Université d'Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Magister
Sciences de la Terre
Option : Hydrogéologie

HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED M'ZI (LAGHOUAT, ALGERIE)

Présentée et soutenue publiquement par :
Mme Aissaoui Asma

Devant le jury composé de :

MAHBOUBI Mahammad	Professeur	Université d'Oran 2	Président
STAMBOUL Madani	Professeur	Université de Laghouat	Encadreur
SAFA Aïssa	M.C.A.	Université d'Oran 2	Co-encadreur
MANSOUR Hamidi	Professeur	Université d'Oran 2	Examinateur

Année 2016

«HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANTDE L'OUED M'ZI »

(LAGHOUAT, ALGERIE)

Résumé :

Le présent travail consiste à étudier un bassin versant typique des climats arides et semi-aride dans celui d'Oued M' zi. Contrairement aux études faites précédemment tenant en compte seulement la vallée de l'Oued M'zi, dans ce modeste travail on a essayé d'étudier tout le bassin versant de Oued M'zi de l'amont (Atlas Saharien Central, Aflou) jusqu'à la plate forme saharienne (Laghouat et Ksar El Hirane).

Du point de vue géologique le bassin de Oued M'zi est à chevale entre deux domaine différents, atlasique (Djebel Amor) et la plate forme saharienne au Sud. Dans un premier temps, nous avons tenté à caractériser quelques facteurs en particulier physiques, géologiques et climatiques régissant l'écoulement.

Une étude hydrologique et morphométrie en utilisant outil SIG (Arcgis) et des données SRTM ont permet d'extraire les caractéristiques physiques et hydrologiques du bassin.

Dans le volet hydrogéologique, l'accent est mis caractérisations des nappes, en proposant plus de détail sur les différents aquifères et leurs comportements hydrodynamiques ainsi que la piézométrie dans l'amont (Aflou) et aval du bassin (Laghouat).

En utilisant les données chimiques disponibles sur la région du Madna, nous avons essaie d'aperçue la nature chimique et la qualité des eaux de la nappe Barreimien-Aptien-Albien.

Mots – clés : Oued M'zi, Laghouat, SIG, Morphométrie, Hydrologie, Hydrogeologie, Hydrochimie.

"هدروجيولوجيا و هيدرولوجيا حوض واد مزي (الاغواط-الجزائر)"

ملحص :

يتطرق هذا العمل الى دراسة حوض مائي موجود في سياق مناخي جاف و شبه جاف آلا و هو حوض واد مزي بالاغواط. من منظور جيولوجي حوض واد مزي يندرج ضمن نطاقين جيولوجيين مختلفيين اطلسي (جبال عمور) في الشمال و المائدة الصحراوية جنوبا. باستخدام نظم المعلومات الجغرافية و معطيات SRTM تمت دراسة الخصائص الهيدرولوجية و الشكلية لهذا الحوض

في اطار الدراسة الهيدرولوجية تم التطرق الى خصائص الطبقات الحاملة للمياه مع اقتراح المزيد من التفاصيل حول ديناميكية المياه في هذه الخزنات بالاضافة الى دراسة البيزومتري فى منبع (افلو) ومصب هذا الحوض (الاغواط).

استخدمت المعطيات المتاحة في منطقة "مادنه" في دراسة الطبيعة الكميائية و نوعية المياه لكل من طبقات الالبيان-الابسيان و البريميان.

كلمات مفتاحية واد مزي.الاغواط .نظم المعلومات الجغرافية. تضاريس الهيدروجيولوجيا .الهيدرولوجيا .كيمياء المياه

DEDICACE

Je dédie ce travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

À mes très chers parents

À mes frères

À ma sœur LINA

A NADIA , YAMINA ,et KAMILIA

À mon cher mari, pour la patience et le soutien dont il a fait preuve pendant toute la durée de ce travail et à qui je voudrais exprimer mes affections et mes gratitudes.

À ma fille MARAM TASNIME

À ma belle famille

À tous ceux qui, ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail

Merci infiniment.

TABLE DES MATIERES

Dédicace……..

Résume……

Chapitre I :……...

I-Introduction :……..…….…….1

II-Cadre géographique générale : ……...…….....2

III-Cadre géographique local : ……...……..3

VI-Cadre géologique générale :……5

VI-1 Stratigraphie de l'Atlas saharien :……...……5

a-Trias :……....……5

b-Jurassique (fig.4)…….…...…..…6

b.1-Serie du ElBayadh: (Bathonien –Oxfordien): ……7

b.2- La serie du Brizina 900m (Kimméridgien inférieur)……..……7

B.3-la serie de Laghouat 900m (Kimméridgien supérieur)……...……8

b.4-Série d'Ain Rich, 250 m Portlandien – Berriassien :……...…….8

c-Crétacé inférieur (fig.5)……..….....…8

c.1-Barremien ……8

c.2-L'Albien : ……..…8

d-Crétacé supérieur :……9

d.1-Cénomanien…….....….10

d.2-Turonien……...…10

d.3-Sénonien…….11

e-Tertiaire :……..…..…12

f-Quaternaire :……...14

VI-2 Structure de l'Atlas saharien central (Fig 6)……...…14

a-Les plis : ……15

b-Les failles ……..……15

V.2-Cadre Structural de Laghouat……..……17

VI- L'origine de la vallée d Oued M'Zi…….18

VII-Conclusion :……..….18

Chapitre II

I-Introduction:……...…19

II- Les paramètres climatiques : ……20

a-Les précipitations :……...…20

a.1-Pluviométrie mensuel: ……..…20

1. Station de Sidi Bouzid :……21
2. Station d'Aflou: ……21
3. Station de Oued Morra : ……21

4. Station d 'El Ghicha : ……21
5. Station de Seklafa : ……22
6. Station de Tadjmout : ……22
7. Station de Sidi Makhlouf : ……22

8. Station de Ksar El Hirane……22

a.2-Pluviométrie annuelles : ……23
a-3Variations interannuelles des précipitations ……27
a-4 Le coefficient pluviométrique : ……27

A-5 Etude statistique des précipitations annuelles : ……29
1-ajustement à la loi normale……29
A.5-Test du χ_2 : ……33
a-6Etude de la pluviométrie saisonnière : ……34
b-La Température ……35

b-1-Variations des températures moyennes mensuelles……35

1 Station d' Aflou: (Fig.17) ……36
2-Station de Laghouat ……37

c-L'humidité de l'aire……37

d- L'insolation ……38

e- Le vent ……38
f-Caractérisation du climat ……39
f-1-Methodes graphiques……39

1-Diagramme Ombro-thermique ……39
2-Diagramme ombrothermique d'Euverte: ……40
g-Les paramètres climatiques : ……41

g-1- Indice De Martonne : ……41
g-2-Indice de continentalité de Kerner : ……42
g.3-Indice pluviométrique de Moral : ……43

g.4-Méthode de Stewart : ……43
g.5-Climatogramme d'Emberger: ……43
h-Comparaison des indices ……44

i-Evaporation : ……45
j-L'évapotranspiration……46
k-Evapotranspiration potentielle ETP : ……47
k.1 -Formule de Thornthwaite : ……47

l-Evapotranspiration réelle ETR : ……48
l.1- Formule de Turc : ……48
l. 2-Méthode de Wundt : ……48
l.3- Formule de Coutagne : ……49
l.4- Méthode de Verdeil : ……49

l.5-Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwate : ……..…50
m-Bilan hydrologique ……..……..……..……..……..……..……..……..……..……..…54
m.1-Ruissellement superficiel : ……..……..……..……..……..……..……..……54
m.2-Infiltration : ……..……..……..……..……..……..……..……..……..……..55

III-Conclusion ……..……..……..……..……..……..……..……..……..……..……55

Chapitre III

I- CARACTERISTIQUES DE FORME ……..……..……..……..……..……..……..……56

II- HYDROGRAPHIE ……..……..……..……..……..……..……..……..……..……..…56
a - PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED M'zi ; ……..……..……56
b. Réseau hydrographique :……..……..……..……..……..……..……..……57

b-1- Hiérarchisation du réseau……..……..……..……..……..……..……...58
b-2. Paramètre du Réseau Hydrographique ……..……..……..……..……..…59
1-Rapport de confluence ……..……..……..……..……..……..……..…..59
2-Rapport des longueurs(fig.40) ……..……..……..……..……..……..…61
3-Densité de drainage ……..……..……..……..……..……..……..……62
4-La densité hydrographique ……..……..……..……..……..……..……63
5-Coefficient d'allongement (E)……..……..……..……..……..……..…63
6-Le coefficient de torrentialité……..……..……..……..……..……..…63
7-Temps de concentration……..……..……..……..……..……..……64
II-COEFFICIENT DE COMPACITE ET MODELE DE REPRESENTATION : ……..……..…64
a) COEFFICIENT DE COMPACITE GRAVELIUS……..……..……..……..……..64
b) b- MODELE DE REPRESENTATION ……..……..……..……..……..……..64
c) Rectangle équivalent ……..……..……..……..……..……..……..……..65
d) Répartition altimétrique du BV :……..……..……..……..……..……..65

III- ETUDE DU RELIEF ……..……..……..……..……..……..……..……..……66
a-La Courbe hypsométrique……..……..……..……..……..……..……..……66
b- Indices de pente……..……..……..……..……..……..……..……..……68
b-1 Pente moyenne……..……..……..……..……..……..……..……..…68
b-2 Indices de pente de Roche Ip……..……..……..……..……..……..…68
b-3 Indices de pente globale Ig……..……..……..……..……..……..……69
b-4-La dénivelée spécifique……..……..……..……..……..……..……..…70
c- Etude du profil en long ……..……..……..……..……..……..……..…70
IV-Géomorphologie :……..……..……..……..……..……..……..……..……70
a-Morphologie :……..……..……..……..……..……..……..……..……..……70
b- Topographie :……..……..……..……..……..……..……..……..……..……71
V- Conclusion :……..……..……..……..……..……..……..……..……..……73

Chapitre IV

I-Introduction :……..……..……..……..……..……..……..……..……..……74

II- ETUDE DES DEBITS (LES LAMES D'EAUX ECOULEES)……..……..……..…75

a- Etude des débits annuels: ……..……..……..……..……..……..……...75

a-1- Ajustement des débits annuels max ……..……..……..……..……..……75

a-2 Test de x2 : ……..……..……..……..……..……..……..……..……..……76
b. Etude des débits moyens annuels (1971 - 1987) : (Fig. n°48) :……..……..……77

c. Etude des débits moyens mensuels (1971 - 1987) : (Fig. n°49)…….....…….……78

a-3. Débits minima mensuels (1975-86) : (Fig. N°48)…….....……..…80
c.2.Débits maxima mensuels (1975-86)……..…….……80
b. Etude des débits moyens mensuels : (Fig. N°47)…….……..…….……81
b-1 Le coefficient mensuel du débit ……..…….……..….81
c-variation saisonnière des débit :…….…….……..….82
d-. COURBE DE TARAGE : (Fig 52)…….…….……...……83
e-Etude de la courbe de tarissement : …….…….……83
f-Calcul et évaluation de la quantité d'eau moyenne tombée sur le bassin versant de l'oued m'zi : …….…….…….…….…….…….…….85
f-1-Méthode de la moyenne arithmétique : …….…….……85
f-2-Méthode de Thiessen…...……...85
f-3-La methode des hisoyettes. ……....85
-Conclusion.....88

Chapitre V-

I-Introduction…….…….…….…….…….…….…….89
II-Les phénomènes structuraux (Fig 56)…….…….…….……89
III-Description des aquiferes: ….…….…….…….…….....90
a. Aquifère du Kimméridgien gréseux et argilo-gréseux (formation de Khaloua): ……..90
b.Aquifère du Portlandien…….…….…….……..…..91
b-1-Aquifère des calcaires du Portlandien Inférieur (La base de la formation calcaire de Zeireg) : (Fig. N°)…….…….…….…….……...91
b-2. Aquifère des grés à chenaux du Portlandien Supérieur (formation de Tadmit inf.)93

c. Aquifère des calcaires du Néocomien sup.(Le sommet de la formation de Tadmit sup)….94
d. Aquifer des grés du Barrémien-Albien : …….…….……94
d.1. Barrémien-Albien : …….…….……...….94
e. Aquifère du Mio-Pliocène ……..….95
f- Aquifère des alluvions quaternaires……..….96
IV. Etude de l'aquifère du Barrémien-Albien ……..96
d-2. Les forages captant l' aquifère du Barrémien :.....96
a-essais de pompage : ……..…….....…99
IV- Piézométrie :……...…….……101
b2. Hydrodynamique……...……102
a-Piézométrie de la cuvette d'Aflou : …….……102
d2. Caractéristiques hydrodynamiques :……..103
Pompage d'essai forage AFIII …….....103

VI-Prospection hydrogéologique avec système d'information géographique (SIG) du bassin de Oued M'zi……..104
a-Constitution d'une base de données pour la réalisation de la carte de potentialité des eaux souterraines. ……105
b-Réalisation des cartes thématiques de bases : ……105
b-1 La carte des pentes : ……107
b-2 La carte de perméabilité : ……108

b-3 La carte de densité de drainage : ……108
b-4 La carte de la densité de fracturation : ……109

b-5Réalisation de la carte de potentialité des eaux souterraines du bassin versant de Oued M'zi : ……110
b-6 Résultats et discussions ……..…111
VII-CONCLUSION : ……..113

Chapitre VI

I-Introduction : ……..…114

II-Analyse statistique des paramètres et éléments chimiques :…….……...114

a-Analyse en Composantes principales « ACP » : ……114

b. Corrélation: ……... ….117

III. LES PARAMETRES PHYSIQUES (Tab): ……..119
a- Le potentiel d'hydrogène (pH) : ……...……...……...119

b-Le résidu sec: ……..119
c-la Conductivité électrique: ……..119

d-La minéralisation : ……..119

IV- LES PARAMETRES CHIMIQUES :
a- Les cations : ……119
a-1 Le Calcium (Ca^{+2}) ……119
a-2 Le Magnésium (Mg^{+2}) ……120
a-3 Le Sodium (Na^{+}) : ……121
a-4 Le potassium (K^{+}) : ……..122

b- Les anions : ……123

b-1 Les Bicarbonates (HCO_{-3} ou hydrogénocarbonates) : ……123

b-2 Les sulfates (SO_4^{-2}) ……124

b-3Le Chlore (Cl^{-}) ……125
b-4Les nitrates (NO^{-3}) : ……126
V- LES FACIES CHIMIQUES :……128
VI-POTABILITE DES EAUX (NORME ET QUALITE) : ……..130
a- Normes de potabilité selon le degré hydrométrique :……130
b-APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION: ……....131
VII-CONCLUSION : ……132

CONCLUSION GENERALE……133

Introduction générale

Chères, précieuse, vitale, l'eau est, indispensable pour notre existence ; pour cela et vue au développement rapide que connait notre secteur d'étude surtout la ville d'Aflou et Laghouat une étude des eaux souterraines et superficiels est nécessaire.

