1 Indice de DE Martonne

En 1926, Emmanuel de De Martonne élabore un système de classification des climats par une méthode statistique (GUASMI, 2009). Il utilisa un indice qui se base sur le régime des précipitations et des températures pour caractériser le climat d'une région. Il est calculé par la relation suivante :

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

I : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Suivant les valeurs de (I), de De Martonne a établi la classification suivante :

$I < 5$: climat hyperaride

$5 < I < 7,5$: climat désertique

$7,5 < I < 10$: climat steppique

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$20 < I < 30$: climat tempéré.

$I > 30$: climat humide

Dans notre cas, la moyenne des précipitations interannuelles est : 499.77 mm. Alors que la température moyenne annuelle est de : 15.71 °C

Ce qui donne : $I = 19.44$

Nous avons trouvé que la valeur de (I) est comprise entre 10 et 20, ce qui permet de dire que la station d'ElHamma bénéficie d'un climat semi-aride.

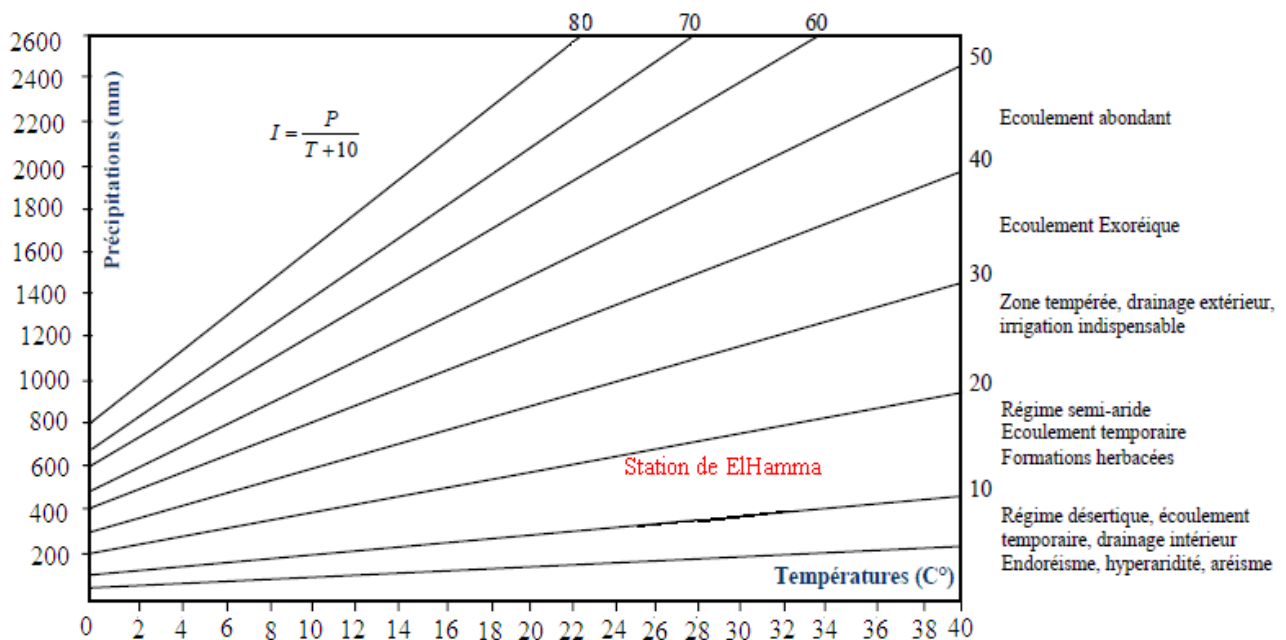


Figure 22 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne

IV.4.3 Le diagramme de L. Emberger

Pour caractériser le climat d'une région, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q2, qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minimas et maximas, respectivement des mois le plus froid et le plus chaud. Il propose donc la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré absolu (K°);

m: moyenne des minima du mois le plus froid en degré absolu (K°);

P: précipitation moyenne annuelle (mm)

Après le calcul, nous obtenons les résultats qui ont été reportés dans le tableau 09

Tableau 09 : La valeur du quotient pluviométrique d'Emberger à la station d'El Hamma (période 1994-2011)

Station	P (mm)	M		m		Q2
		°C	K	°C	K	
ElHamma	500	34.42	307.58	2.5	275.66	53.71

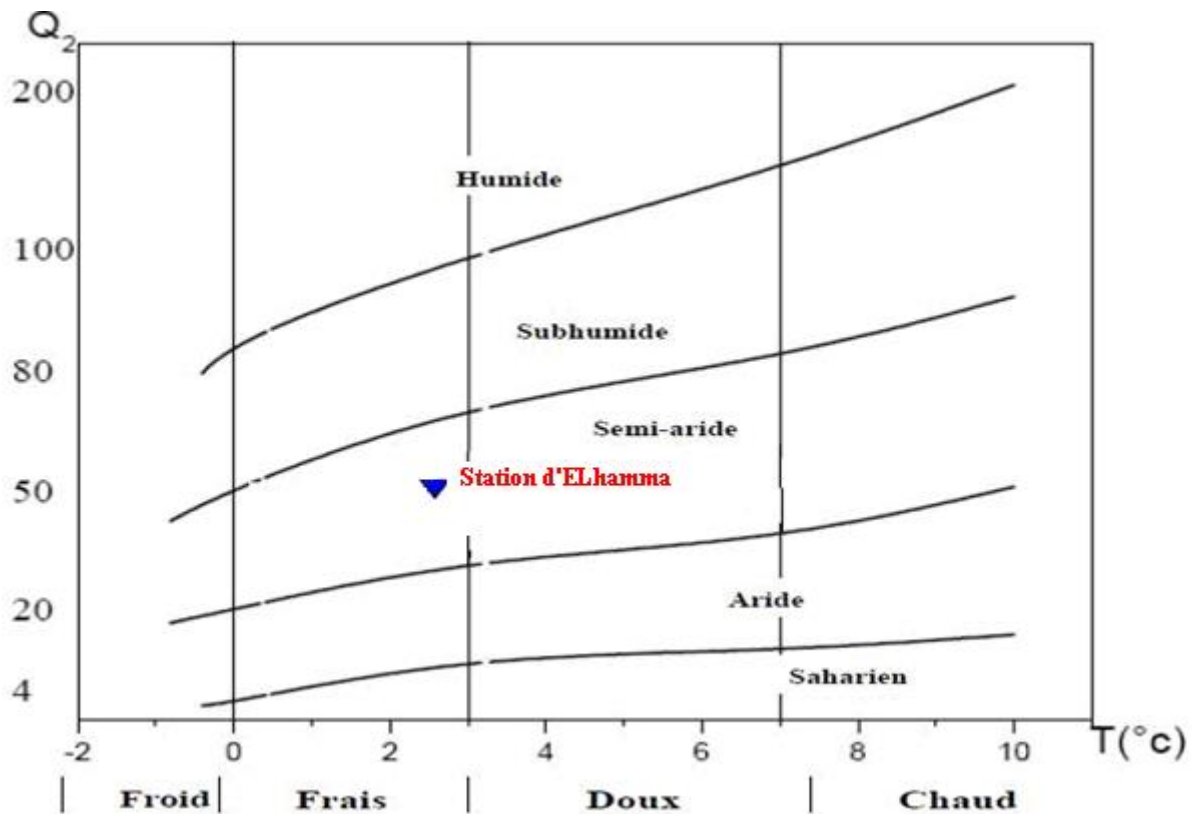


Figure 23 : Climagramme d'Emberger de la station ELHAMMA.

La représentation graphique sur le climagramme d'Emberger montre que le climat à la station d'ElHamma est de type : semi-aride, cela est concordant avec l'indice de Martone.

IV.4.4 Le régime saisonnier

Murset en 1935 a défini la première notion du régime saisonnier, il a calculé la somme des précipitation par saison, prenant en considération que l'Automne est formé par les trois mois suivant : Septembre, Octobre, Novembre, et a effectué le classement des saisons par ordre de pluviosité décroissante, signalant chaque saisons par son initial (P : Printemps, H : Hiver, E : Été, A : Automne).

Pour la station d'ElHamma on remarque que la saison la plus arrosée c'est le Printemps avec 29,93 % (149.62mm), puis le Automne avec 27.21% (136.02mm), l'hiver avec 23.4% (116.9mm) et en fin l'été avec 19.45% (97.23mm) donc nous avons un régime saisonnier de type PAHE.

Tableau 10 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'ElHamma pour la période (1994/2011)

Station	Mois	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Année	Type
		Sept	Oct.	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aoû		
Oum-ElBouaghi	Précipitation													499.77 (mm)	PAHE
	P mensuelle (mm)	55.95	41.64	38.43	40.48	47.9	28.52	38.63	48.33	62.66	44.16	16.32	36.75		
	P saisonnière (mm)	136.02			116.9			149.62			97.23				
	P saisonnière (%)	27.21			23.4			29.93			19.45			100%	

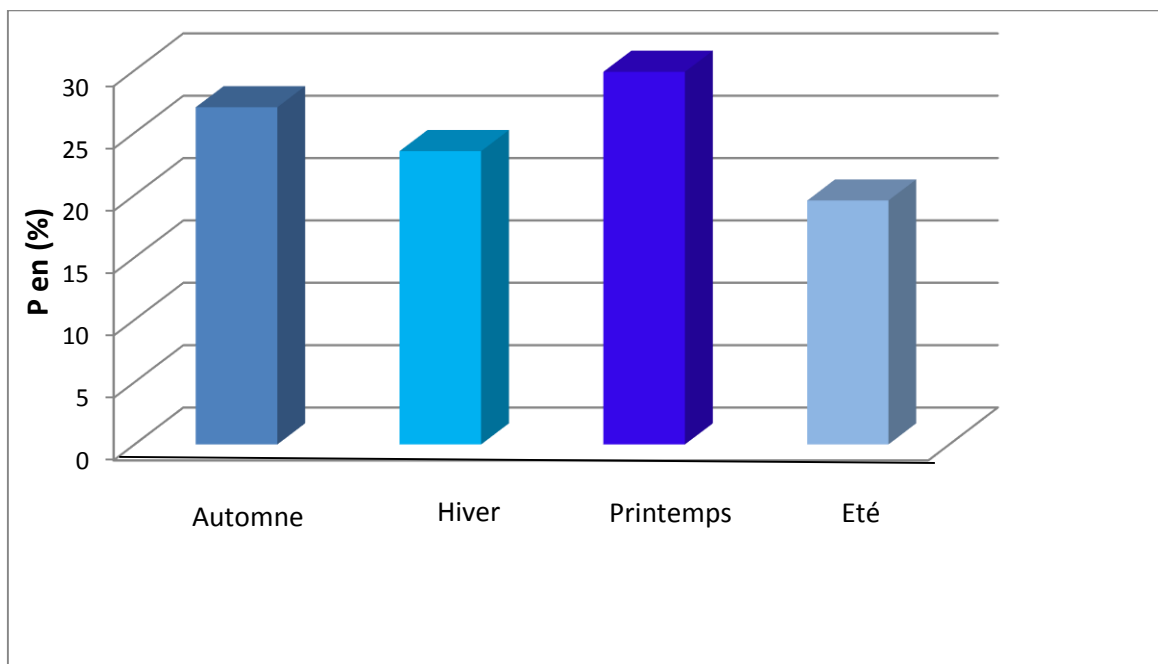


Figure 24 : Le régime pluviométrique saisonnier à la Station d'ElHamma pour la période (1994-2011)

IV.5 Estimation de l'évapotranspiration

Par définition, le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes (Jacob & al., 2002).