Contrairement aux études faites précédemment tenant en compte seulement la vallée de l'Oued M'zi, dans ce modeste travail on a essayé d'étudier tout le bassin versant de Oued M'zi de l'amont (Atlas Saharien Central, Aflou) jusqu'à la plate forme saharienne (Laghouat et Ksar El Hirane).

Dans le cadre de cette étude intitulée ''Hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de l'Oued M'zi'' on vise plusieurs objectifs qui sont :

Caractériser le bassin versant de l'Oued M'zi par l'analyse de quelques facteurs en particulier physiques, géologiques et climatiques régissant l'écoulement ;
Une étude hydrologique basée sur le traitement des données hydrométriques ;
Etablissement d'une cartographie chimiques pour évaluer la qualité des eaux du bassin ;
Mettre en valeur les différents aquifères qui peuvent être mis en exploitation.

Le mémoire s'articule en six chapitres :

Chapitre I : aborde une présentation générale du bassin versant de l'Oued M'zi (situation géographique, étude géologique) en précisant la lithologie et la structure des différentes formations.

Chapitre II : on s'intéresse à effectuer une étude climatiques du bassin versant en se basant essentiellement sur les données des précipitations, et des températures ainsi qu'aux autres paramètres climatiques(vents, nébulosité…etc.) avec une étude statistique afin de déterminer la loi d'ajustement de la distribution des précipitations.

Chapitre III : une étude morpho métrique, (caractéristiques de formes, hydrographie, et géomorphologie) sera un outils pour mieux comprendre le fonctionnement du bassin versant en précisant les différentes partie de ce derniers.

Chapitre IV : pour compléter les chapitre II et III il s'attache à décrire les paramètres hydrologiques à partir des débits enregistrés aux stations hydrométriques.

Chapitre V : on propose plus de détail sur les différents aquifères et leurs comportements hydrodynamiques ainsi que la piézométrie dans le chapitre d'hydrogéologie.

Chapitre VI : l'étude ne peut être complète sans faire un aperçu sur la qualité chimique de l'eau, sa potabilité et sa relation avec la nature lithologique du terrain ; tous cela sera traité dans le chapitre d' hydrochimie.

Enfin une conclusion générale sera donnée à la fin du travail.

Chapitre I

Généralitées

I- Cadre géographique générale : (Fig.01)

L'Atlas Saharien constitue une chaîne montagneuse dont les caractéristiques sont fondamentalement semblables sur toute l'étendue du Maroc au Nemmemcha.

L'Atlas Saharien se décompose en Algérie de cinq faisceaux qui se relaient d'Ouest en Est :

- Les Monts des Ksour.
- Le Djebel Amour.
- Les Monts des OuledNail.
- Les Aurès
- Les Nemmemcha

Ces faisceaux sont décalés les uns par rapport aux autres, mais rattachés entre eux par une série de plis secondaires légèrement obliques à la direction principale.

L'Atlas Saharien est limité au Nord par un accident moyen qui est la faille Nord Atlasique et au Sud par un autre accident celui de la faille Sud Atlasique. En se dirigeant de l'Est vers l'Ouest, les formations géologiques de l'Atlas Saharien deviennent de plus en plus anciennes et en même temps on assiste à un passage progressif du milieu marin au milieu continental pour les mêmes terrains. Les séries mésozoïques et cénozoïques présentent un ensemble plissé à sédimentation marine et continentale d'âge Jurassique et Crétacé. Les formations du Mésozoïque, de même âge deviennent de plus en plus carbonatées vers l'Atlas Saharien Oriental et détritiques vers l'Atlas Saharien Occidental.

Géographiquement l'Atlas Saharien est considéré comme le domaine de transition entre le domaine des Hauts Plateaux au Nord et le domaine saharien au Sud (Fig1). Il est constitué est par une chaîne montagneuse dont les caractéristiques sont fondamentalement semblables sur toute l'étendue du Maroc au Nemmemcha.

Orographiquement, la chaine de l'Atlas Saharien Central est caractérisée par des crêtes qui atteignent en moyenne 1400 à 1500m; les altitudes maximum prés d'Aflou s'élèvent à 1721m (Djebel Guern Arif), 1707m (Djebel Sid Okba) et 1583m (Djebel Zlag).

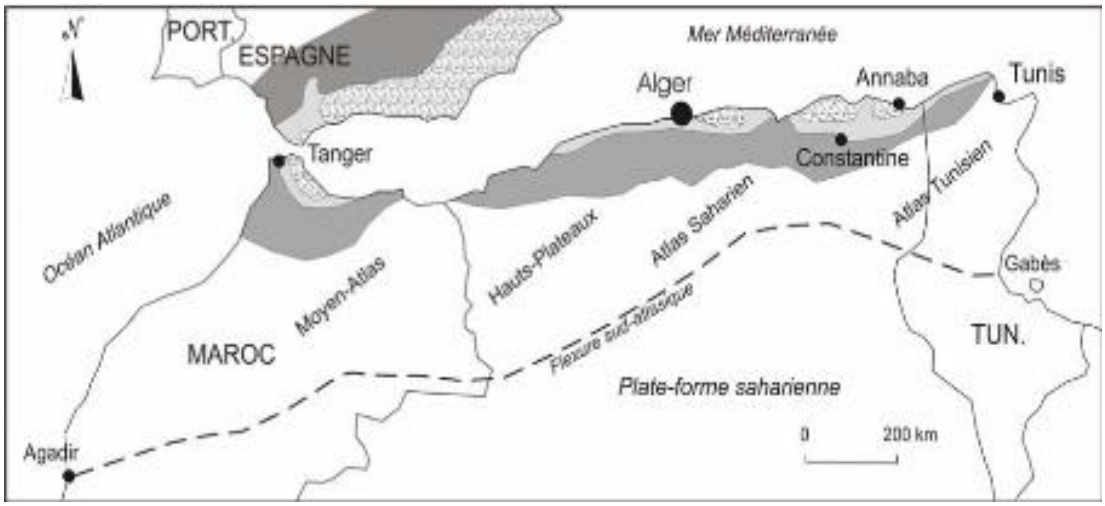


Fig. 01 : carte de l'Atlas Saharien dans son cadre régional.

II- Cadre géographique local : (Fig.02).

L'Oued M'zi constitue l'un des plus importants cours d'eau dans l'Atlas Saharien Central, il prend sa source au niveau d'Aflou dans le massif de Djebel Amour, vers le Sud-est de Laghouat il rejoint l'Oued Messaad d'ou il prend le nom de l'Oued Djedi (Fig03)qui se débouche dans le Chott Melghir au sud de Biskra après un parcours de 450 kms formant ainsi un système endoréique typique des régions arides et semi-aride (F SolielHavoup 1974).

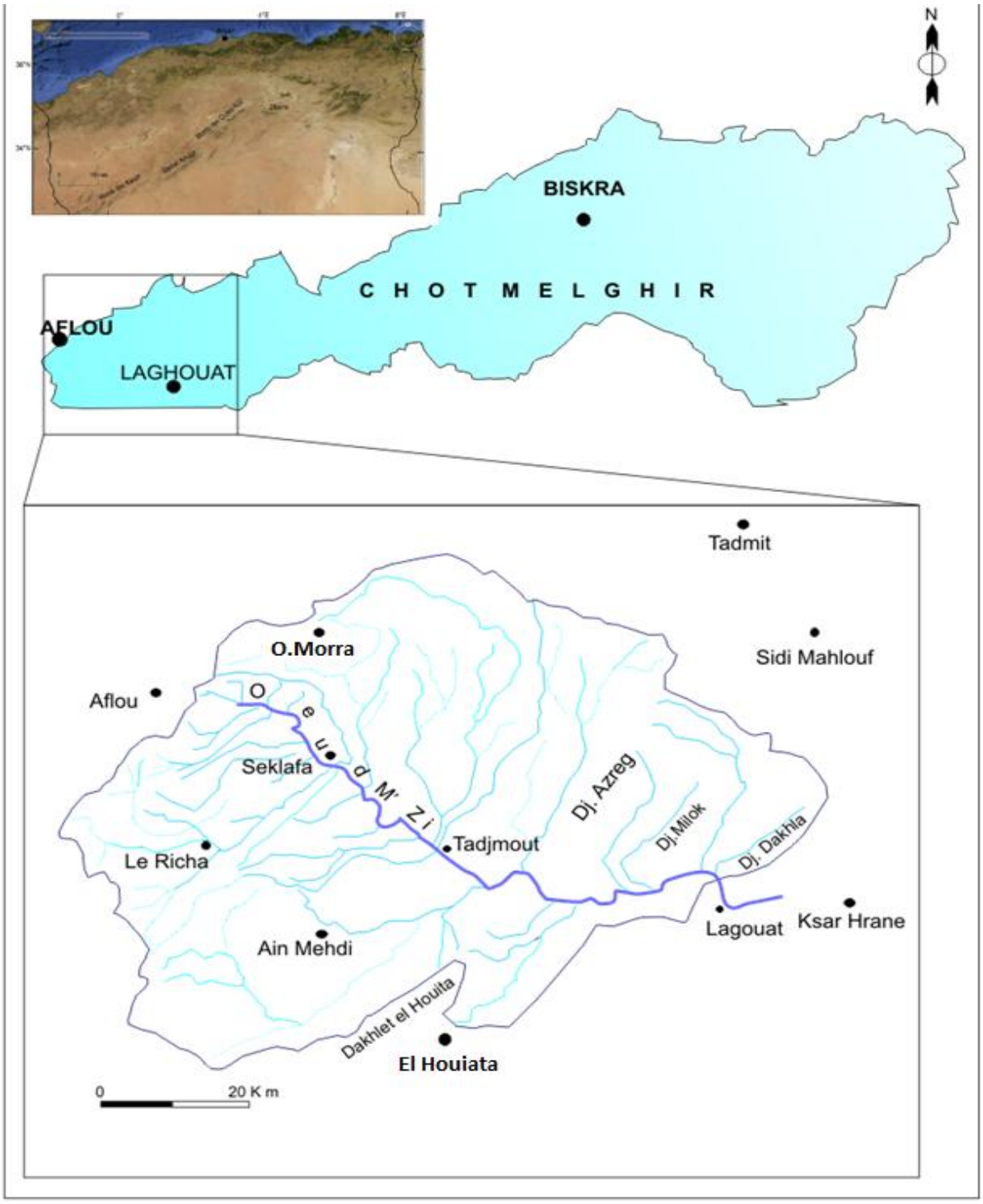


Fig. 02: Situation géographique du bassin versant de Oued M'zi

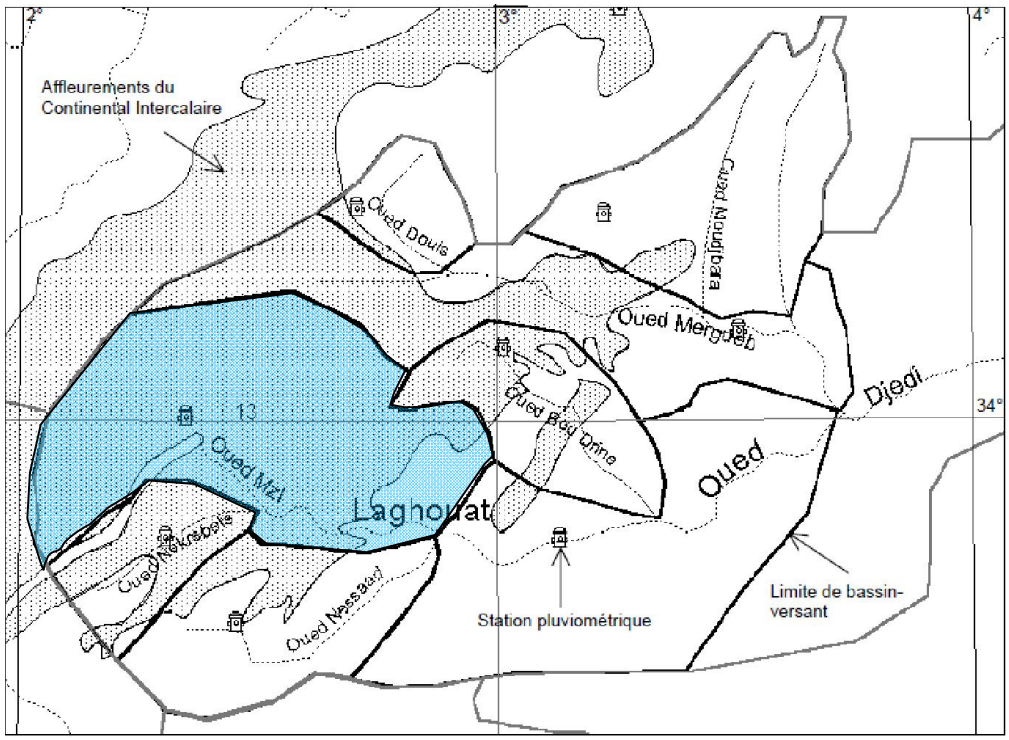


Fig. 03 *: Carte du bassin versant d'Oued Djeddi et ses affluents (Ould Baba, 2008).*

III-Cadre géologique générale :

L'Atlas Saharien est une chaine intracratonique qui doit son origine à un plissement de faible intensité, elle prend naissance au Maroc (Ritter 1901), c'est un sillon mésozoïque qui s'est formé à la périphérie sud de la plate forme épi-hercynienne (Wildi 1983), sa structure tectonique actuel est due au plissement alpin.