IV.5.1 ETP (Évapotranspiration potentielle)

D'après (Boulabeiz, 2006). Thornthwaite, en 1948 est le premier à introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, dans un contexte de classification du climat : « Il y a une distinction entre le volume d'eau qui est effectivement évapotranspiré et celui qui pourrait être évapotranspiré, s'il était disponible. Lorsque la disponibilité en eau augmente, l'évapotranspiration atteint un maximum qui dépend uniquement du climat. C'est ce que nous pourrions appeler 'évapotranspiration potentielle', en distinction de l'évapotranspiration réelle (Ludovic, 2004). Pour estimer l'évapotranspiration potentielle l'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948, une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm)

T : température moyenne du mois en (°C)

$$I = \sum i \quad \text{et} \quad i = (t/5)^{1,514} \quad a = (1,6 * I / 100) + 0,5$$

D'après notre calculs on trouve que : (I= 73.03 , a= 1.668)

Tableau 11 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
T (C°)	21.32	15.96	11.16	7.62	6.73	7.49	10.37	13.33	18.31	23.16	26.71	26.16	188.32
ETP _{nc} (mm)	95.54	58.94	32.45	17.17	13.96	16.68	28.71	43.65	74.12	109.69	139.15	134.4	764.46
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	
ETP _C (mm)	98.40	57.17	27.90	14.42	12.14	14.17	29.57	47.57	89.68	132.72	171.15	155.90	

ETP_{nc} : ETP non corrigée ETP_C : ETP corrigée

IV.5.2 ETR (Évapotranspiration réelle)

Est le flux combiné de vapeur provenant du sol et des plantes, pour une teneur en eau du sol spécifique à un moment et pour une région (François & al., 2005)

Estimation de l'évapotranspiration réelle(ETR) :

Elle peut se faire à l'aide de la formule de L. Turc (1954) qui s'écrit de la manière suivante :

$$ETR = P / (0,9 + p^2/L^2)^{1/2} \quad \text{où} :$$

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

T : température moyenne annuelle de l'air en (°C),

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

Soit ETR = 453.01 mm

IV.6 Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

L'étude du bilan hydrologique permet de déterminer la répartition des eaux de précipitation entre les différents composants de ce bilan à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). La RFU de Kais est estimé à 25mm

L'application de la méthode de Thornthwaite pour l'année moyenne a donné les résultats qui sont consignés dans les tableaux

11 à 12.

Tableau 12 : Bilan hydrologique moyen (1994/2011) à la station d'ElHamma, par la méthode de Thornthwaite

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	55.95	41.64	38.43	40.48	47.9	28.52	38.63	48.33	62.66	44.16	16.32	36.75	499.77
T (C°)	21.32	15.96	11.16	7.62	6.73	7.49	10.37	13.33	18.31	23.16	26.71	26.16	188.32
K	1.03	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	
ETP (mm)	98.40	57.17	27.90	14.42	12.14	14.17	29.57	47.57	89.68	132.72	171.15	155.90	850.79
P-ETP	-42.45	-15.53	10.53	26.06	35.76	14.35	9.06	0.76	-27.02	-88.56	-154.83	119.15	
RFU25 (mm)	00	00	10.53	25	25	25	25	25	00	00	00	00	
ETR (mm)	55.95	41.64	27.9	14.42	12.14	14.17	29.57	47.57	87.66	44.16	16.32	36.75	428.25
EX (mm)	00	00	00	11.59	35.76	14.35	9.06	0.76	00	00	00	00	
DA (mm)	42.45	15.53	00	00	00	00	00	00	2.02	88.56	154.84	119.15	422.55

IV.6.1 Interprétation du bilan hydrologique

L'observation du graphe du bilan hydrologique nous permet de dire qu'il existe deux périodes la première est déficitaire où l'ETP est importante à partir de mois de mai jusqu'au mois d'octobre, avec des valeurs atteignant les 171.15 mm au mois de juillet, dans cette période les sols sont secs et leur niveau de la réserve hydrique est nul, rendant la nécessité de l'irrigation. La deuxième période est humide qui commence à partir du mois de novembre où les précipitations couvrent les besoins

de l'évapotranspiration potentielle et permettent la reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de décembre et avril. Toute la pluie non retenue par la couche superficielle du sol, s'infiltré et rejoint la zone saturée. Au-delà de cette période, la réserve commence à diminuer jusqu'à l'épuisement du stock.

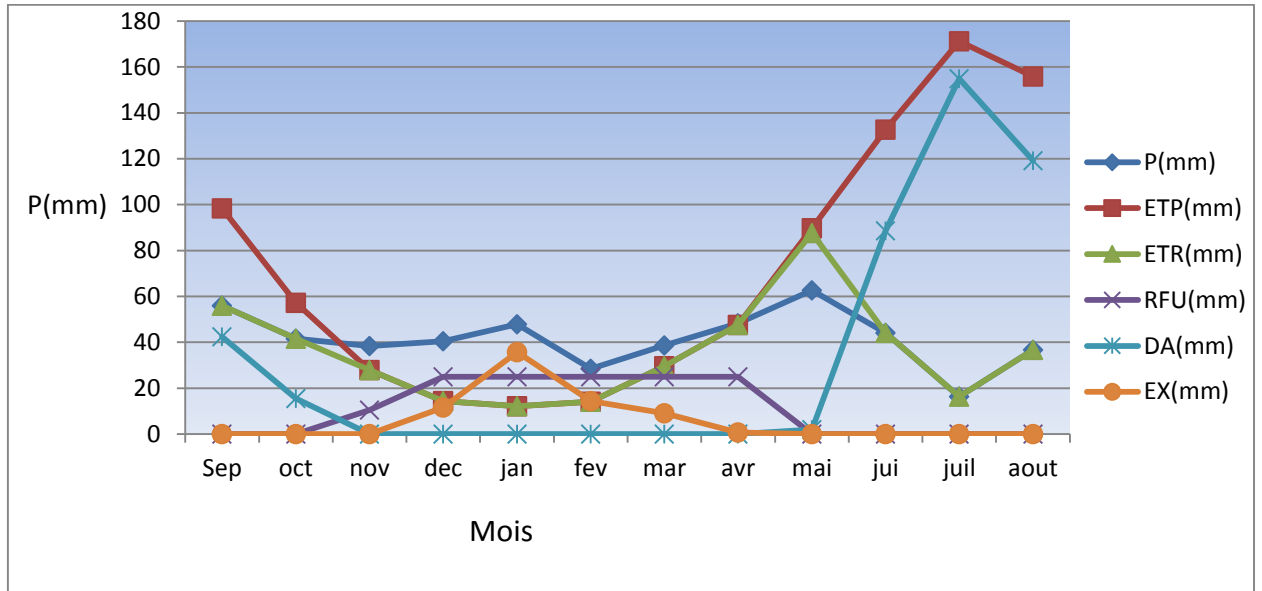


Figure 25 : Bilan hydrologique moyen (1994-2011) à la station ElHamma , par la méthode de Thornthwaite

IV.7 Ruissellement R (mm)

L'eau précipitée peut ruisseler directement, si l'intensité de la pluie est supérieure à la vitesse d'infiltration de sol. il est calculé par la formule suivante :

$$R = \frac{P^3}{3(E.T.P)^2}$$

Avec :

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

L'application numérique donne

R = 57.46 mm

IV.8 L'infiltration I (mm)

C'est la migration de l'eau de précipitation à travers la porosité de sol vers les nappes souterraines, il est calculé par la formule suivante :

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

I : infiltration (mm)

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

R : Ruissellement (mm).

ETR: Evapotranspiration (mm).

I = 14.06 mm

Tableau 13: Répartition des précipitations à la station d'ElHamma

Précipitation (P)		Evapotranspiration réelle (ETR)		Ruissellement (R)		Infiltration (I)	
(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
499.77	100,00	428.25	85.68	57.46	11.49	14.06	2.81

IV.9 Conclusion

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride, elle est caractérisée par un hiver froid et un printemps pluvieux et un été chaud et sec.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 18 ans (94–2011), sont estimées à 499,77 mm, leurs répartitions mensuelles montrent deux grandes saisons bien distinctes, la première est humide, qui s'étend du mois de Septembre à Mai, soit de 80.54 % de la pluviométrie annuelle. La deuxième est sèche, qui s'étale sur les mois de Juin et Aout, avec seulement 19.46 % de

la pluviométrie annuelle. L'évapotranspiration réelle est estimée à 428,25 mm, mobilisant 85,68 % des précipitations.

Les températures moyennes mensuelles varient entre 6.73 °C et 26.71 °C, avec une moyenne annuelle de 16,72 °C. Le mois de juillet étant le plus chaud, et janvier le plus froid.

Près de 54.04% de l'ETP est enregistrée durant les trois mois de l'été

Le ruissellement ne représente que 11,49 % des précipitations, ce qui représente 57,46 mm.

L'infiltration est estimée à 2.81 %. Ce qui permet de percoler 14,06 mm. Cette dernière contribue à l'alimentation des nappes souterraines à partir de la surface.

Le déficit agricole estimé est de 422.55 mm étalé sur la période allant de mai jusqu'à octobre. Notons que le bilan hydrologique est déficitaire.

La chimie des eaux est influencée par la répartition des précipitations et des températures par dilution pendant la période pluvieuse et concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

Chapitre : V

Hydrochimie

V.1 Introduction

L'hydrochimie se définit comme la connaissance des caractéristiques chimiques des eaux, des processus de leur acquisition et des lois décrivant les échanges entre l'eau, le sol et le sous sol, elle est liée à la nature lithologique du terrain traversé, au climat et à l'activité anthropique. Elle permet de comparer les eaux entre elles, d'interpréter les données d'analyses par des diagrammes.

L'étude de la composition chimique des eaux superficielles, étroitement liée aux produits solubles de l'altération des roches (Abdelli H, Azzoun S, Boulahia M ,1991)

Notre étude est basée sur les analyses physico-chimiques des eaux de surfaces de barrage de FOUM EL GUEISS, Les échantillons ont été prélevés chaque mois de l'année 2011 par l'ANRH (agence national des ressources hydrauliques de constantine).

On basé aussi sur l'étude de l'influence des paramètres climatiques sur la qualité d'eau de barrage

Ce chapitre traite le chimisme des eaux superficielles, et nous permettra de :

- Déterminer la variabilité quantitative des éléments majeurs
- Trouver les principaux faciès chimiques des eaux et leur relation avec l'environnement géologique
- Caractériser la qualité des eaux
- La comprendre de l'effet des paramètres climatiques sur la qualité des eaux.
- L'aptitude des eaux à l'irrigation

V.2 Etude Des Parametres Physico-Chimiques

L'eau possède des propriétés physico-chimiques exceptionnelles qui lui permettent de jouer un rôle important dans la modification et le transfert des éléments chimiques (Berner, 1987 ; Jacques, 1996).

Les composants de l'eau sont indiqués en milligramme par litre, il s'agit d'une moyenne des principaux composants : calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfate, chlorures, et nitrates.

L'origine de l'eau ainsi que sa solubilité est gérée par un certains paramètres physiques tels que :

Le potentiel d'Hydrogène (pH)

La conductivité électrique (CE)

La minéralisation

Le résidu sec.

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

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

V.2.1 Les paramètres physiques

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

V.2.1.1 La Température (T)

Elle joue un rôle très important dans l'augmentation de l'activité chimique bactérienne et l'évaporation des eaux

Tableau 14 : Variation mensuelle de Température

Valeur	T (C°)
Max	25
Min	7
Moy	16.25
Ecartype	6.07

La température mesurée dans tous les mois de l'année varie entre 7C° et 25C°, avec la valeur la plus faible (7C°) aux mois de Février, et la valeur la plus élevée 25C° au mois d'Août, les températures relevées sont très dépendantes du mode de prélèvement, des conditions climatiques, de l'altitude et de l'heure du prélèvement

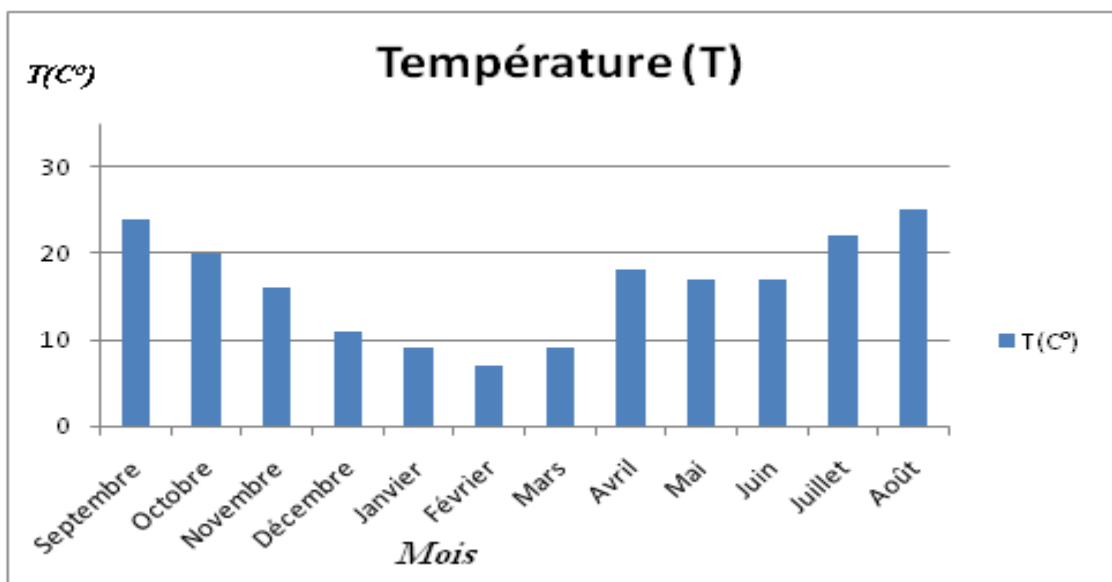


Figure 26 : Variation mensuelle de la température

V.2.1.2 Potentiel d'Hydrogène (pH)

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

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

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

- Pour un milieu neutre $(H^+) = (OH^-)$ ou $pH = 7$;
- Pour un milieu acide $(H^+) > (OH^-)$ ou $pH < 7$;
- Pour un milieu basique $(H^+) < (OH^-)$ ou $7 < pH < 14$. (DJEMMAL, 2009)

Tableau 15 : Variation mensuelle de pH

Valeur	pH	La norme (OMS)
Max	7.8	6.5 et 8.5
Min	7,5	
Moy	7.67	
Ecartype	0.11	

Les eaux analysées montrent des valeurs de pH comprises entre 7.5 (Juillet, Novembre) et 7.8 (, Février, mars, Avril, Juin) ces valeurs sont ainsi très proches de la neutralité. Donc sont acceptable selon les normes de l'OMS.

On justifier ça par l'influence de deux paramètres climatiques :

-Quand la température augmente, l'évaporation augmente donc le pH diminue

_Quand la précipitation forte le pH augmente (la dilution).

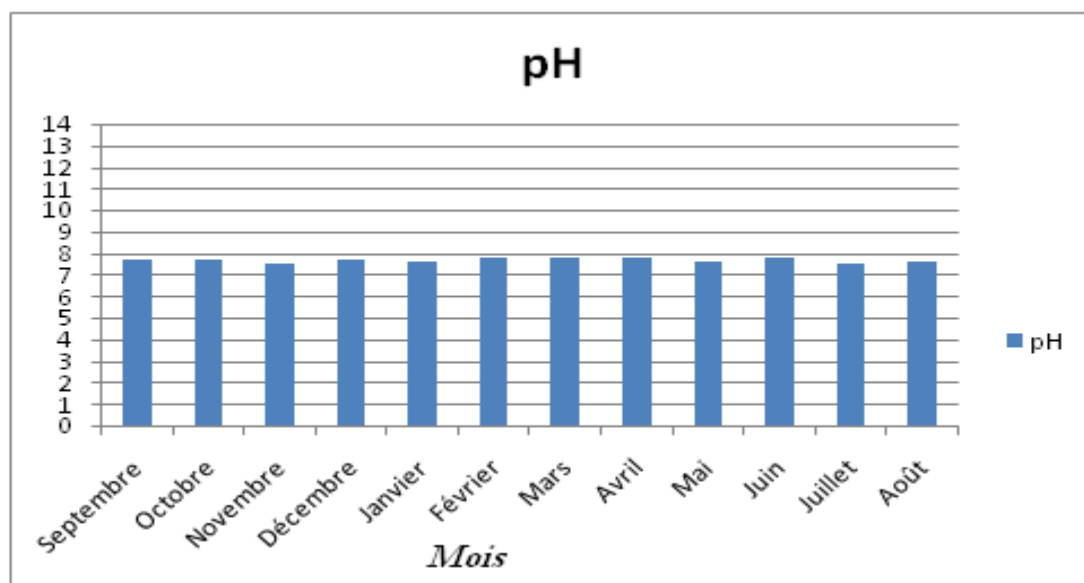


Figure 27 : Variation mensuelle de pH

V.2.1.3 Conductivité (CE)

La conductivité d'une solution peut être mesurée à l'aide d'un conductimètre. La conductivité de l'eau permet d'estimer sa charge en ions, elle s'exprime généralement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou en mS/cm pour des salinités plus élevées.

Tableau 16 : Variation mensuelle de conductivité électrique

Valeur	CE à 25°C	La norme (OMS)
Max ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	910	400 à 1500 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Min ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	480	
Moy ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	756.66	
Ecartype	150.41	

Parmi les eaux analysées, les conductivités mesurées s'échelonnent entre 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aux mois de novembre et 910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aux mois de Octobre et mois de Janvier, ces valeurs sont dans les normes de l'OMS

Cette variation de la conductivité est en relation direct avec la variation chimisme des eaux d'une période à l'autre plus une eau charge en sels dissous plus sa conductivité est forte

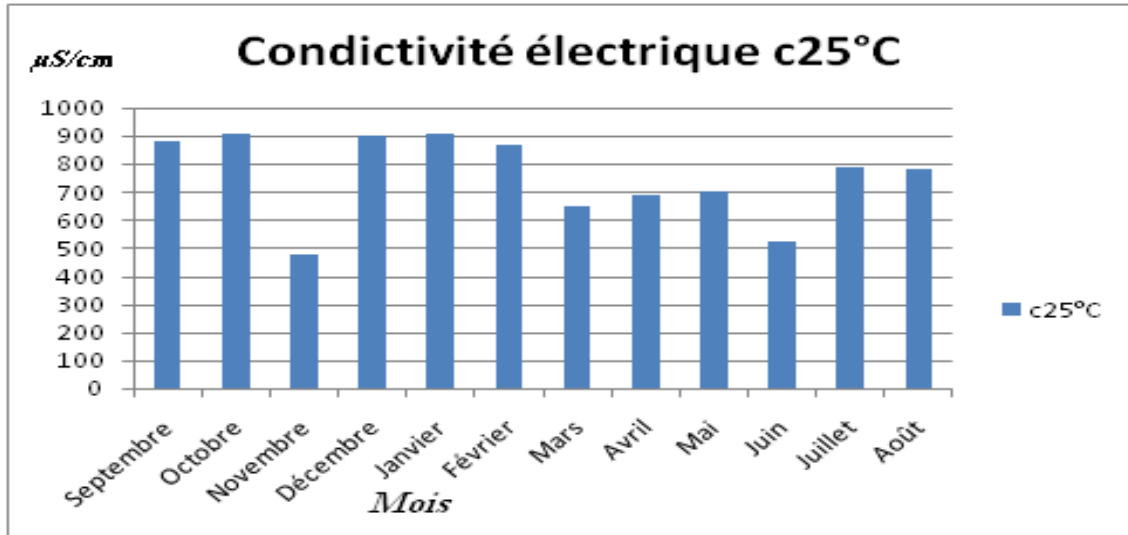


Figure 28: Variation mensuelle de conductivité électrique

V.2.1.4 Le résidu sec (Rs)

C'est la quantité précipitée de la matière sèche, obtenue après l'ébullition de l'eau à 108 °C.