III-1 Stratigraphie de l'Atlas Saharien :

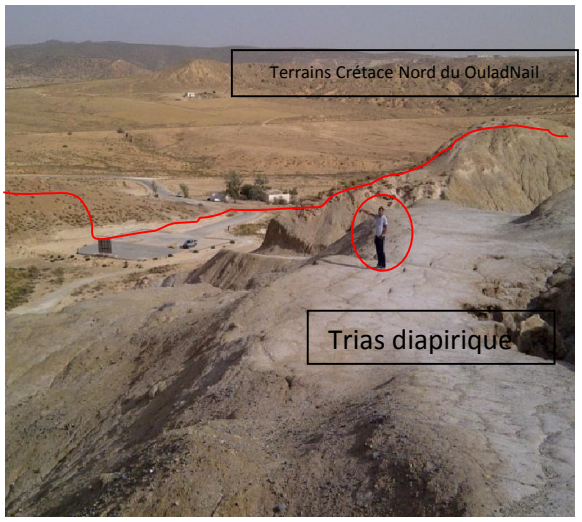
Plusieurs travaux d'ordre stratigraphique et sédimentlogique ont retracé l'histoire de remplissage du sillon atlasique depuis le Mésozoïque à l'actuel (Ritter 1901, Delfaut 1980, Ait Ouali, 1980,Mahboubi M. 1983, Mekahli 1986, Kazi-Tani 1986 et Herekat 1986).

a-Trias :

Les terrains attribués au Trias sans preuve paléontologique n'affleurent qu'en portion anormale à la faveur d'accident tectonique (Herekat 1986).Le Trias affleure sous forme de plusieurs lithofacies : marnes et argiles Bariolés, gypses, silts, grés, dolomie cargneule souvent accompagné de roches vertes probablement d'origine volcanique.

Rittet 1901 a dénombré cinq affleurements de gypse et de sel :

- Le Rocher de sel (Ph 1) et le pointement des ruines au nord de Djelfa (Mont de OuledNail).
- Les pointements :Guelb El Tir, Oued El Melah et Sidi Rahoul au niveau de Laghouat (Djebel Amour).



Pho1 : rocher de Sel (W: .Djelfa)



Pho2: Ophites (roches vertes) emballées dans les argiles (diapirique d'Ain Foueren à Aflou). (Laghouat 2011).

b-Jurassique (fig.04)

D'une manière générale le Jurassique de l'Atlas Saharien est caractérisé par un développement important à l'Ouest du méridien de Laghouat.

Au niveau de Djebel Amour seule la partie supérieure du Jurassique est connue, d'une puissance de plus de 2000m et d'une lithologie variées du Dogger daté Callovien par des Ammonites, le toit est daté Portlandien - Berriasien par des Calpionel.

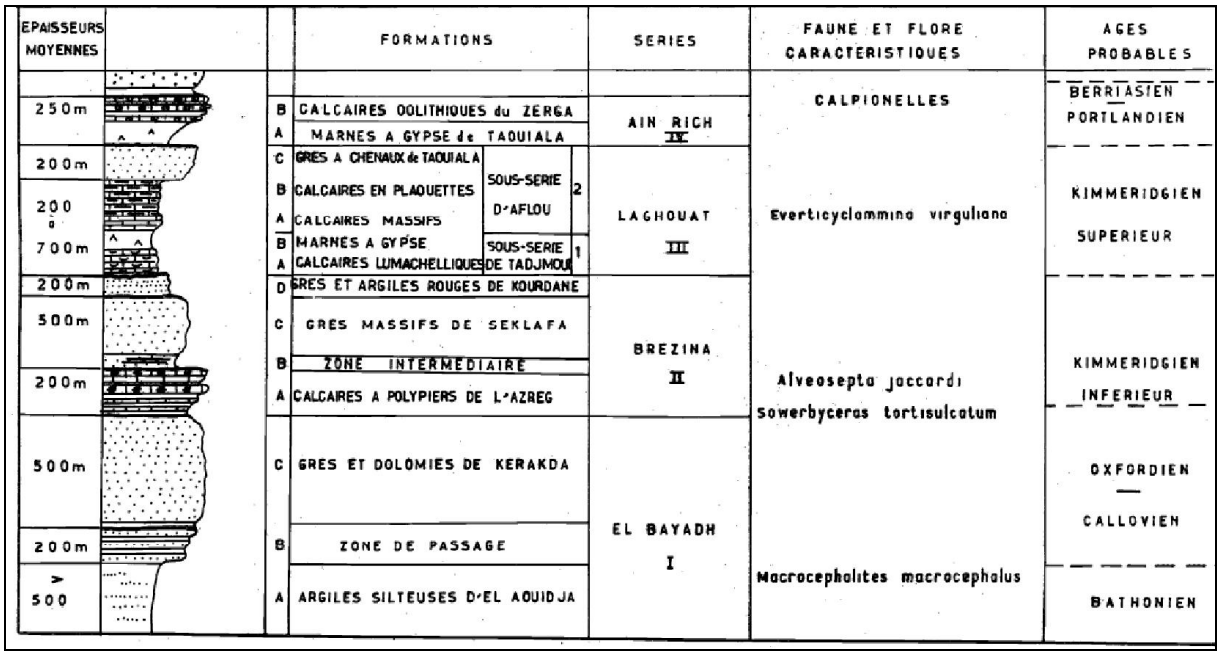


Fig.04 : Lithostratigraphie du Jurrassique du Djebel Amour (Abed, 1982)).

Les terrains attribué au Jurassique s'organisent en quatre séries sédimentaires, allons du Bathonien au Portlandien - Berriasien.

b.1-Série du El Bayadh: (Bathonien –Oxfordien): elle comporte en trois formations :

La formation des argiles silteuses d'El Aouidja (série IA d'El Bayadh) d'une puissance de 500m attribue au Bathonien.

La formation dite zone de passage (série IB d'El Bayadh) d'une épaisseur de 300m formée par des combes argilo-silteuse où s'intercalent des bancs gréseux décimétriques attribués au Callovo-Oxfordien.

La formation des grés et dolomie des Krakda (grés inférieur) série IC d'El Bayadh, 900m d'épaisseur au maximum.

b.2- La série du Brézina 900m (Kimméridgien Inférieur)

La formation de calcaires à Polypiers d'El Azreg constitué par un ensemble marno-calcaire (Série IIA de Brézina, 300 m d'épaisseur).

La formation dite zone intermédiaire est considérée comme une zone de transition entre les calcaires à polypiers et les grès massifs sus-jacents (Série IIB de Brézina, 110 m d'épaisseur).

La formation des grès massifs de Seklafa (grès supérieurs), est constituée par des grès massifs intercalés de lits argileux peu épais (Série IIC de Brézina, 300 m d'épaisseur).

La formation des grès et argiles rouges de Kourdane : elle se caractérise par la teinte rouge de ses faciès détritiques constituée de barres de grès intercalées de niveaux argileux (série IID de Brézina, 350 m d'épaisseur au maximum).

b.3-La série de Laghouat 900m (Kimméridgien Supérieur).

Elle est compose en deux sous-série :

La sous série de Tadjmout (200 à 400 m d'épaisseur): composée par deux formations : (i) La formation des calcaires lumachelliques à la base constituée par une alternance de marnes grises et de calcaires bioclastiques à lamellibranches, surmontée par (ii) la formation des marnes à gypse inférieure au sommet constituée par des marnes à intercalations de bancs massifs de gypse.

La sous série d'Aflou (300 m d'épaisseur) constituée par un ensemble marno-calcaire à la base subdivisé en deux formations : (i) La formation basale des calcaires massifs (ii) La formation sommitale des calcaires en plaquettes; et d'un ensemble argilo-gréseux sommital constitué d'une seule formation : la formation des grès à chenaux de Taouïala (200 m d'épaisseur) formée par une alternance de barres gréseuses décamétriques et de couches d'argiles un plus épaisses.

b.4-Série d'Ain Rich, 250 m Portlandien – Berriasien : Comporte deux formations :

La formation des marnes à gypse de Taouiala (50 à 200 m d'épaisseur) qui apparait sous forme d'une combe essentiellement marno-gypseuse qui affleure très mal.

La formation des calcaires oolithiques du Zerga qui apparait sous forme d'une corniche qui domine les formations plus tendres appartenant aux séries inférieures.

Elle est constituée par des bancs métriques de calcaires oolithiques séparés par de minces niveaux marneux ou marno-calcaires.

C-Crétacé Inférieur (fig.05)

c.1-Barremien : Cette période est caractérisée par une régression maximum. Dans l'Atlas Saharien le Barrémien se compose essentiellement d'une mégaséquence argilo-gréseuse continentale etd'alternance de calcaires plus ou moins dolomitiques.
Tandis que l'Aptien, partout, se termine par une barre calcaro-dolomitique qui est un excellent repère morphologique et stratigraphique.

c.2-L'Albien : Par sa composition lithologique, l'Albien constitue dans la morphologie un élément constant. Il forme généralement l'auréole de base de la majeure partie des synclinaux et plus rarement le cœur des anticlinaux. L'Albien est entièrement continental car l'Atlas

Saharien Central et Occidental et le bas Sahara sont restés émergés et ne seront atteints par la transgression que progressivement durant le Cénomanien. Dans les régions ou l' interstratification marine de l'Aptien supérieur est absente, l'Albien ne peut être différencié de la puissante série Barrémo - aptienne à faciès identique. On peut distinguer :

- **L'Albien Inferieur :** Le facies est gréso-argileux, représenté par des grés fins à stratifications entrecroisées, des niveaux à dragées de quartz, rarement des débris végétaux et argiles marneuses détritiques concluant la série.

- A Aflou : L'Albien inférieur présente une épaisseur supérieure à 300 m, ce sont généralement des grès rougeâtres à rosâtres, moyens à grossiers contenants des dragées de quartz de 2 à 3 centimètres de diamètre et présentant des traces de minéralisation (Pyrite). On trouve des débris de bois silicifiés.

- A Ain Mahdi : D'une épaisseur de 200 à 300 m, la formation commence par des argiles légèrement détritiques sur lesquelles reposent des grès tendres ou massifs bleus ou rouges, souvent friables à stratifications entrecroisées, admettant de fins niveaux d'argiles versicolores.

- A Laghouat : Au niveau du Djebel Milok, l'Albien est bien représenté avec des épaisseurs de 250 à 300 m. La roche d'une couleur rouge brique est généralement friable avec un ciment calcitique présentant une stratification entrecroisée avec présence de dragées de quartz.

- **L'Albien Supérieur :** On range ici toutes les formations marines. La limite inférieure est une limite purement lithologique elle correspond à un changement brutal de faciès avec disparition des «grès à dragées » et l'apparition d'un faciès carbonaté.

- A Aflou : Sur une épaisseur de 100 m, on peut observer des intercalations de marnes vertes parfois gypseuses et de bancs de calcaires à patine beige et cassure grise. La série se termine par des marnes vertes à poupées et de calcaires avec de fréquentes intercalations de calcaires argileux.

- A Laghouat : On peut observer une formation calcarèo - marneuse d'épaisseur variable (50 m au Djebel Milok). On y distingue de bas en haut :

- ✓ Des marnes vertes souvent masquées.
- ✓ Des grès tendres jaunâtres.
- ✓ Des calcaires en plaquettes et en bancs peu épais.

D-Crétacé Supérieur : Les dépôts du Crétacé Supérieur correspondent à un cycle sédimentaire marin qui se caractérise par l'alternance des formations dolomitiques et calcaires avec des dépôts argilo- marneux contenant parfois du gypse ou de l'anhydrite.

d.1 - Le Cénomanien :

Dans l'Atlas Saharien Central et Oriental, le Cénomanien repose sur l'Albien continental mais lorsque l'on se dirige vers le Sud Ouest on peut constater que ce sont des niveaux de plus en plus élevés dans la série Cénomanienne qui sont au contact de l'Albien (A. Cornet 1952).

Dans le Djebel Amour, la série est représentée par une alternance de calcaires dolomitiques et de marnes vertes parfois gypseuses avec des interstratifications gréseuses au sommet. Il faut aussi noter l'absence de fossiles caractéristiques.

Dans cette partie de l'Atlas Saharien, ce sont uniquement les formations terminales du Cénomanien qui ont conservé leur caractère marin, tout le reste de l'étage ayant alors un faciès continental.

- A Aflou : La formation est constituée de marnes gypsifères verdâtres, parfois intercalées de calcaires dolomitiques d'épaisseur métrique. Au sommet de la série apparaissent des bancs de gypse dont l'épaisseur ne dépasse pas un mètre. L'épaisseur de la formation est de 200 à 250 m.
- A Laghouat (Djebel Milok) : d'une épaisseur de 140 m, le Cénomanien comporte de bas en haut:

70 m d'alternance de gypse blanc, marne et dolomie.

15 m d'alternance dolomitique et gypseuse.

55 m environ d'alternance séquentielle; gypses, marnes vertes et dolomies plus ou moins gréseuses.

d.2- Le Turonien :

La mer Turonienne a recouvert sans discontinuité l'ensemble de l'Atlas Saharien et tout le Nord du Sahara. C'était une mer peu profonde dans laquelle se sont déposés des faciès métriques essentiellement calcarèo - dolomitiques présentant parfois une tendance récifale.

Du fait de sa constitution lithologique et de sa position structurale, le Turonien constituera un élément remarquable de la morphologie dans l'Atlas saharien.

Il forme en effet la corniche terminale des grands synclinaux perchés qui surplombent en falaise les formations tendres du Cénomanien.

Dans la littérature géologique, Flamand (1911) en avait fait «La haute muraille Crétacée», plus tard désignée comme «barre calcaire» par Cornet (1952).

Dans le Djebel Amour, beaucoup moins épais que dans l'Est du pays :

- au Djebel Milok (Laghouat) l'épaisseur du Turonien varie entre 150 et à 200. Il est formé par deux barres importantes de calcaires en plaquettes centimétriques à décamétriques à nombreux rognons de silex.
- A Aflou le Turonien débute par une alternance de calcaires micritiques parfois dolomitiques à patine beige, à cassure rose avec des marnes verdâtres gypsifères. Cette formations se continue par des calcaires massifs et de très rares nodules de silex. L'épaisseur de la formation atteint 120 à 150 m.

d.3 - Le Sénonien :

Les formations Sénoniennes n'apparaissent pas dans les régions occidentales du Djebel Amour. Les affleurements les plus importants sont situés à l'Est (entre El Houiata et Laghouat).

Le Sénonien couvre de faibles surfaces, il affleure dans la cuvette du synclinal Dakhla, la cuvette du Milok (Laghouat), et dans la chaîne qui va de Laghouat à Massaad.

L'une épaisseur varie de 200 à 300 m du bas vers le haut on aura :

- Des calcaires crayeux.
- Des calcaires en petits bancs, renfermant des nodules de silex.
- Des gypses et cargneules.
- Des argiles et une barre épaisse de calcaires gris massifs.

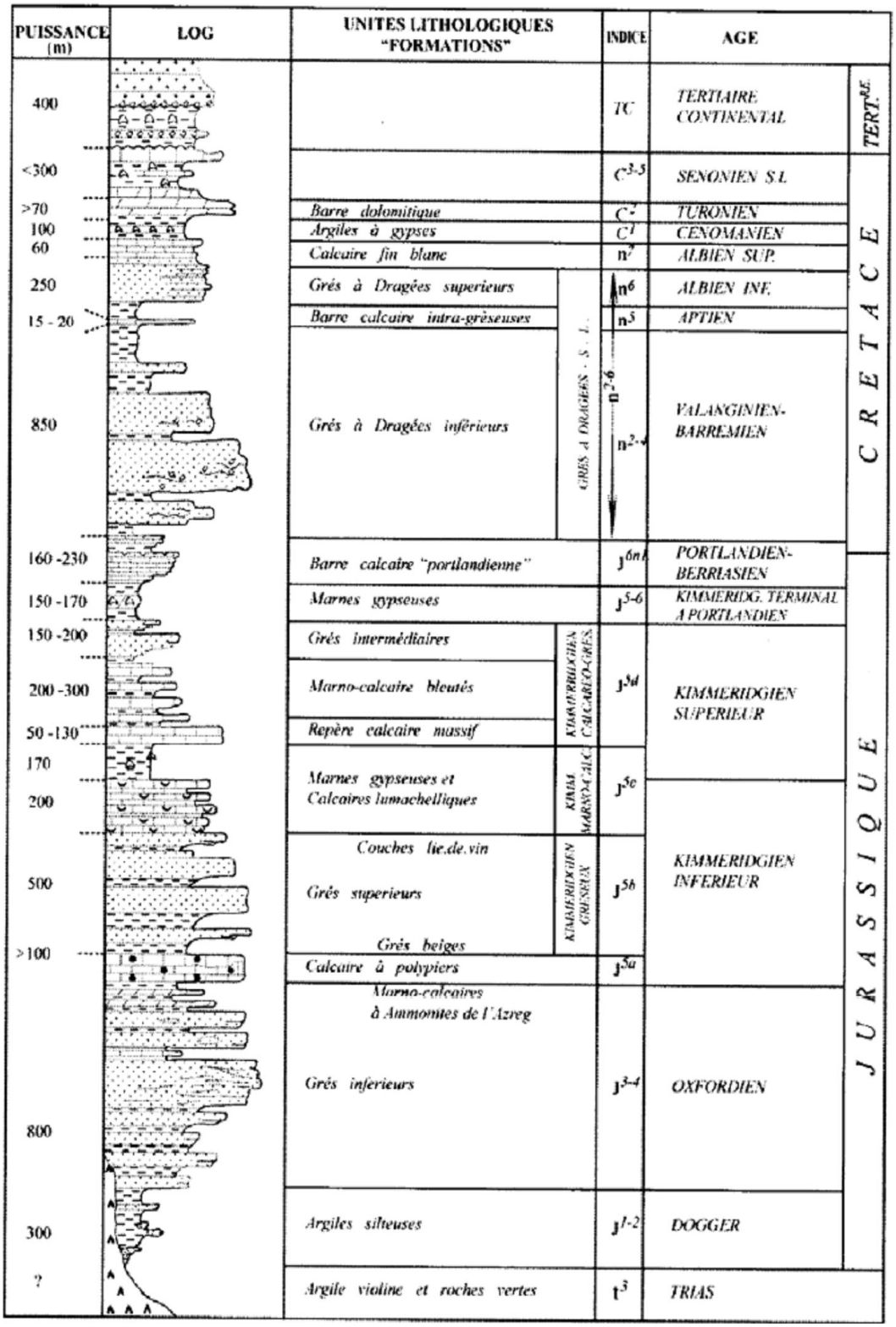


Fig.05 : Colonne stratigraphique de l'Atlas Saharien centrale (Guillemot et *al*.1974 non publiée).

e-Tertiaire : Les formations récentes sont le plus souvent conservées dans les cuvettes synclinales alors qu'elles ont été enlevées par l'érosion au niveau des anticlinaux. Dans cette partie de l'Atlas on note l'absence de dépôts marins. Les terrains Tertiaires affleurent le plus

souvent sur la bordure méridionale de la chaîne atlasique et se présentent sous forme de séries rouges concordantes ou discordantes (suivant leur position stratigraphique) sur les terrains Mésozoïques.

-Tertiaire continentale :

Mahboubi (1983) qui a étudié en détail les formations continentales post - Turoniennes de la partie Sud occidentale du Djebel Amour (El Khol au Sud-Est de Brézina) y a reconnu la disposition suivante :

e.1 - L'Eocéne :

Dans la localité d'El Khol (Sud - Est de Brézina), le Paléogène est formé par des dépôts rouges continentaux représentés par des marnes gypsifères, des grès argileux et des calcaires lacustres.D'une épaisseur de 100 à 400 m la formation constitue une unité lithologique variable. Suivant la nature lithologique et la variation verticale de faciès quatre membres peuvent être mis en évidence :

- Un membre de transition gypso - marneux.
- Un membre détritique inférieur (silt et grès)
- Un membre calcaréo - marneux intermédiaire.
- Un membre détritique supérieur (grès fluviatiles à stratifications obliques ou horizontales).

e.2 - Le Miocène :

De 70 à 150 m. Dans son ensemble cette formation continentale est constituée de poudingues, de sables et d'argiles. Deux membres ont été identifiés (Mahboubi 1983) :

- Un membre détritique grossier inférieur formé d'argiles roses, poudingues à gros éléments de l'Albien et du Turonien, conglomérats.
- Un membre supérieur argilo - sableux fin formé d'un ensemble homogène composé de sables argileux rouges où d'argiles rouges à tigillites.

e.3 – Plio - Pléistocène :

En discordance sur tous les terrains antérieurs la série est interrompue et ravinée par les cours d'eau actuels, cette formation est masquée le plus souvent par les atterrissements sableux d'âge Quaternaire.

A Laghouat : A la base le Mio – Pliocène est représenté par des argiles alternant avec des grès, des calcaires à poudingues. Vers le milieu par des marnes gréseuses rouges, alternant avec des grès jaunâtres et quelques passées de calcaires lacustres et de gypses.

Au sommet se sont des argiles rouges avec des calcaires lacustres. La formation se termine par une série détritique grossière, conglomératique et des sables rougeâtres.

A l'Est, près d'Ain Mahdi, on observe une accumulation de puissants dépôts d'origine détritique. A la base des conglomérats polygéniques de tailles très variables dont l'origine se trouve dans toutes les roches du secondaire. Au sommet se sont des argiles sableuses rouges.

- A Aflou :

La série débute par des niveaux métriques de conglomérats et se continue par des argiles rougeâtres gypsifères et sableuses en discordance sur les formations antérieures. L'épaisseur moyenne est de 60 m.

f- Le quaternaire

Il résulte de l'accumulation dans des zones topographiquement basses du matériel sédimentaire arraché à la chaîne par les actions érosives. Les alluvions ainsi formées sont constituées par des sédiments généralement fins. Ce sont des limons de couleur ocre souvent très chargés en matériel gréseux. Les niveaux grossiers à graviers ou galets y sont rares et lorsqu'ils existent sont bien localisés à la périphérie des formations conglomératiques du Tertiaire continental. Suivant leur limite d'accumulation, les alluvions ont des épaisseurs variables sans oublier que le réseau hydrographique actuel les entaille profondément.

Au niveau d'Aflou, le Quaternaire est visible dans les dépressions à proximité des thalwegs, on peut distinguer de bas en haut :

- Le Quaternaire ancien formé d'éléments grossiers, mal arrondis avec encroûtements calcaires. Leur altitude au-dessus des thalwegs est de 3 mètres, la présence des encroûtements calcaires, permet par référence à ce l'on connaît ailleurs de les attribuer au Salétien.

- Le Quaternaire récent formé d'alluvions calcaires limono - sableuses, situées à 1 mètre

au-dessus des thalwegs, elles pourraient appartenir au Soltanien.

Les alluvions actuelles que l'on rencontre dans les fonds d'oueds comportent des apports grossiers (galets) associés à une matrice sableuse.

La vallée de l'Oued M'zi est occupée par un remplissage des alluvions fluviatile. On y distingue deux séries :

- Le Quaternaire ancien :formé d'éléments grossiers, mal arrondis avec encroutement calcaires, leurs altitudes au dessus des talwegs est de 3 m.

- Le quaternaire récent : formé par des alluvions calcaires limono-sableuses, situées à1m au dessusdes talwegs .

Les dépôts de la vallée de l'Oued M'zi sont grossiers (graviers, galets et sables),de faible épaisseur, surtout au cluses du pont de Laghouat et du Kef Seridja, Rocher des chiens et au Ksar Kabeg ou le substratum remonte pour former un seuil (Hannachi 1981).

Dans le domaine atlasique saharien le Quaternaire surmonte directement les terrains secondaires, contrairement au domaine saharien oû les alluvions quaternaires reposent sur les dépôts détritiques tertiaires.

III-2 Structure de l'Atlas saharien central (Fig.06,Fig07)

Au Méso-Cénozoïque, l'Atlas Saharien a subi plusieurs phases de déformation ayant abouti à la formations de structures tectoniques (plis, failles).

a-Les plis : L'Atlas Saharien est caractérisé par des plis de grande taille, aux terminaisons périclinales brutales. Les anticlinaux, à cœur Jurassique moyen à supérieur, sont longs et étroits, et caractérisés par des flancs redressés à voûtes plates (KaziTani, 1986). Ils sont disposés parfois en échelon et sont souvent affectés par des failles ayant des directions orthogonales et des rejets variables dont certains ont permis aux séries plastiques du Trias d'arriver en surface au cœur de certains anticlinaux.

Les anticlinaux sont séparés par de larges synclinaux en cuvettes qui se relaient, ce qui confère à la région un style du type éjectif (Kazi-Tani, 1986). Ces cuvettes synclinales, d'orientation *NE-SW,* sont à cœur Crétacé supérieur.

b-Les failles Trois familles de failles ont été distinguées dans l'Atlas Saharien (Guiraud, 1990) : une famille d'accidents d'orientation N 60 E qui bordent ou prennent en écharpe les structures anticlinales.

L'Accident Sud Atlasique correspond à une succession d'accidents d'orientation générale ENE-WSW qui se relaient et qui s'étendent d'Agadir au Maroc jusqu'au golfe de Gabès en Tunisie. Il sépare le domaine saharien relativement stable du domaine atlasique plissé.

L'Accident Nord Atlasique sépare un domaine atlasique plissé au Sud d'un autre pré atlasique peu déformé au Nord. Cet accident, direction *NE-SW* devenant *E-W au* niveau de Bou Saada, se suit de Bou Arfa au Maroc jusqu'à Zahrez Chergui en Algérie. Dans l'Atlas Saharien Central, il seprolonge du *NE* d'El Bayadh jusqu'au Nord de la ville d'Aflou.