Ce paramètre permet de classer les eaux et d'indiquer sur leur degré de la minéralisation. Selon (Bernard, 2006) on peut classer les eaux comme suite :

- une eau est très faiblement minéralisée si le résidu sec est inférieur à 50 mg/l.
- une eau est dite oligominérale si le résidu sec se situe entre 50 et 1500 mg/l.
- Une eau est riche en sels minéraux si le résidu sec est supérieur à 1500mg/l.

Tableau 17 : Variation mensuelle de résidu sec

Valeur	Rs (mg/l)
Max (mg/l)	672
Min (mg/l)	302
Moy (mg/l)	537.66
Ecartype	119.20

On distingue que la valeur maximale du résidu sec est 672 mg/l aux mois de Décembre, et leur valeur minimale est 302 mg/l aux mois de novembre, ces valeurs se situent entre 50 et 1500 mg/l, alors les eaux sont dites oligominérales

Cette variation du résidu sec est en relation direct avec la variation chimisme des eaux d'une période à l'autre plus une eau charge en sels dissous plus sa valeur est forte

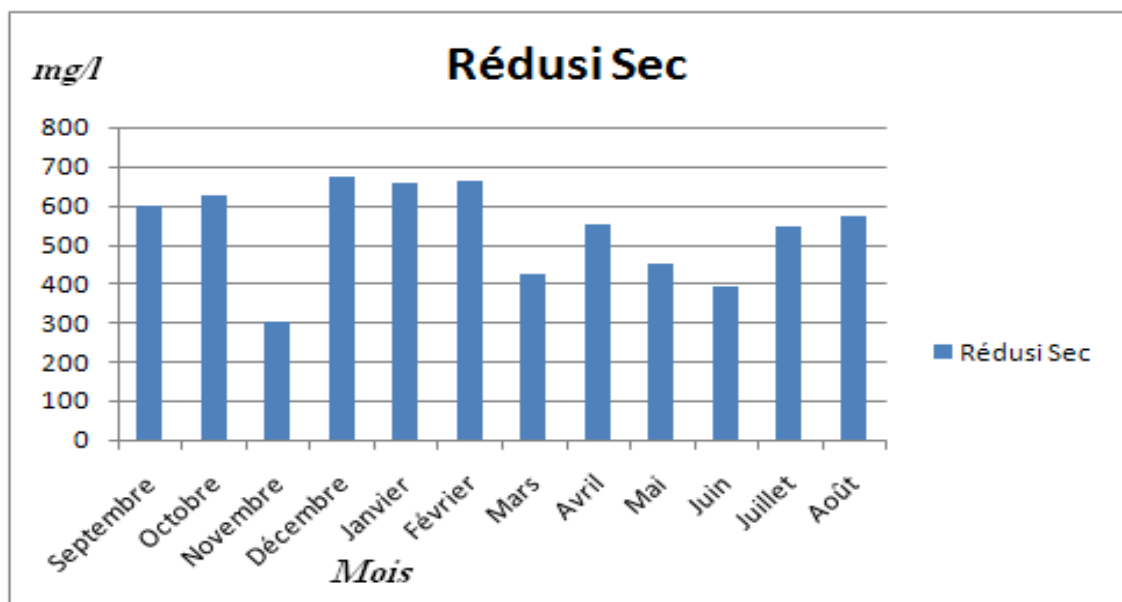


Figure 29: Variation mensuelle du Résidu Sec

V.2.2 Les paramètres chimiques

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, par conséquent, son attribution pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (potabilité, irrigation, industrie...etc.) (Shuilling, 1988).

V.2.2.1 Les Cations

Il s'agit des ions de sodium, potassium, calcium et magnésium dont les trois premiers caractérisent fortement les faciès chimiques des eaux

V.2.2.1.1 Le calcium (Ca^{++})

Le calcium est un élément alcalinoterreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate, le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles.

Tableau 18 : Variation mensuelle de concentration de calcium (Ca^{2+})

Valeur	Ca^{2+}	La norme (OMS)
Max (mg/l)	111.1	100 (mg/l)
Min (mg/l)	58.3	
Moy (mg /l)	95.97	
Ecartype	17.20	

L'observation du Tableau n°18 illustre que la valeur la plus élevée enregistré au mois de Décembre (111.1Mg/l), et la valeur minimale enregistré au mois de Novembre (58.3Mg/l)

La plupart des échantillons présentent des teneurs très proches à la norme de potabilité des eaux (100mg/l).

On signale que l'effet des paramètres climatiques sur le calcium est faible

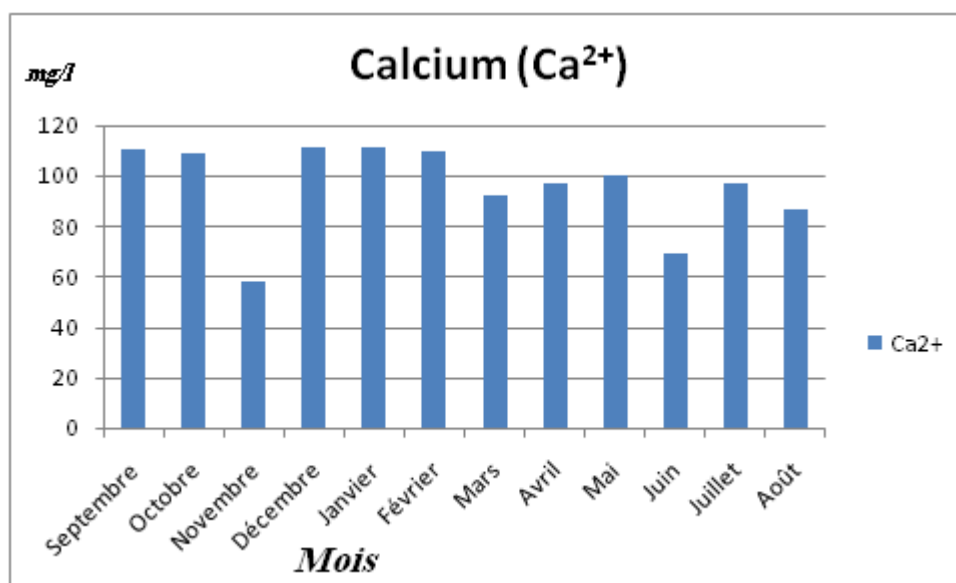


Figure 30 : Variation mensuelle du Calcium

V.2.2.1.2 Magnésium (Mg⁺⁺)

Ses origines sont comparables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneur en Mg²⁺ (magnésite et la dolomie), et des formations salifères riches en magnésium (MgSO₄). Mais leur forte solution nécessite un temps de contact plus long que celui du calcium. (CHADADE, 2009)

Tableau 19 : Variation mensuelle de concentration de Magnésium

Valeur	Mg ²⁺	La norme (OMS)
Max (mg/l)	43	50 (mg/l)
Min (mg/l)	9	
Moy (mg /l)	28.75	
Ecartype	9.61	

Les analyses effectuées sur les eaux superficielles révèlent en effet des teneurs comprises entre 9 mg/l (Novembre) et 43 mg/l (Octobre) pour une moyenne de 28.75 mg/l, Tous les valeurs du magnésium sont acceptées selon les normes de l’OMS

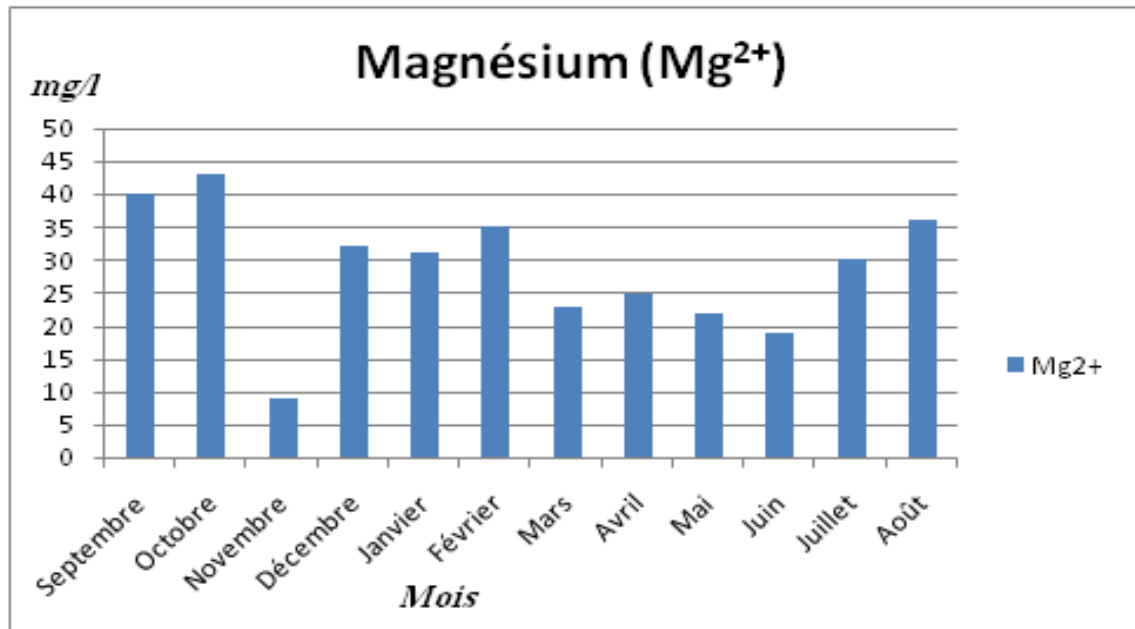


Figure 31 : Variation mensuelle du Magnésium

V.2.2.1.3 Sodium (Na⁺⁺)

Le sodium est beaucoup plus abondant que le potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables. (Gouidia, 2008).

Les marnes emschériennes gypsifères, qui constituent le substratum, ainsi que les dépôts évaporitiques qui se localisent au notre bassin

Tableau 20 : Variation mensuelle de concentration de Sodium

Valeur	Na ⁺⁺	La norme (OMS)
Max (mg/l)	28	150 (mg/l)
Min (mg/l)	7	
Moy (mg /l)	20.16	
Ecartype	4.95	

Les plus faibles valeurs, sont de l'ordre de 7 mg/l, enregistrées au mois de Juin et les valeurs élevées sont de l'ordre de 28 mg/l, enregistrées au mois de Novembre

Toutes les valeurs sont acceptées selon les normes de l'OMS

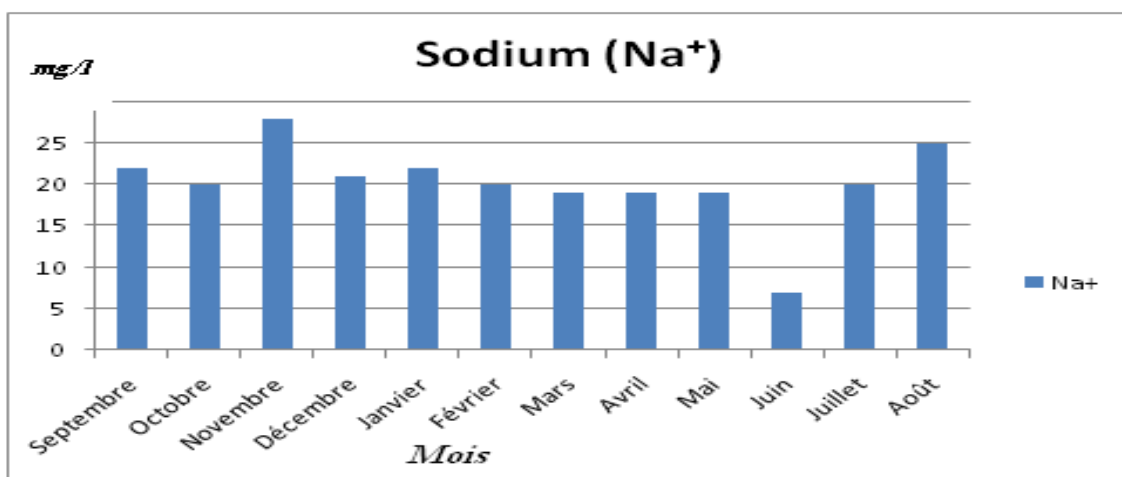


Figure 32 : Variation mensuelle du Sodium

V.2.2.1.4 Potassium (K⁺)

C'est un élément alcalin, très réactif avec l'eau, on le retrouve dans les roches ignées et dans la nature sous forme de chlorure double dans de nombreux minerais, aussi le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. (Gouidia, 2008).

Tableau 21 : Variation mensuelle de concentration de Potassium

Les paramètres statistiques	K ⁺	La norme (OMS)
Max (mg/l)	7	12 (mg/l)
Min (mg/l)	1	
Moy (mg /l)	2.08	
Ecartype	1.78	

Les valeurs de potassium sont variées entre 1 mg/l aux plusieurs mois et 7 mg/l au mois de février, on constate que toutes les valeurs sont acceptées selon les normes de l'OMS

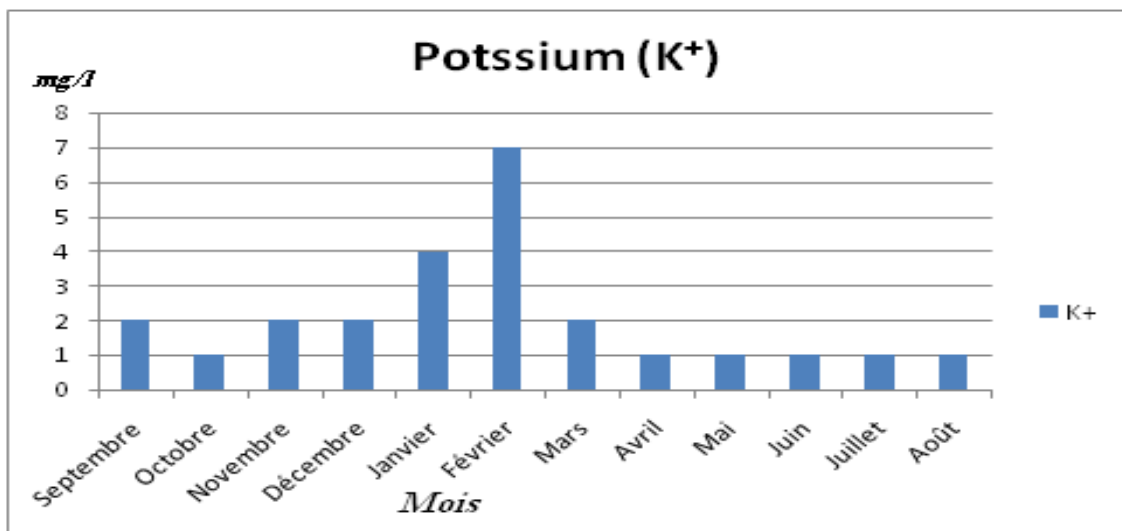


Figure 33 : Variation mensuelle du Potassium

V.2.2.2 Les anions

Les anions les plus importants dans les eaux étudiées sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates, dont les deux premiers déterminent les faciès chimiques

V.2.2.2.1 Les Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines, et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo - sableuses ou argileuses. Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine à partir du soulage des routes, ou par contamination par les eaux usées. Les chlorures donnent un goût désagréable, (Oualjaoui, Djoudi, 2011)

La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation (CHADADE ,2009)

Tableau 22 : Variation mensuelle de concentration de chlorure

Valeur	Cl ⁻	La norme (OMS)
Max (mg/l)	50	250 (mg/l)
Min (mg/l)	10	
Moy (mg /l)	34.58	
Ecartype	11.37	

Les valeurs de chlorure varient entre (10 mg/l) au mois de novembre et (50 mg/l) au mois de juin, ces valeurs ne déplacent pas la norme de l'OMS

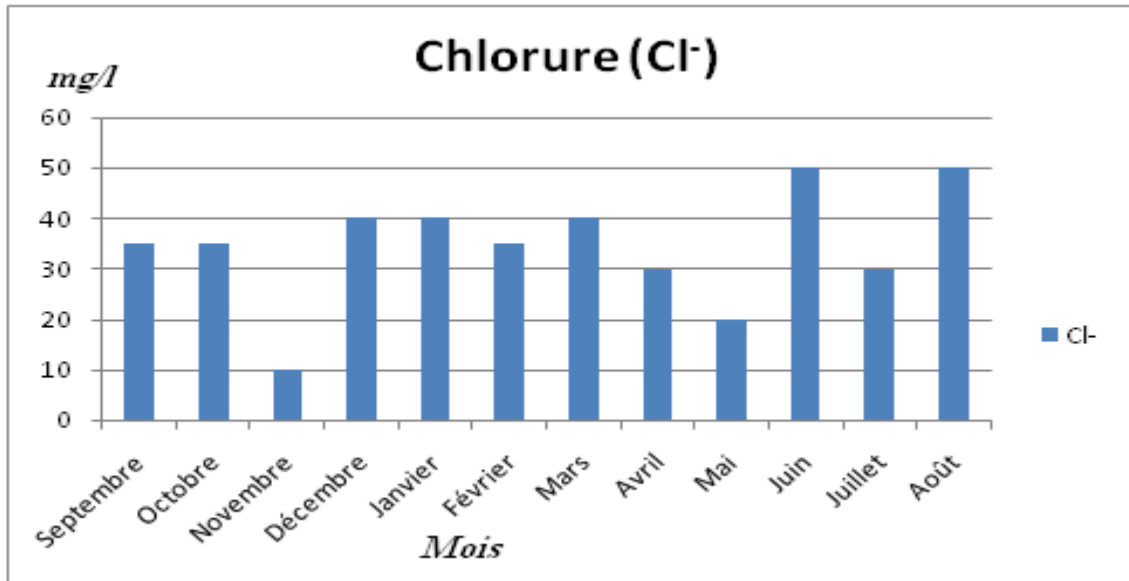


Figure 34 : Variation mensuelle du Chlorure

V.2.2.2.2 Les sulfates (SO₄⁻)

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

Tableau 23 : Variation mensuelle de concentration de sulfate

valeur	SO ₄ ⁻	La norme (OMS)
Max (mg/l)	260	250 (mg/l)
Min (mg/l)	100	
Moy (mg /l)	188.08	
Ecartype	51.37	

Les valeurs des concentrations des sulfates sont variées entre 100 mg/l au mois de novembre et 260 mg/l au mois d'octobre

La valeur moyenne des sulfates (188.08mg/l) est ne déplace la norme de l'OMS

On constate que la valeur de sulfate au mois de octobre est dépasse la norme (260mg/l)

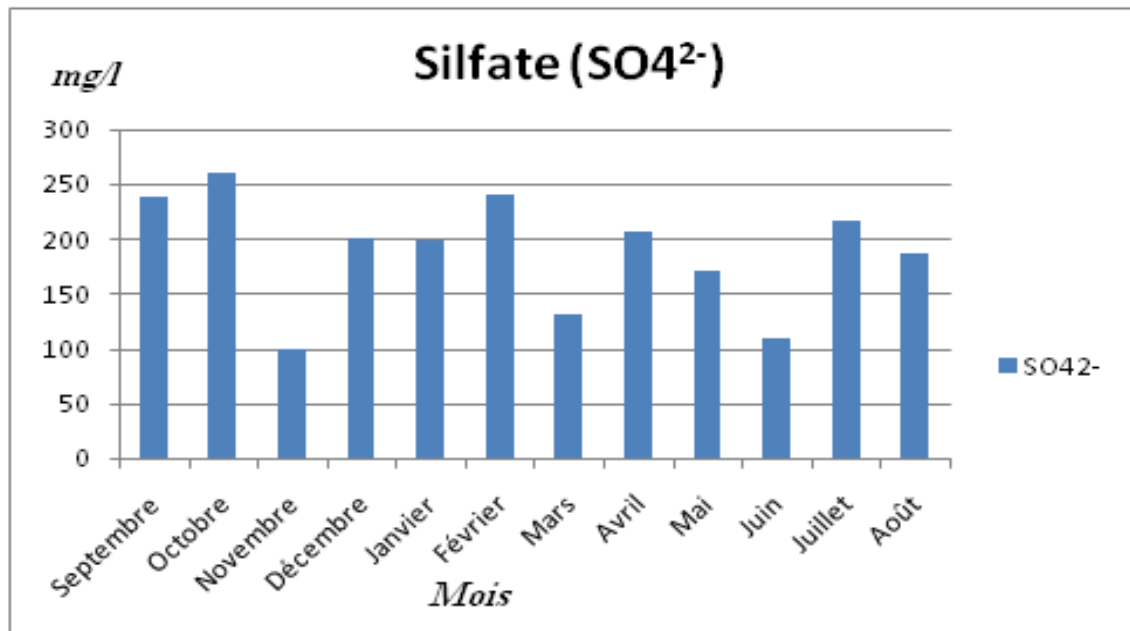


Figure 35 : Variation mensuelle du Sulfate

V.2.2.2.3 Bicarbonate (HCO_3^-)