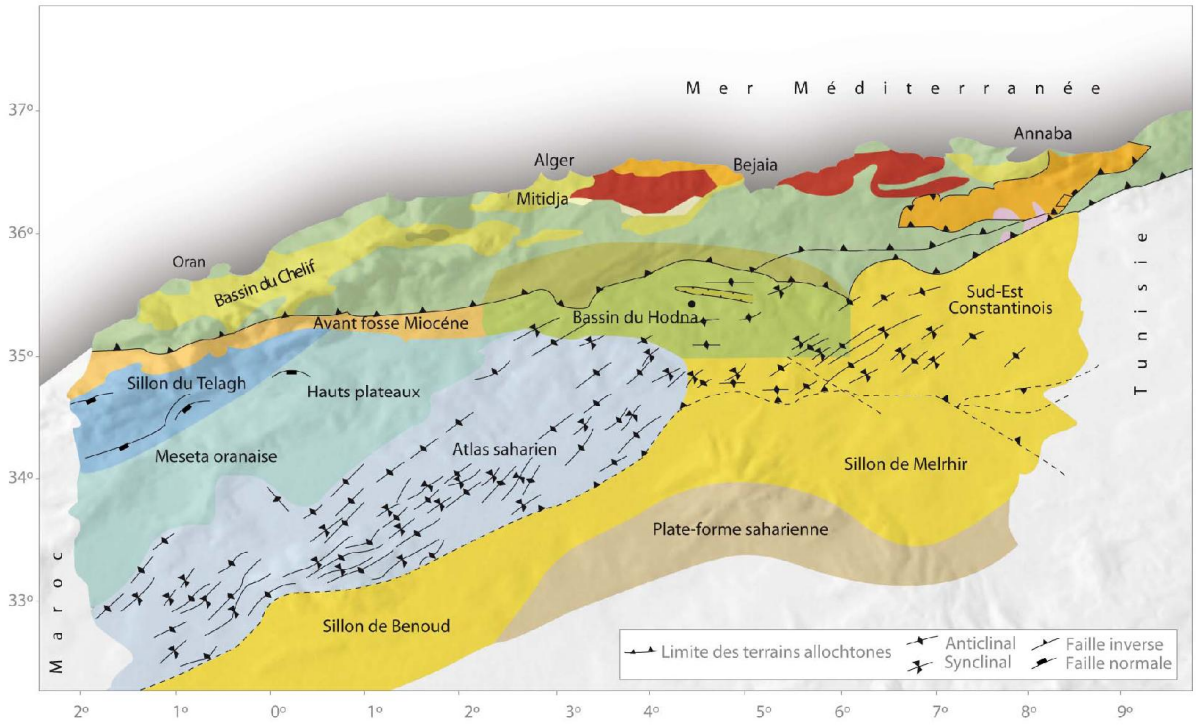


Figure .06 : Cadre structural du Nord de l'Algérie, montrant les principales structures de l'Atlas saharien (d'après Wildi)

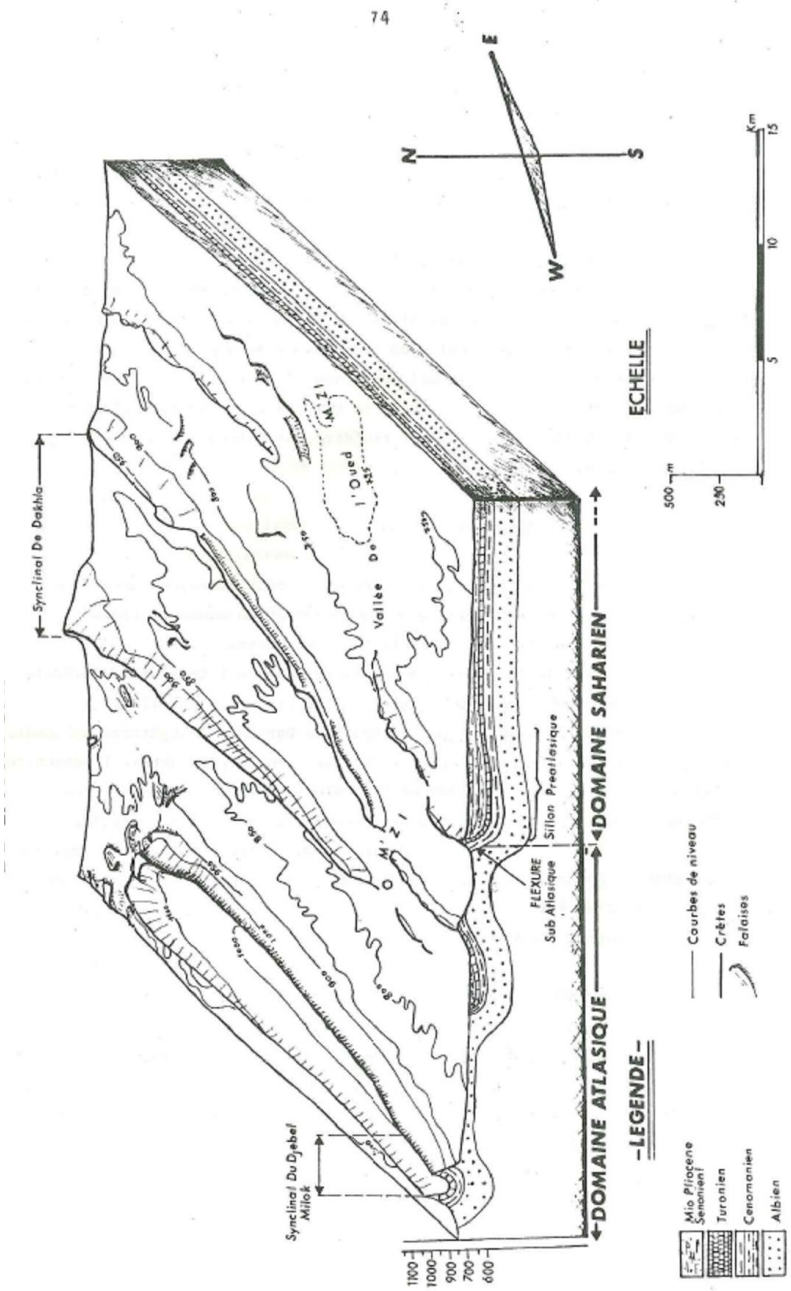


Fig.07:coupe géologique a travers la région de Laghouat (in Hannachi, 1981).

V.2-Cadre Structural de la région de Laghouat :(Fig. 08)

La chaine de l'Atlas Saharien est une chaine intracratonique encadre par deux accident majeurs appelé communément accident Nord Atlasique et accident Sud Atlasique (Flexure Sud Atlasique). Le style de déformation souple est de type jurassien caractérisé par des plis de grande rayon de courbure avec des flanc sub-verticale.

La région de Laghouat se compose de deux domaines structurals : au Nord le domaine Atlasique, et au Sud le domaine saharien, ces deux domaines sont séparés par la Flexure Sud Atlasique.

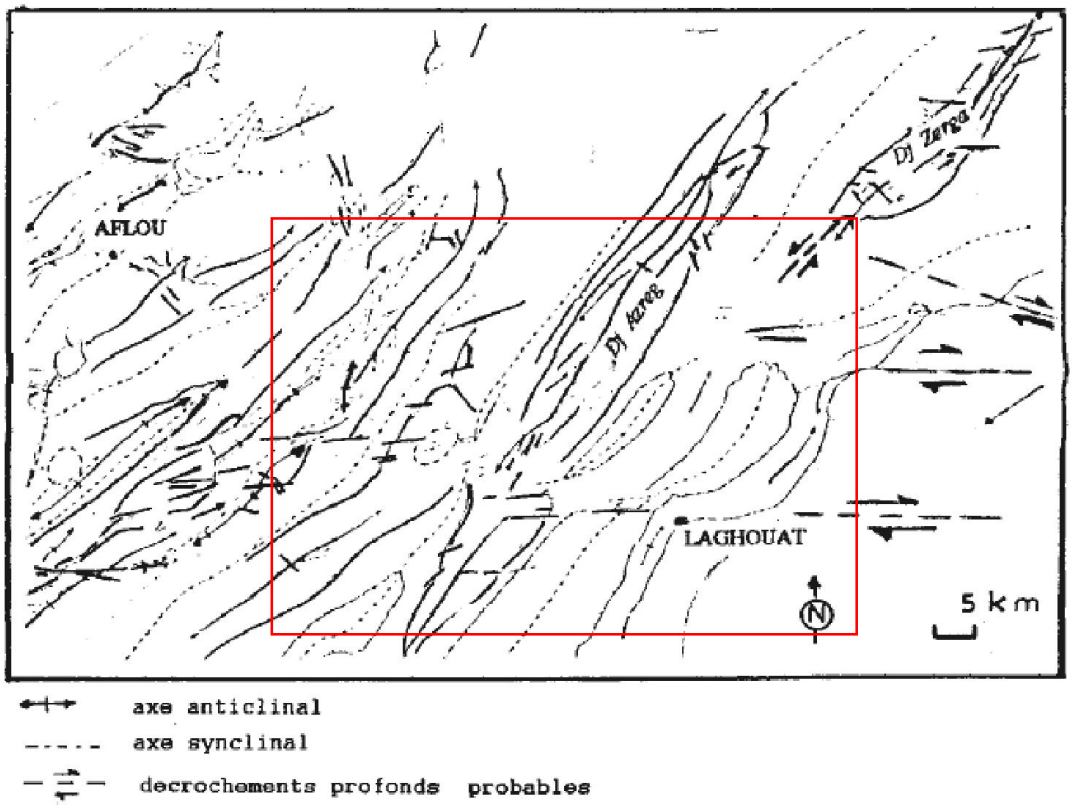


Fig. 08: Cadre structural de la région de Laghouat. (notice explicative de la carte au1/200000 de Laghouat, inédit).

a- Le domaine atlasique dans la région de Laghouat :

Composé par des unités anticlinales à cœur continentale intercalaire séparées par des aires synclinaux généralement de direction SW-NE.

La Flexure Sud Atlasique : Cet accident sépare l'Atlas Saharien du Sahara ,formé par des calcaires dolomitiques du Turonien ,marne Cénomanien; cette séparation est visible dans le Kef Seridja, El Mabad et le Rocher des Chiens.

b- **Le domaine saharien dans Laghouat :**

A la lisière nord du Sahara ,au niveau de la flexure, les couches du Crétacé plongent à la verticale pour réapparaitre au sud et forme le Chebka du Mzab (Hannachi 1981). fig 29.

Les forages exécutés dans la région montrent que dans la vallée de Oued M'zi le Mio-Pliocène présente une épaisseur importante.

VI- L'origine de la vallée d Oued M'zi

Deux hypothèse peuvent être envisagés pour expliquer la formation de la vallée de l'Oued Djedi et ses affluant Oued M'zi et Messaad (Ait Ouali et *al,* 1972) :

1-**Hypothèse de l'érosion régressive** : la vallée du Djedi a été créée par le mécanisme de l'érosion régressive à partir des niveaux de base des chotts sud-aurassien (Melrir).

2-Hypothèse de la déformation tectonique : vue à l'énorme dimension de la vallée de Oued Djedi 400 kms *20kms, l'hypothèse de l'érosion régressive a été exclut au détriment de l'intervention de la tectonique subsidence pour explique la formation de la vallée, c'est-à-dire que l'Oued M'zi a pour origine le prolongement du fosse subsidente sud aurasien

VII-Conclusion :

Du point de vue stratigraphique le secteur d'étude est formé essentiellement par des terrains attribués au Secondaire, Tertiaire et Quaternaire.

Le Jurassique constitue l'essentiel des grandes structures anticlinales, le Crétacé l'essentiel des synclinaux : Les formations gréseuses du Barrémien-Albien forment des synclinaux coffré à fond plat. Les formations marno-carbonatées du Cénomanien, Turonien et Sénonien : les synclinaux perchés.

Du point de vue structural notre secteur est à cheval entre deux domaines structuraux ; un domaine atlasique caractérisé par la succession d'anticlinaux et des synclinaux perchée dont le centre est occupé par le crétacé supérieur et un domaine saharien.

Du point de vue lithologique les terrains affleurant ont une nature silico-clastique ce qui favorise le développement des systèmes phréatique à plusieurs niveau : superficiel pour les importantes alluvions Quaternaire, et profond pour les terrains du continental intercalaire.

Chapitre II

Etude Hydroclimatologique

I-Introduction:

Dans un pays comme l'Algérie caractérisé par le contraste entre le climat méditerranéen de la bordure littorale et le climat désertique du sud en passant par le climat des montagnes, des hauts plateaux, il est nécessaire de pouvoir préciser le type climatique du secteur que l'on étudie.

Notre région d'étude, sur le plan météorologique, constitue une zone de transition entre plusieurs phénomènes climatiques, notamment, le passage du régime climatique méditerranéen au climat saharien caractérisé par des influences desséchantes qui règnent, pendant une partie de l'année, sur le Sahara Septentrional.

Le relief caractérisé par les derniers chaînons de l'Atlas Saharien et formant une barrière aux influences méditerranéennes accentue les contrastes climatiques.

Les données disponibles intéressent neufs stations du secteur d'étude qui couvrent pratiquement la majeure partie du bassin versant (Tab.01).

Tab .01 : Coordonnées des stations pluviométriques.

station	x	y	z	installation
Aflou	34°6'46"	2°6'8"E	1406	1847
Oued Morra	34°9'34"	2°19'9"	1304	Après 1960
Sidi Bouzid	34°20'59'	2°15'43"E	1267	Après 1960
Seklafa	33°55'48'	2°8'54'' E	1233	Après 1960
El Ghicha	33°59'51'	2°21'33'' E	1100	Après 1960
Tadjemout	33°52'34''	2°31'39'' E	894	1925
Sidi Makhlouf	33°47'22''	2°55'59'' E	886	Après 1960
Laghouat	33°46'	2°56' E	765	1885
Ksar El Hirane	33°47'32''	3°8'52'' E	719	Après 1960

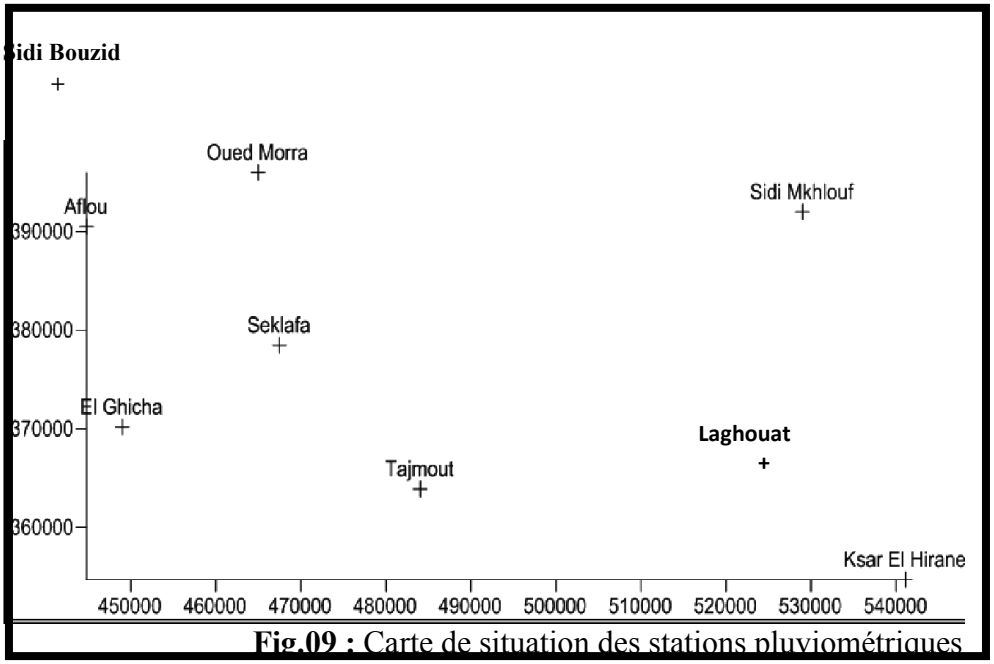


Fig.09 : Carte de situation des stations pluviométriques

II- Les paramètres climatiques :

a- Les précipitations : (fig. 10)

.