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées, ainsi leur concentration dans l'eau est en fonction de la nature des terrains traversés, la température de l'eau, la concentration du CO_2 dissout. (DIB ,2009)

Tableau 24 : Variation mensuelle de concentration de bicarbonate

Valeur	HCO ₃ ⁻	La norme (OMS)
Max (mg/l)	244	250 (mg/l)
Min (mg/l)	76.9	
Moy (mg /l)	191.44	
Ecartype	45.25	

Les fortes teneurs sont enregistrées avec une moyenne de 191.44 mg/l, et un maximum de 244 mg/l au mois de décembre, par contre la teneur minimale est de 76.9 mg/l enregistrée au mois de Juin

Toutes les valeurs de concentration des bicarbonates ne dépassent pas la norme de l'OMS

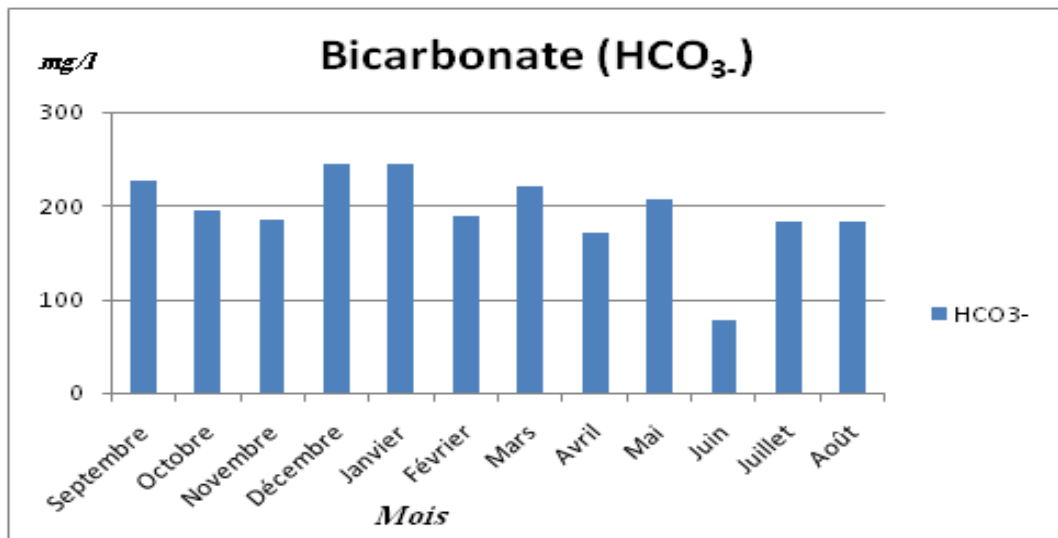


Figure 36 : Variation mensuelle du Bicarbonate

V.2.2.2.4 Le nitrate (NO_3^-)

Le NO_3^- est la principale forme chimique azotée susceptible de quitter le sol via les eaux de percolation, et d'être présente dans les milieux souterrains.

Il est beaucoup plus mobile dans les sols que d'autres éléments apportés par les engrais tels que le potassium et le phosphate (Noemi, 2002),

Les nitrates sont des indicateurs de la pollution (ATHAMENA, 2006)

Tableau 25 : Variation mensuelle de concentration de nitrate

Valeur	NO_3^-	La norme (OMS)
Max (mg/l)	12	50 (mg/l)
Min (mg/l)	0	
Moy (mg /l)	3.67	
Ecartype	3.51	

Les valeurs de nitrates se varient entre 0 mg/l au mois de février et 12 mg/l au mois de décembre, on constate que toutes les valeurs sont acceptées selon les normes de l'OMS

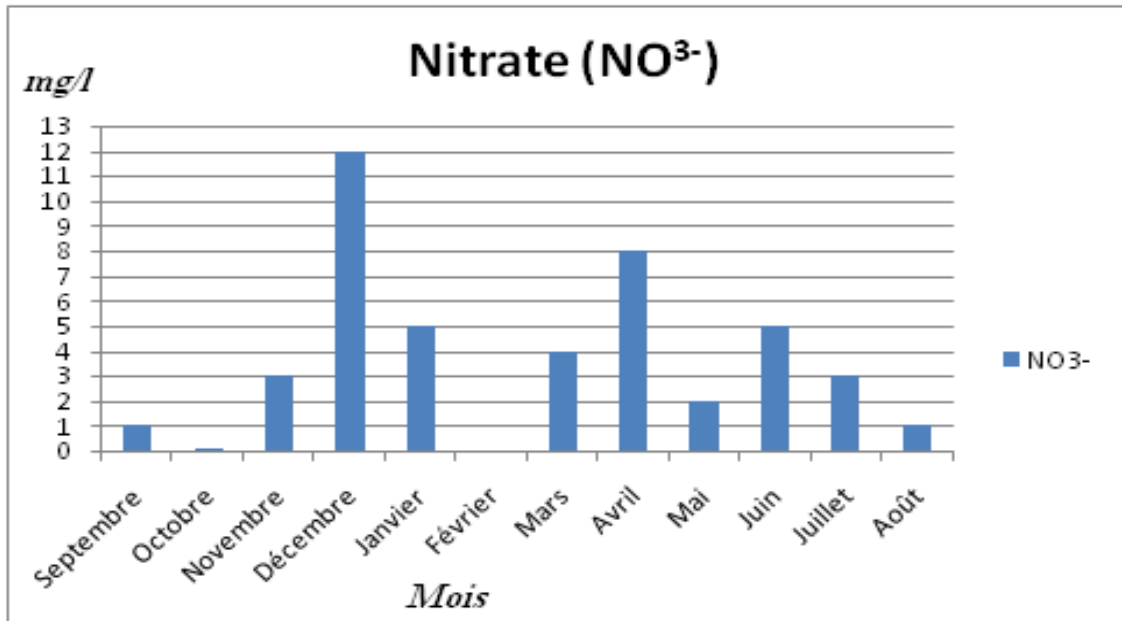


Figure 37 : Variation mensuelle du Nitrate

V.3 Détermination Des Principaux Faciès Hydrochimiques

On détermine les faciès hydrochimiques par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en méq/l), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

V.3.1 Représentation graphique des faciès hydrochimique :

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

La représentation a été faite grâce au logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

V.3.1.1 Diagramme de Piper

Cette méthode est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les eaux entre elles. Ce diagramme comporte un losange et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en cent (100)

parties égales correspondant à des quantités en réaction pour cent (calculé par rapport aux ions de même nature). Ainsi dans chaque triangle, un point représentatif est obtenu. Les deux parallèles menées depuis ces points sur le losange s'entrecroisent en un seul point dans le losange, par simple lecture, le faciès chimique serait connu (Rechachi & Bekhouche, 2011)

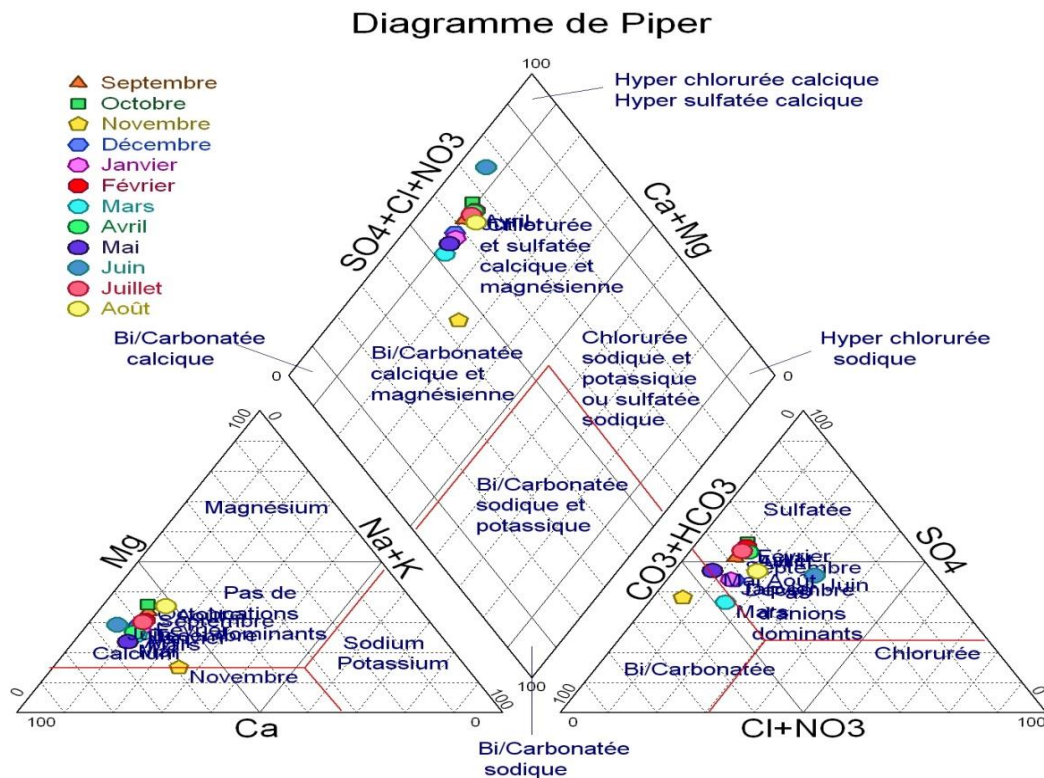


Figure 38 : La représentation des échantillons sur le diagramme de Piper pour tous les mois

Les nuages de points montrent une dominance cationique calcique qui s'explique par les formations calcaires et Marino-calcaire du miocène et les dépôts du quaternaire qui constituent notre région d'étude. Pour les anions, les nuages de points montrent une dominance de sulfate, et un seul point bicarbonaté. Ce dernier se trouve au mois de novembre

La combinaison des différents cations et anions donne naissance à deux faciès, le faciès dominant

(Sulfaté-calcique) avec 91.66% qui présente dans la majorité des mois, et le faciès (bicarbonaté-calcique) avec 8.34 % qui présente dans le mois de novembre

Tableau 26 : Faciès chimiques des eaux du bassin versant Foug El Gueiss

Faciès chimiques		
Sulfaté calcique (%)	Bicarbonaté-calcique (%)	Totale
91.66	8.34	100

V.3.1.2 Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF

Le diagramme de Schoëller- Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d’eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques (Gouidia, 2008).