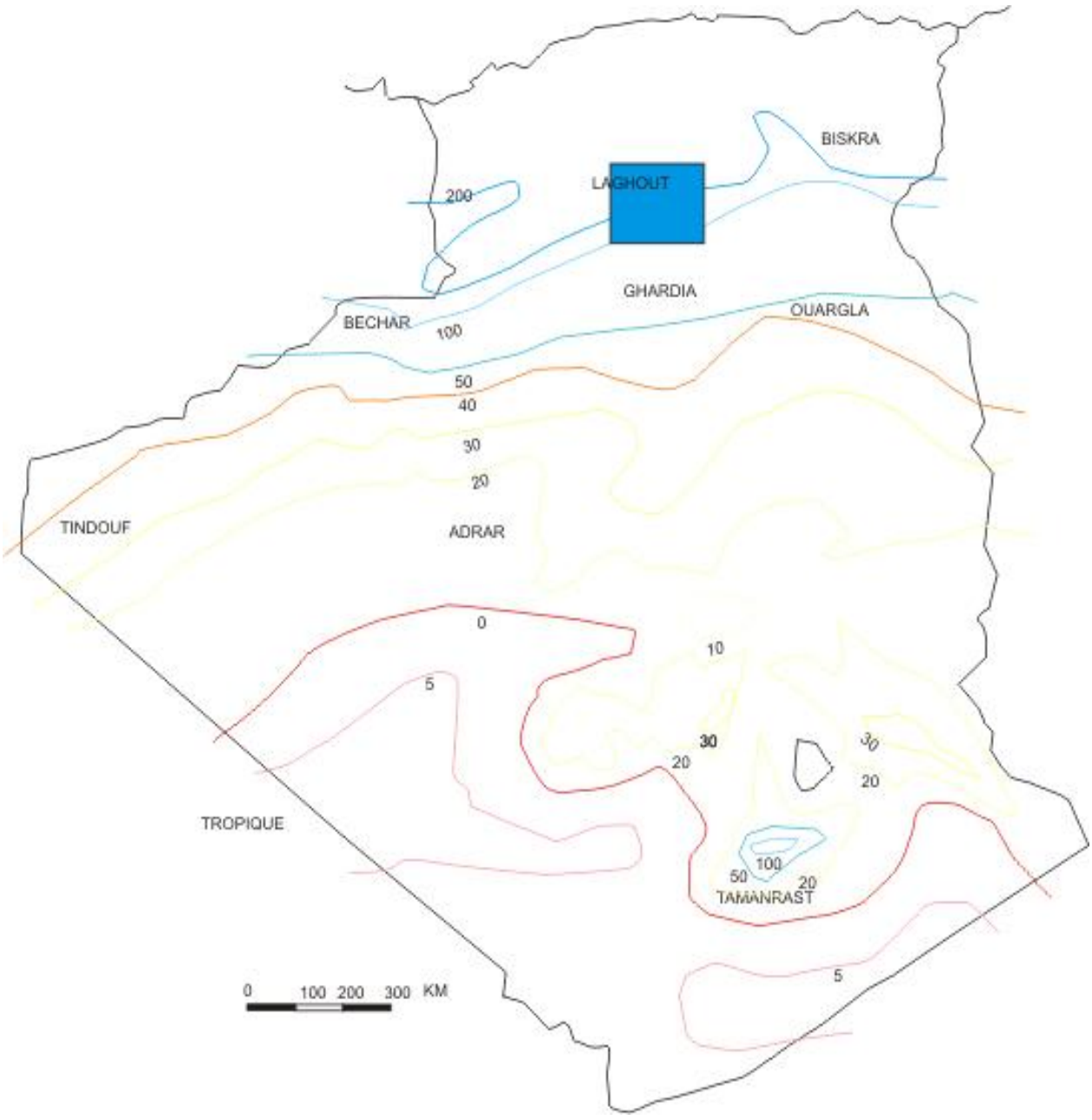


Fig.10: Carte des précipitations en Algérie (Dubief 1952).

a.1-Pluviométrie mensuelles : Les données concernent la période de 1990 à 2011 soit 21 ans d'observations.(Tab.02) (fig.11)

Tab .02 : Précipitations moyennes mensuelles (1990-2011).

Station	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	année
Sidi Bouzid	27,52	34,55	17,25	22,44	20,17	22,46	20,91	19,18	13,57	3,06	0,11	7,57	208,79
Aflou	27,58	31,48	18,52	17,95	22,81	20,44	27,09	31,56	23,67	12,58	8,05	15,91	257,64
Oued Morra	16,64	13,14	8,25	7,17	10,05	7,69	10,88	8,89	8,55	5,01	2,25	6,51	105,03
El Ghicha	22,33	20,26	7,96	3,94	11,83	8,24	13,97	11,50	10,59	9,98	2,45	5,09	128,14
Seklafa	26,92	27,34	6,34	10,93	11,53	10,40	19,05	13,33	12,49	9,31	8,24	13,21	169,09
Tadjmout	22,89	23,56	12,64	17,52	13,21	17,14	25,94	11,44	11,26	7,60	2,65	9,69	175,53
Sidi Mkhlouf	20,88	21,36	5,70	7,11	12,47	11,28	10,25	13,70	7,83	4,68	1,74	6,59	123,60
Ksar El Hirane	27,11	16,83	10,89	15,15	15,61	11,52	14,97	14,79	7,87	7,41	2,39	6,40	150,94
Laghouat	13,27	7,00	10,12	19,86	9,25	10,53	4,72	12,20	25,30	17,02	6,60	13,91	149,71

1. Station de Sidi Bouzid :

Située au nord-ouest du secteur d'étude à 1267 m d'altitude, la moyenne mensuelle est de 17.39 mm. Le maximum apparait le mois d' octobre avec (*34.55* mm), le minimum apparait en juillet (0.11 mm). La moyenne mensuelle n'est pas atteinte par les mois suivants : novembre, mai, juin, juillet et août. Par contre, elle est dépassée par les autres mois.

2. Station d'Aflou:

Cette station est installée à une altitude de 1406 m, la moyenne mensuelle égale à 21.47 mm. Les précipitations atteignent leur maximum en Avril (31.56 mm) et Octobre (31.48 mm), les minima apparaissent durant les mois de Juillet avec (8.05 mm) et Aout (15.91 mm). La moyenne mensuelle n'est pas atteinte par les mois suivants :
novembre, décembre, février, juin, juillet et août . Par contre, elle est dépassée par les autres mois.

3. Station de Oued Morra :

Pour cette station, septembre est le mois le plus pluvieux avec une lame précipitée de 16,64 mm. Le minimum apparait en Juillet avec 02, 25 mm.

4. Station d 'El Ghicha :

Septembre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 22.33 mm. Tandis que Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 2.54 mm seulement.

5. Station de Seklafa :

Elle est située à 1233 m d'altitude, la moyenne mensuelle de 14.09 mm. Deux maxima apparaissent, l'un en octobre avec (27.34mm), l'autre secondaire e septembre avec (26.92 mm). Par contre, les minima apparaissent en juillet (9.24 mm) et un minimum secondaire en novembre (6.34 mm). La moyenne mensuelle n'est dépassée que pour septembre et octobre.

6. Station de Tadjmout :

Pour la station de Tadjmout, mars est le mois le plus pluvieux avec 25,94 mm. Le minimum apparait en Juillet avec 2,65 mm.

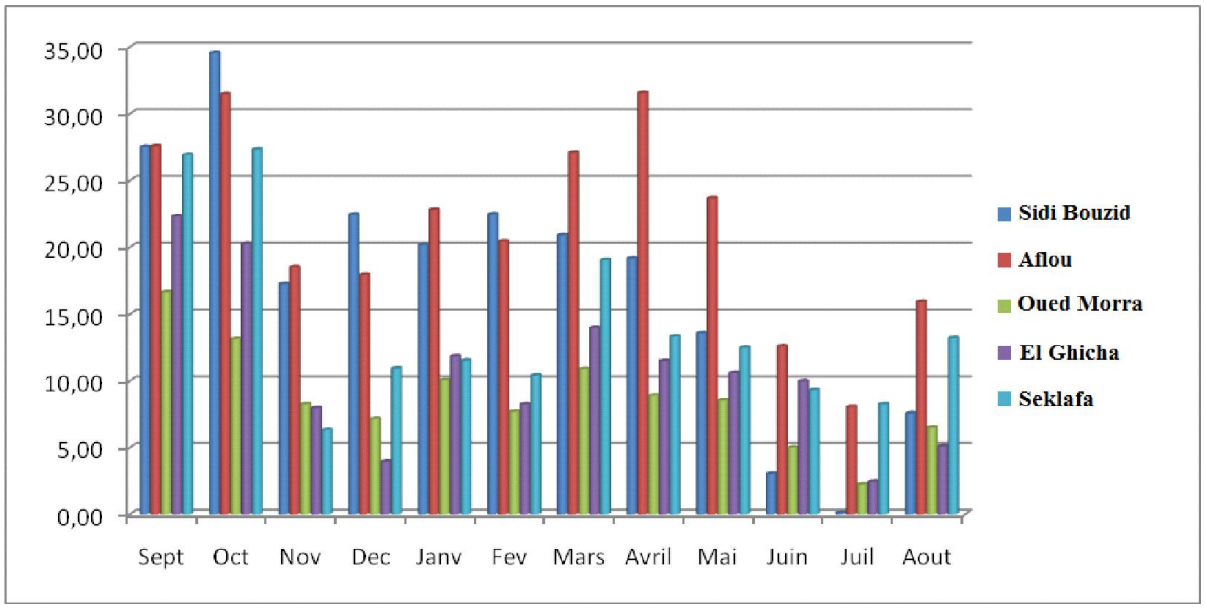
7. Station de Sidi Makhlouf :

Octobre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 21.36 mm. Tandis que Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 1.74 mm seulement.

8. Station de Ksar El Hirane:

Septembre est le mois où les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 27.11 mm. Tandis que Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 2.39 mm seulement.

a-stations de l'amont



b-stations de l'aval

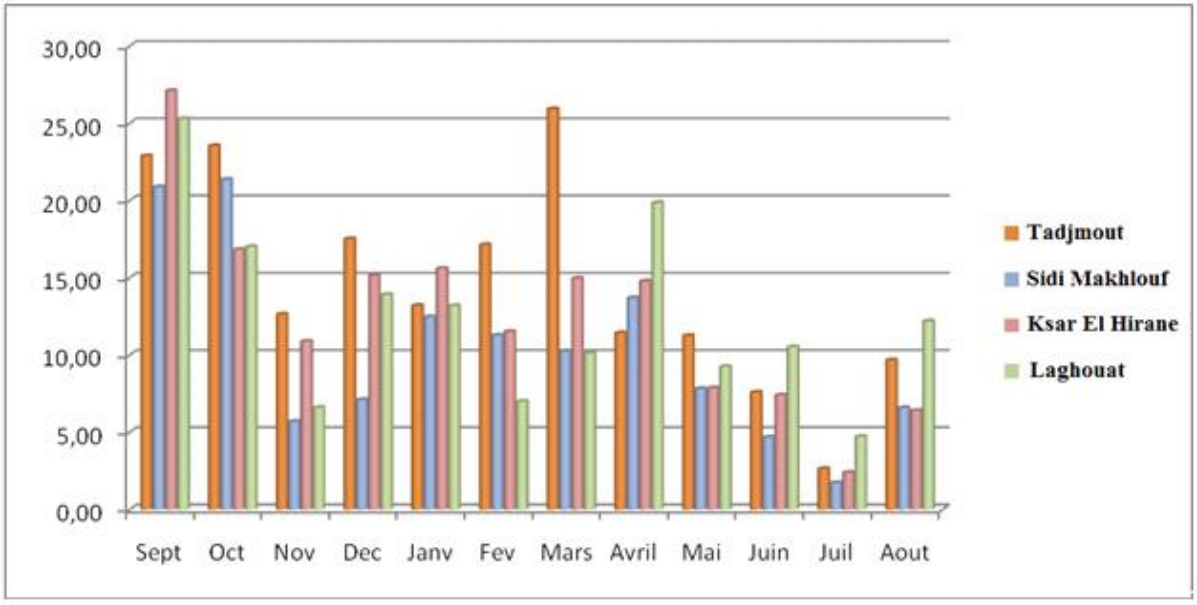


Fig. 11 : Précipitations moyennes mensuelles pour les 09 stations (1990-2011).