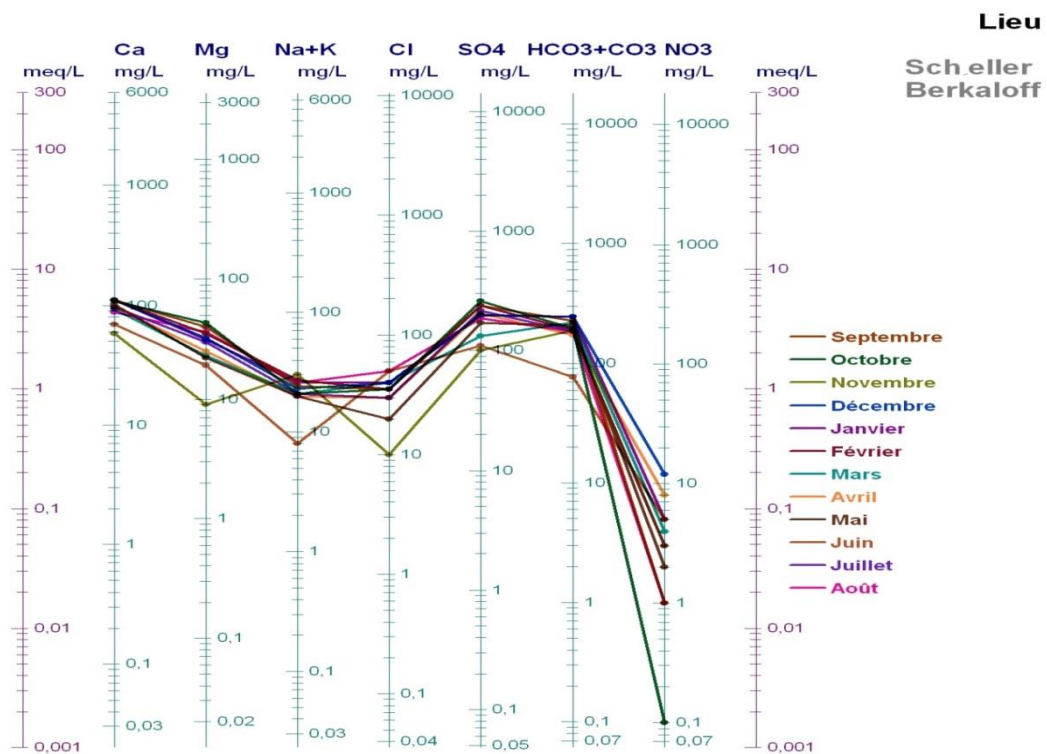


Figure 39 : Diagramme des échantillons de Schoeler-Berkaloff pour tous les mois

L'observation du diagramme de Schoeler-Berkaloff, montre que la majorité des mois ont la même origine, et le reste des mois ont des différentes origines comme les mois (septembre, octobre, novembre).

V.4 Aptitude Des Eaux A L'irrigation

La qualité chimique des eaux influée directement sur le rendement des terres agricoles, a cet effet et étant donné que la zone d'étude et à vocation agricole et est destinée essentiellement à la monoculture céréalière, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques pour les plantes et les sols. (DJEMMAL, 2009)

V.4.1 Caractérisation des eaux pour l'irrigation

Le sodium a un effet particulièrement néfaste sur la végétation. Les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes, La qualité de l'eau pour l'irrigation est déterminée par :

Méthode de Sodium Absorption Ratio (SAR) : (Fig. 40)

Cette méthode fait intervenir et le risque d'alcalinisation des sels, le SAR est défini comme étant une mesure du pouvoir de remplacement des ions Ca^{++} , Mg^{++} par Na^+ dans les argiles et les colloïdes. Il peut être estimé par la relation de Richard (1954) :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Où :

Na : Concentration de l'eau en ions de sodium (még/l)

Ca : Concentration de l'eau en ions de calcium (még/l)

Mg : Concentration de l'eau en ions de magnésium (még/l)

La combinaison du SAR et de la conductivité électrique de l'eau (Figure 40 et 41) permet la classification de l'eau à l'irrigation selon les classes suivantes :

1-La classe C2S1 : Elle caractérise une eau bonne pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels.

Cette classe représente les eaux de faible minéralisation

2-La classe (C3S1): Elle englobe, généralement les eaux moyennement minéralisées avec des risques de salinisation moyens et de faible alcalisation ;

3- La classe (C4S1-C4S2) : Cette classe se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne. .

4- La classe (C4S3) : Cette classe se caractérise par les eaux de très forte minéralisation, présentant des grands risques de salinisation des sols, et ne convenant pas à l'irrigation.

V.4.1.1 Classification des eaux par la méthode de Wilcox

Selon (Gouaidia, 2008) généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l'irrigation. Le %Na⁺ est défini par la relation suivante :

$$\%Na^{+} = \frac{Na^{+}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+})} \times 100$$

Avec :

Tous les ions sont exprimés en méq/l

Cette classification définit 5 classes d'eau : Excellente, Bonne, Admissible, Médiocre et Mauvaise

V.4.1.2 Classification des eaux par la méthode de Riverside

Dans le but de mettre en relief l'effet de la lithologie sur l'aptitude des eaux à l'irrigation, La répartition de cette qualité a fait apparaître Quatre classes :

1-Bonne C2S1 : Elle caractérise une eau bonne pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels. Cette classe représente les eaux de faible minéralisation

2-Admissible C3S1, C3S2: Généralement, ces deux classes renferment des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée.

3-Médiocre C4S1, C4S2: elles représentent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés

4- Mauvaise (C4S3) : Cette classe se caractérise par les eaux de très forte minéralisation, présentant des grands risques de salinisation des sols, et ne convenant pas à l'irrigation.

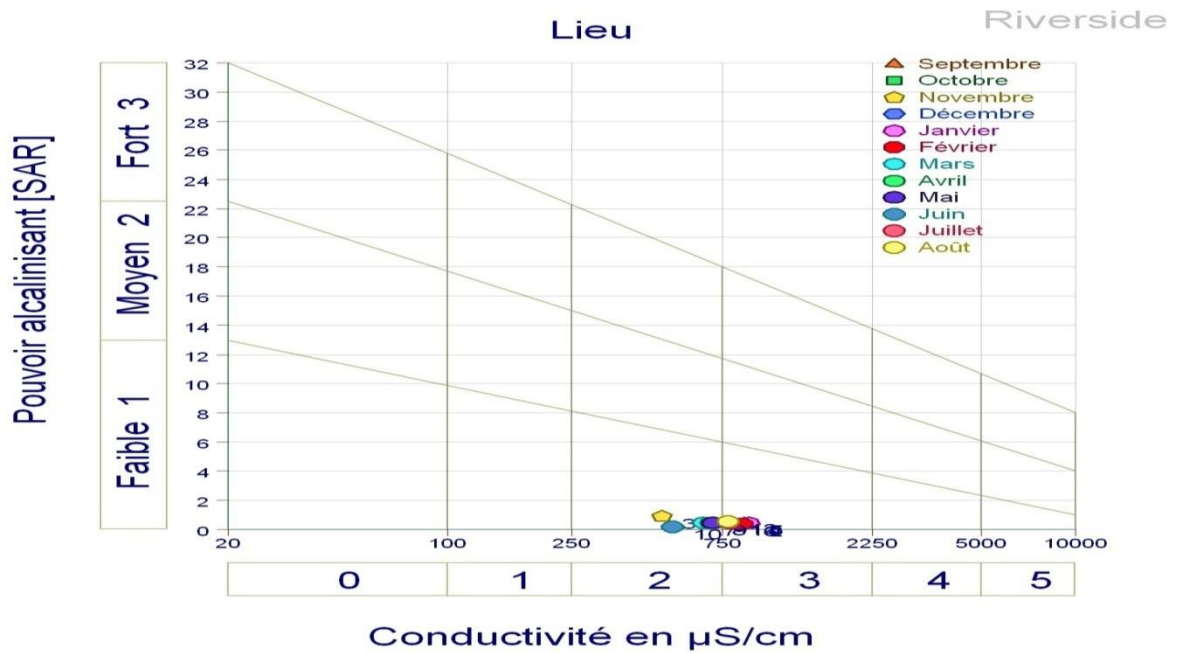


Figure 40 : Diagramme de Riverside mensuelle pour tous les échantillons

Il apparaît donc que les eaux sont d'une faible salinité pour l'irrigation. Il est à noter l'inexistence des deux premières classes de la CE à savoir : C1 ($0 \text{ mS/cm} < \text{CE} < 0,25 \text{ mS/cm}$) et C2 ($0,25 \text{ mS/cm} < \text{CE} < 0,75 \text{ mS/cm}$).

La classification classique de Riverside (1954) montre que notre échantillon présente deux classes :

La meilleure classe de ces eaux est C2S1 de qualité bonne avec cinq échantillons 41.66% (novembre, juin, mars, avril, mai)

La classe C3S1, avec sept échantillons 58.44% (Janvier, février, juillet, août, septembre, octobre, décembre), présente des eaux à qualité admissible à l'irrigation, l'eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels sur les sols drainés

Tableau 27 : Qualité chimique des eaux du bassin Foum El Gueiss

Qualité chimique des eaux		
Bonne (%)	Admissible (%)	Totale
41.66	58.44	100

Le diagramme de Wilcox (Figure 41) confirme cette interprétation, car on a la même représentation des concentrations des points dans les mêmes classes citées auparavant.