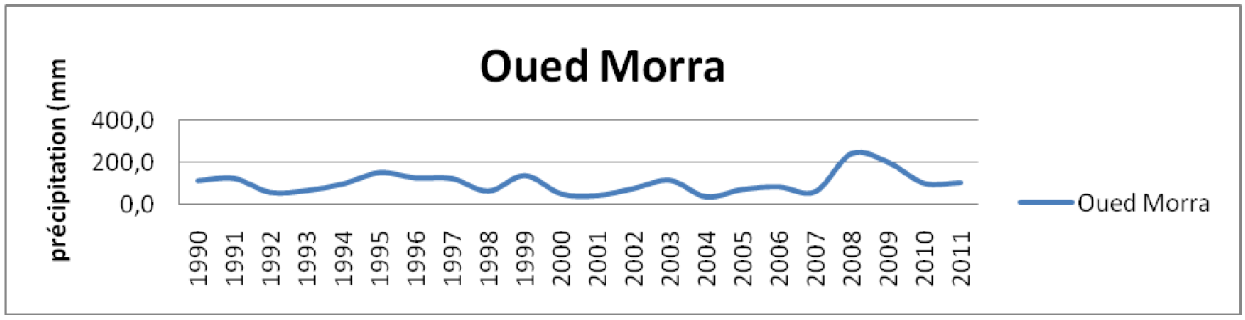
Il ressort de cette étude des précipitations mensuelles que le bassin versant de l'Oued M'zi est caractérisé par une pluviosité maximale pendant le mois d'Octobre et Septembre à l'exception de la station de Tajdmout qui présente une pluviosité maximale pendant le mois de mars tandis que juillet, juin et aout successivement sont sec .(Fig.11)

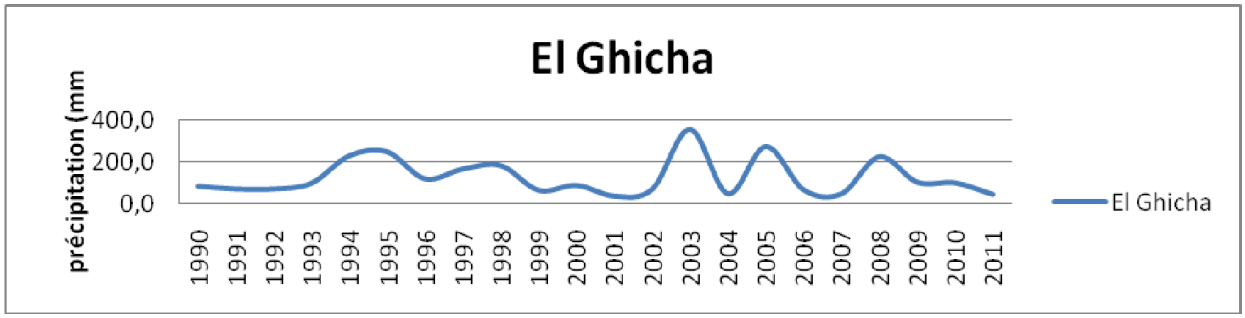
a.2-Pluviométrie annuelles : (Fig.12,Fig.13 et 14)

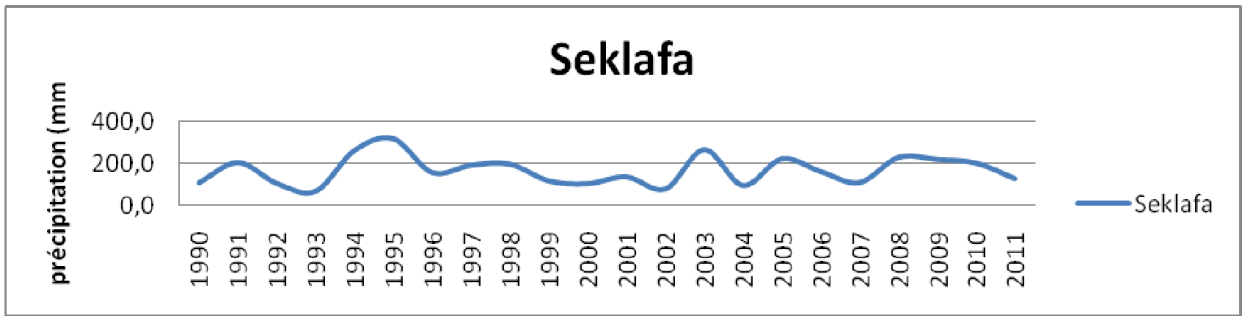
La période d'étude s'étend de 1990 à 2011(Tab.03)soit 21 an pour les stations suivantes : Sidi Bouzid, Aflou, Oued Morra, El Ghicha, Seklafa , Tadjmout, Sidi Mkhlouf, Ksar El Hirane et Laghouat.

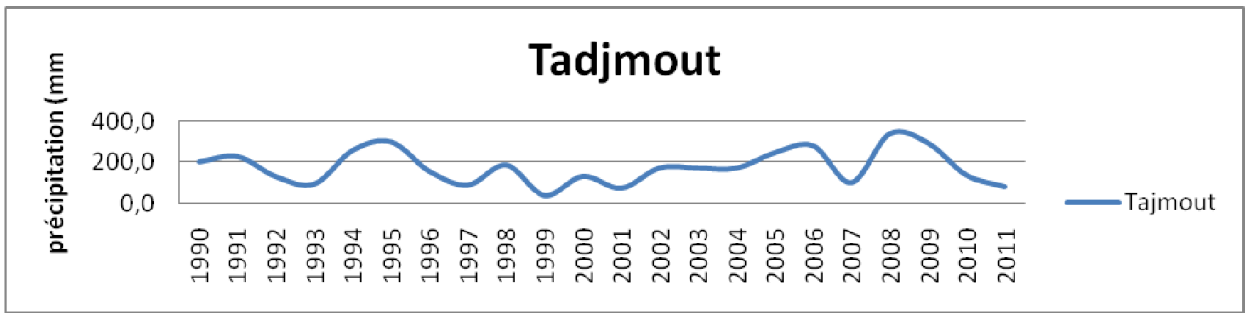
Tab.03 : Valeurs des précipitations annuelles des neuf stations (1990-2011).

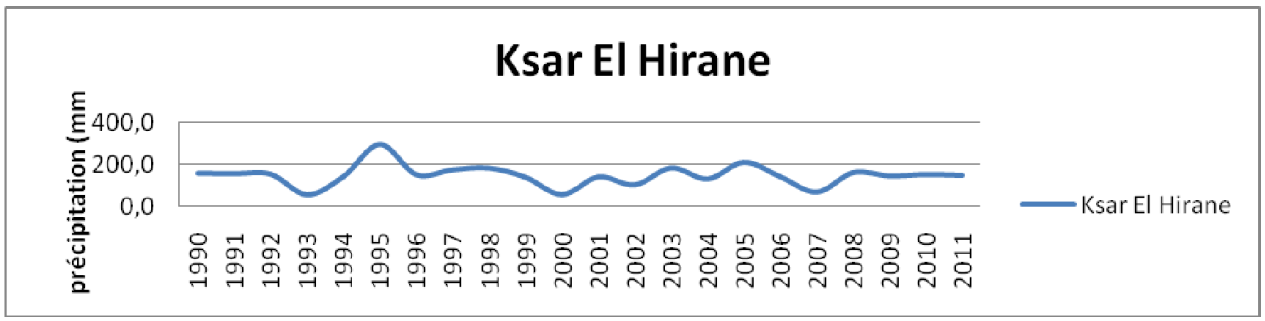
Années	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tadjmout	Laghouat	Sidi Mkhlouf	Ksar El Hirane
1990	149,9	243,8	114,8	82,5	111,0	201,5	112,0	126,5	159,8
1991	282,2	383,5	126,0	69,3	205,9	227,0	178,0	135,4	157,9
1992	51,2	150,7	59,0	69,3	107,8	128,3	102,0	66,2	155,4
1993	37,6	168,9	68,0	96,5	70,7	92,0	65,0	49,0	58,4
1994	94,0	313,3	99,5	228,5	263,0	257,9	119,0	137,0	144,8
1995	341,0	328,6	152,4	247,6	317,9	299,5	121,0	193,8	296,6
1996	102,5	351,8	128,7	117,8	159,1	154,3	180,9	126,7	153,1
1997	459,0	350,8	125,2	164,8	193,3	86,8	236,7	175,3	176,5
1998	106,2	87,1	65,1	181,6	198,3	185,8	62,7	125,2	184,2
1999	38,5	115,4	139,4	62,8	119,7	35,7	251,3	114,2	140,6
2000	82,1	138,9	53,0	87,0	106,4	130,3	80,9	76,2	59,1
2001	78,2	153,0	44,7	35,3	138,4	71,5	95,2	119,8	142,9
2002	180,7	170,3	78,0	68,0	81,0	171,4	101,4	50,1	105,0
2003	240,7	337,0	116,6	355,7	266,8	171,0	148,2	131,7	185,1
2004	201,0	237,8	38,5	45,8	98,1	170,3	228,4	71,3	132,6
2005	490,6	292,3	73,8	272,8	223,5	245,5	121,9	161,3	212,1
2006	280,8	230,9	85,7	65,2	163,4	281,0	251,2	128,1	142,8
2007	146,9	159,5	62,5	46,2	111,7	99,0	91,4	52,4	71,0
2008	409,6	341,0	243,2	223,6	230,4	339,4	180,0	283,7	163,3
2009	223,0	372,7	202,0	101,5	220,5	293,5	159,7	131,0	147,3
2010	154,5	312,0	102,5	98,7	203,5	135,6	137,7	124,9	149,4
2011	403,7	385,5	106,0	42,9	129,5	78,8	148,7	115,8	150,0
Moyenne	207	255.7	103.8	125.6	169.1	175.3	144.2	122.5	149.7




El Ghicha
précipitation (mm
400,0
200,0
0,0
1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011
El Ghicha


Seklafa
précipitation (mm
400,0
200,0
0,0
1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011
Seklafa


Tadjmout
précipitation (mm
400,0
200,0
0,0
1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011
Tajmout


Ksar El Hirane
précipitation (mm
400,0
200,0
0,0
1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011
Ksar El Hirane

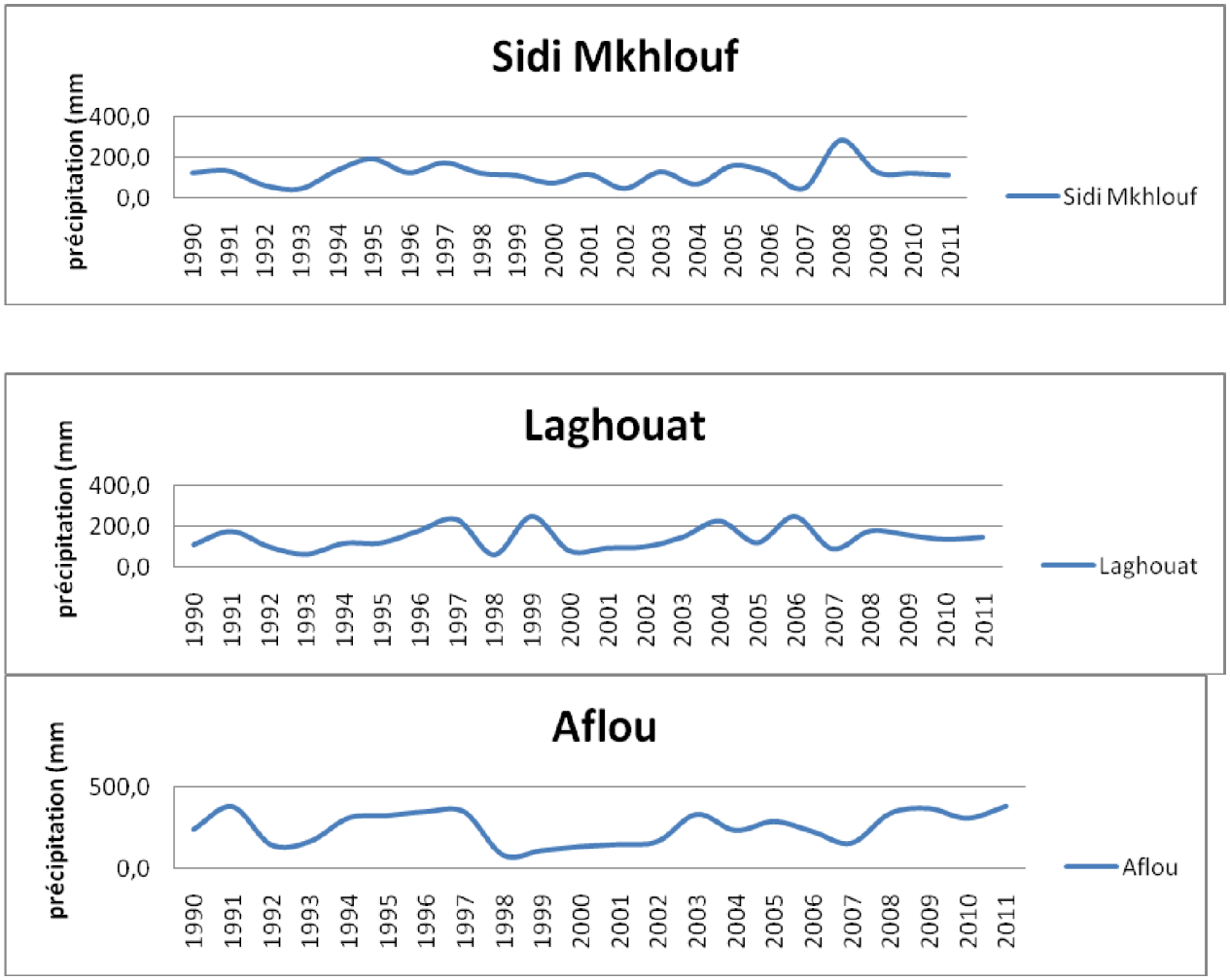


Fig. 12 : L'évolution des Précipitations annuelles pour toutes les stations période (1990-2011)

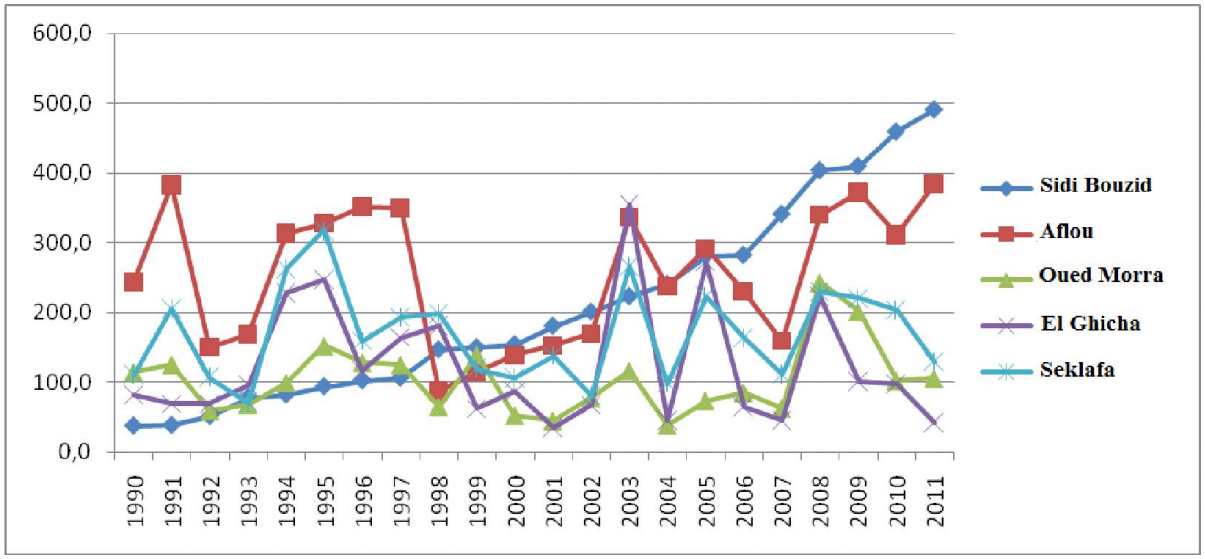


Fig. 13 : Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles (stations amont), période (1990-2011)