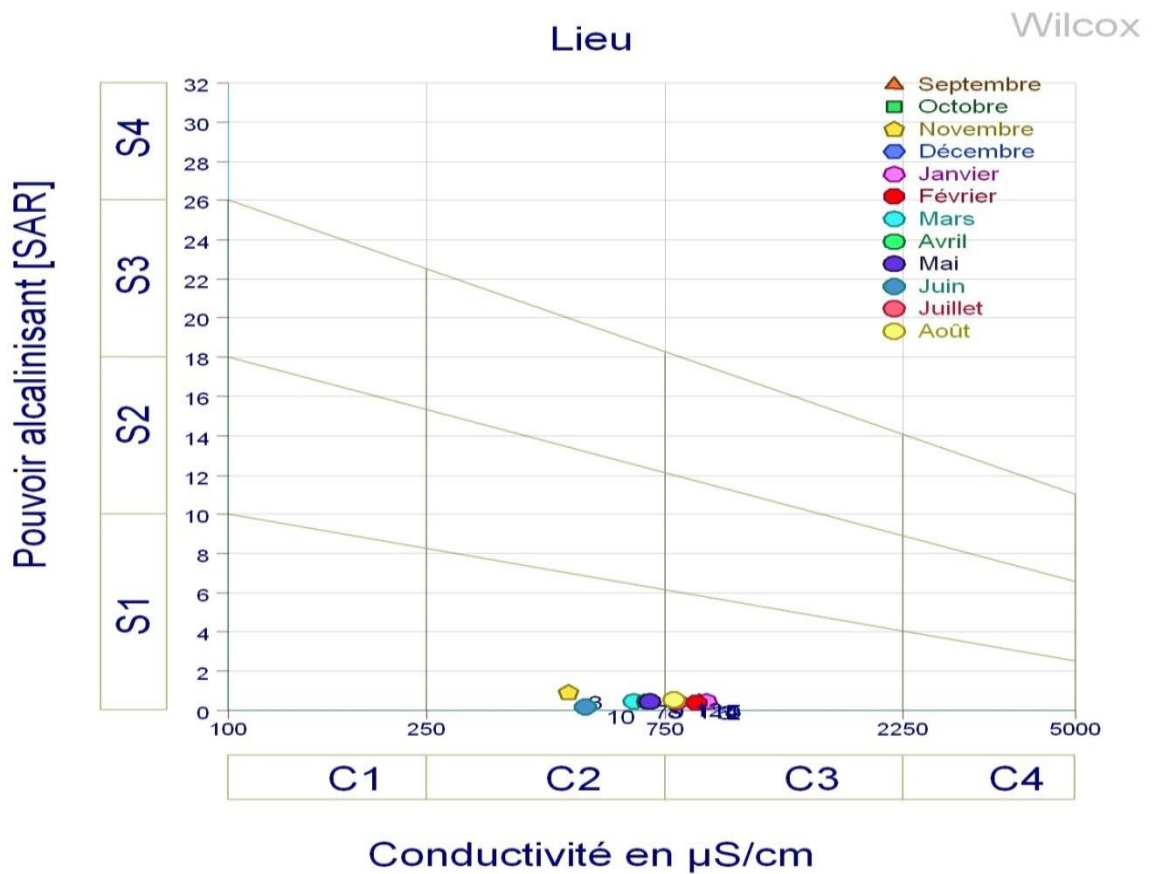


Figure 41 : Diagramme de Wilcox pour tous les échantillons

V.5 Conclusion

La qualité des eaux de bassin de Foum El Gueiss dépend de plusieurs paramètres physiques et chimiques. Leurs variations temporelles sont dues à des facteurs climatiques

Toutes les teneurs des paramètres physico-chimiques sont acceptables selon les normes de l'OMS

A partir de l'étude comparative de la qualité des eaux trouve que

l'influence des paramètres climatiques est faible

Dans notre région d'étude le faciès dominant est sulfaté-calcique avec 91,66 % suivi du bicarbonaté-calcique avec 8.34 %.

Selon la classification de Riverside montre que :

notre région d'étude présente deux classes, la première est bonne, et la deuxième est admissible

Les eaux de bassin de Foum El Gueiss conviennent à l'irrigation, car elles présentent des conductivités à la norme de l'OMS,

Conclusion Générale

Notre étude a abouti aux conclusions suivantes :

- L'étude géologique du bassin de Fom El Gueiss a montré que les formations carbonatées sont d'âge Crétacé. Les formations d'âge Mio-Plio-Quaternaire occupent la totalité du bassin.
- Le bassin possède un réseau hydrographique développé où les principaux oueds alimentent le bassin comme oued Fom El Gueiss et oued Isswel
- Le climat qui règne dans notre région d'étude est semi-aride, il est caractérisé par un hiver froid et printemps pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations moyennes annuelles, sur une période de 18 ans (1994 – 2011), estimées à 499.77 mm, La température moyenne interannuelle est de 16.96°C.
- Le ruissellement ne représente que 11,49 % des précipitations, ce qui représente 57,46 mm.
- L'infiltration est estimée à 2.81 %. Ce qui permet de percoler 14.06 mm Cette dernière contribue à l'alimentation des nappes souterraines à partir de la surface.
- Les valeurs les plus importantes de la perméabilité se localisent aux les formations quaternaires, leur extension est surtout dans les montagnes de Kouanana et l'Aurès du bassin versant
- L'étude hydrochimique montre que : La présence de deux faciès chimiques marquant l'hétérogénéité de la lithologie. En effet, on peut citer les faciès sulfaté et bicarbonaté calciques résultant des formations carbonaté et salifère,
- La répartition temporaire des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la région.
- Le suivi mensuel de la qualité des eaux influencé par des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation)
- Les classifications de Richards et celle de Wilcox ont montré que les eaux de bassin conviennent à l'irrigation car elles présentent des conductivités à la norme de l'OMS

Liste Des References

ABDELLI H., AZZOUN S., BOULAHIA M., (1991) : Contribution à l'évaluation des ressources en eau dans Le bassin versant de l'oued Saf-Saf, Mémoire d'ingénieur d'université d'Annaba ,117page.

ANRH.,(2012) : Les analyses Hydrochimiques de barrage Foum El Gueiss Kais 2011

BELLOLA M., (2008) : Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiens), Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar Batna. 168 P.

Ben Aroua A., et Madani O., (2010) : Ressource et essai de gestion intégrée des eaux dans la Wilaya de Khenchela, Mémoire d'ingénieur d'université Abbes Laghrour Khenchela.72 p.

Boudabouze S., et Kadri N., (2008) : Le lagunage naturel et son impact sur l'environnement, Cas d'Oued Boughaguel, Mémoire d'ingénieur d'université Abbes Laghrour Khenchela. 79 p.

Boulabeiz M., (2006): Évolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution : Cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérien, Mémoire Magister d'université d'Annaba. 107 p.

CF., (2011) : Conservation des forêts de la Wilaya de Khenchela, cartes de la Wilaya de Khenchela, service des statistique et cartographique.

CHEDDAD S., (2009) : Apport de l'étude hydrogéologique dans l'étude et le traitement des glissements de terrains Cas du site de Bougaa, Algérie Nord orientale, Mémoire de Magister d'Université Mentouri de Constantine. 130 P

DJEMMAL S., (2009) : L'effet de la sebkha sur la qualité des eaux souterraines dans la partie sud-est de Sétif cas du guidjal, Mémoire de Magister d'université Mentouri-constantine.150 P.

DIB I., (2009) : L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux Souterraines de la plaine de Gadaine - Ain Yaghout (est algérien), Mémoire de Magister d'université hadj lakhdar Batna.108 P. **DPAT.,**

(2011) : Direction de la planification et l'aménagement du territoire de la Wilaya de Khenchela, service de statistique

NETHMANA M., (2006) : Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone Sud-Sétifien, Mémoire de Magister d'université Hadj Lakhdar Batna.125 P.

François A., Jean R ., Nicolas L., (2005) : Hydrologie (cheminement de l'eau), Presses internationales polytechniques, Hydrologie. p 103.

FT.,(2005) : Fiche technique du barrage Foum El Gueiss, Caractérisations du barrage.

Jacob F., Oliso A., Gu X,F., Su Z, & Seguin B., (2002): Mapping surface fluxes using airborne visible, near infrared, thermal infrared remote sensing data and a spatialized surface energy balance model, Agronomy, n°22, pp 669-680.

Jensen H. S., Andersen F. Q., (1992): Importance of temperature, nitrate and ph for phosphate release from aerobic sediments of four shallow europhic lakes, Oceanogr, volume 37, n°3, pp 557-589.

Guasmi I., (2009) : Pollution des eaux et pouvoir auto-épurateur de l'oued Medjerda (nord-est Algérien), Thèse de Doctorat d'Universite Badji Mokhtar-Annaba, 205 P.

Kadi A., (1997) : La gestion de l'eau en Algérie, Revu Hydrologique Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques. p 191-197.

Khabthane H., (2010) : Contribution à l'étude du comportement écophysologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela, Mémoire Magister, Université de Constantine. 152 p.

MEBARKI A., (2005) : Hydrologie des bassins de l'est algérien ressources en eau, aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'université Mentouri de constantine. 332 P.

MEHEMI F., (2009) : Essai de modélisation de l'écoulement et risques d'inondation dans le piémont nord-est des Aurès approche geosystemique, Mémoire de Magister d'université el hadj lakhdar Batna.185 P

MEKAOUI S., SAMRI H., (2009) : L'impact des rejets de l'unité de baryte d'Ain Mimoun sur le bassin versant de Foum EL Guiss, Mémoire d'ingénieur d'université El Hadj Lakhdar Batna.72 P

Noemi d'Ozouville., (2002) : Contribution a l'étude hydro-geochimique du bassin versant de Kaluvelly, Sud-Est de l'inde, Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie, Université pierre et marie curie, Université paris-sud, Ecole des mines de paris & Ecole nationale du Génie rural des eaux et des forets. 52 p.

OUALJAOUI M., DJOUDI S., (2011) : Contribution à la question de l'origine du fer dans les eaux de la station de traitement par osmose inverse d'El Ouldja (Sud de Khenchela), Mémoire de master d'université Laghrour Abbes Khenchela. 96 P.

Rechachi H., Bekhouche O., (2011) : Synthèse hydrochimique des eaux de la plaine de Meskiana, Mémoire de Master d'université Laghrour Abbes Khenchela.68 P.

Schuiling R. D., (1988): Introduction to geochemistry, Dept, Of geochemistry Utrecht university, The Netherlands.

SM.,(2011) : Station météorologique de El Hamma ,Wilaya de Khenchela, Données Climatiques 1994-2011.

Tabet S., (2008) : Le changement climatique en Algérie orientale et ses conséquences sur la végétation forestière, Mémoire de Magister Université Mentouri Constantine. 132 P.