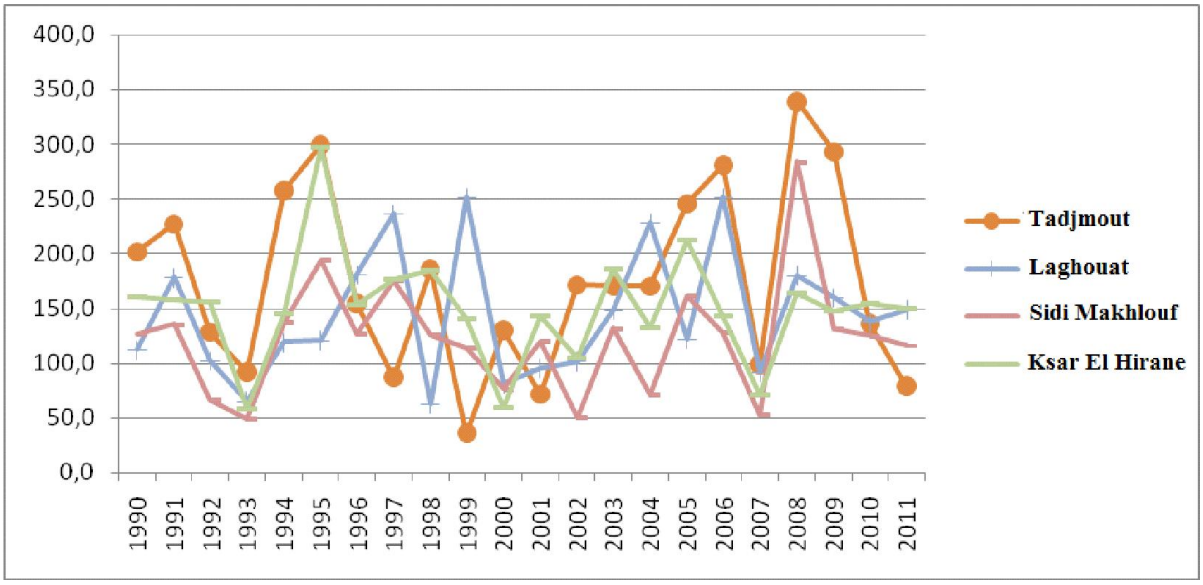


Fig. 14 : Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles

(stations aval), période (1990-2011)

a-3 Variations interannuelles des précipitations

L'analyse de la courbe des variations annuelles des précipitations montre que l'année 2011 est la plus arrosée avec une précipitation maximale de 459 mm à la station de Sidi Bouzid et Oued Morra. L'année 2004 est la plus sèche avec 38.5 mm à Oued Morra.

La variation temporelle des précipitations annuelles montre que le régime annuel est très irrégulier d'une année à l'autre.

***a-4* Le coefficient pluviométrique : (Tab. 04,05)**

C'est le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne, il permet de distinguer les années déficitaires des années excédentaires H > 1 : Année excédentaire ; H < 1 : Année déficitaire .

$$H = \frac{P}{Pi}$$

H : coefficient pluviométrique .
Pi : pluviométrie d'une année donnée .
P : pluviométrie moyenne pour une période de N années.

Tab.04: Le coefficient pluviométrique

Années	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tadjmout	Laghouat	Sidi Mkhlouf	Ksar El Hirane
1990	0,72	0,95	1,11	0,66	0,66	1,15	0,78	1,03	1,07
1991	1,36	1,50	1,21	0,55	1,22	1,30	1,23	1,11	1,06
1992	0,25	0,59	0,57	0,55	0,64	0,73	0,71	0,54	1,04
1993	0,18	0,66	0,65	0,77	0,42	0,52	0,45	0,40	0,39
1994	0,45	1,23	0,96	1,82	1,56	1,47	0,83	1,12	0,97
1995	1,65	1,29	1,47	1,97	1,88	1,71	0,84	1,58	1,98
1996	0,50	1,38	1,24	0,94	0,94	0,88	1,25	1,03	1,02
1997	2,22	1,37	1,21	1,31	1,14	0,50	1,64	1,43	1,18
1998	0,51	0,34	0,63	1,45	1,17	1,06	0,43	1,02	1,23
1999	0,19	0,45	1,34	0,50	0,71	0,20	1,74	0,93	0,94
2000	0,40	0,54	0,51	0,69	0,63	0,74	0,56	0,62	0,40
2001	0,38	0,60	0,43	0,28	0,82	0,41	0,66	0,98	0,96
2002	0,87	0,67	0,75	0,54	0,48	0,98	0,70	0,41	0,70
2003	1,16	1,32	1,12	2,83	1,58	0,98	1,03	1,07	1,24
2004	0,97	0,93	0,37	0,36	0,58	0,97	1,58	0,58	0,89
2005	2,37	1,14	0,71	2,17	1,32	1,40	0,85	1,32	1,42
2006	1,36	0,90	0,82	0,52	0,97	1,60	1,74	1,05	0,96
2007	0,71	0,62	0,60	0,37	0,66	0,56	0,63	0,43	0,48
2008	1,98	1,33	2,34	1,78	1,36	1,94	1,25	2,32	1,09
2009	1,08	1,46	1,95	0,81	1,30	1,67	1,11	1,07	0,99
2010	0,75	1,22	0,99	0,79	1,20	0,77	0,95	1,02	1,00
2011	1,95	1,51	1,02	0,34	0,77	0,45	1,03	0,95	1,00

Tab.05 : Tab.représentant les années déficitaires et excédentaires

Années	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tajmout	Laghouat	Sidi Mkhlouf	Ksar El Hirane
1990	defc	defc	exce	defc	defc	exce	defc	exce	exce
1991	exce	exce	exce	defc	exce	exce	exce	exce	exce
1992	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	exce
1993	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
1994	defc	exce	defc	exce	exce	exce	defc	exce	defc
1995	exce	exce	exce	exce	exce	exce	defc	exce	exce
1996	defc	exce	exce	defc	defc	defc	exce	exce	exce
1997	exce	exce	exce	exce	exce	defc	exce	exce	exce
1998	defc	defc	defc	exce	exce	exce	defc	exce	exce
1999	defc	defc	exce	defc	defc	defc	exce	defc	defc
2000	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
2001	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
2002	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
2003	exce	exce	exce	exce	exce	defc	exce	exce	exce
2004	defc	defc	defc	defc	defc	defc	exce	defc	defc
2005	exce	exce	defc	exce	exce	exce	defc	exce	exce
2006	exce	defc	defc	defc	defc	exce	exce	exce	defc
2007	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc	defc
2008	exce	exce	exce	exce	exce	exce	exce	exce	exce
2009	exce	exce	exce	defc	exce	exce	exce	exce	defc
2010	defc	exce	defc	defc	exce	defc	defc	exce	defc
2011	exce	exce	exce	defc	defc	defc	exce	defc	exce

D'après les résultats on remarque :

Trois épisodes deficitaires pour toutes les stations (1992 sauf Ksar El Hirane.1993).(2000.2001.2002) et (2007)

Un épisode excédentaire pour toute la station l'année 2008.(Tab.05)

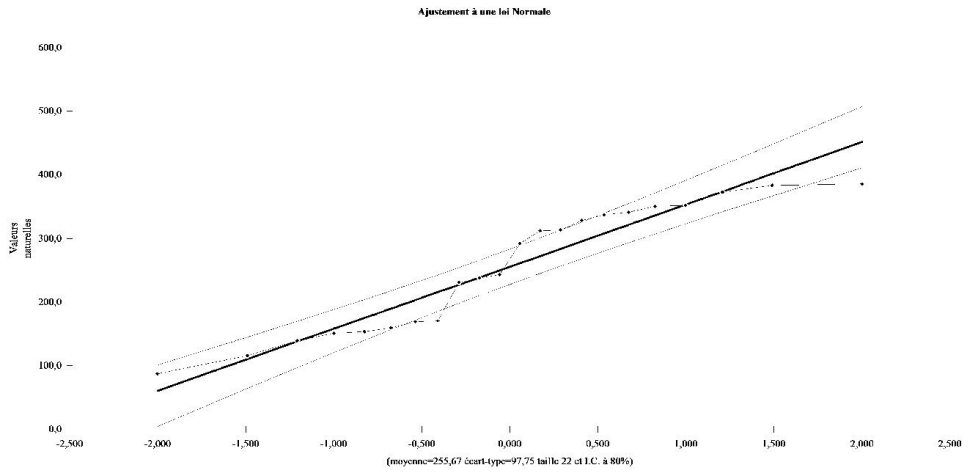
A-4 Etude statistique des précipitations annuelles :

1-ajustement à la loi normale et Log normale(Fig. 15)(Tab.06)

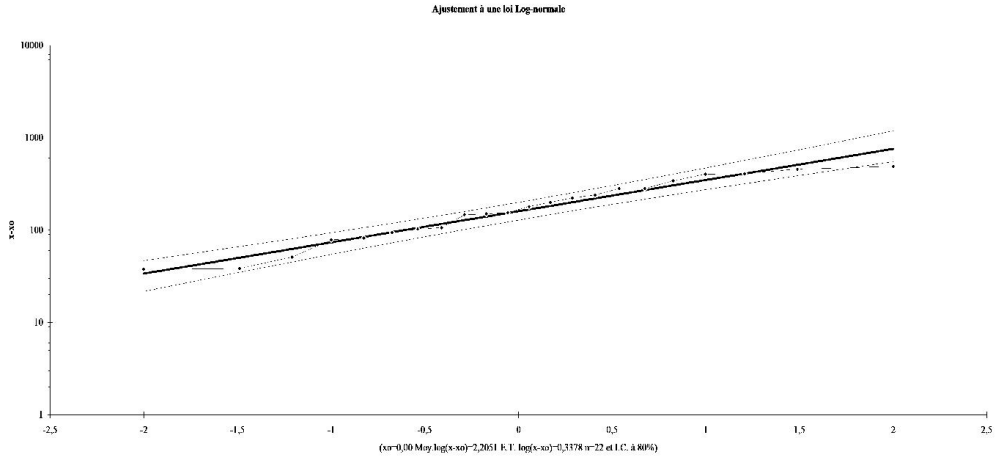
Tab.06 : les paramètres statistiques

STATIONS	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tadjmout	Laghouat	Sidi Mkhlouf	Ksar El Hirane
Moyenne (mm)	**207**	**255.7**	**103.8**	**125.6**	**169.1**	**175.3**	**144.2**	**122.5**	**149.7**
Ecart type	**145,7**	**97,7**	**44,7**	**88,6**	**67,5**	**84,3**	**58,2**	**53,3**	**58,6**
Coef. De variation	**0,73**	**0,38**	**0,48**	**0,71**	**0,40**	**0,48**	**0,40**	**0,43**	**0,41**
Selon le CV	**Loi Log norm.**	**Loi norm**	**Loi norm.**	**Loi Log norm.**	**Loi norm.**	**Loi norm.**	**Loi norm.**	**Loi norm.**	**Loi norm.**
P décennale (U= 1,28)	**255.12**	**375.49**	**153.08**	**170.78**	**266.85**	**262.39**	**218.6**	**185.22**	**223.05**
P centenaire (U=2,23)	**290.84**	**457.29**	**1.89.65**	**204.31**	**340.05**	**335.58**	**279.06**	**231.77**	**278.53**
P millénaire (U=3,09)	**323.18**	**517.05**	**222.76**	**234.67**	**393.53**	**389.05**	**323.19**	**273.91**	**328.75**
Période de retour des précipitations les plus faibles	**1**	**1**	**1.1**	**1.1**	**1**	**1**	**1.1**	**1.1**	**1**
Période de retour des précipitations les plus élevées	13.3	55	327.2	34.4	72.9	28	36	681.5	463.4

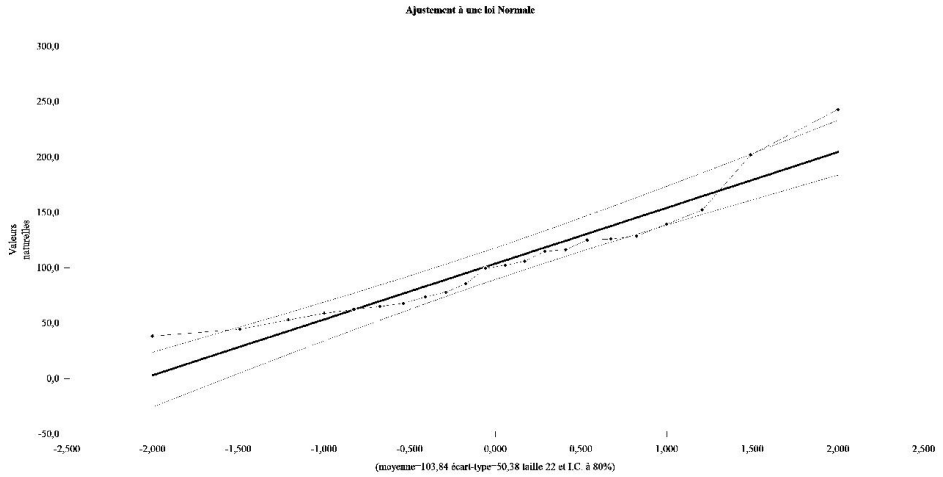
Aflou



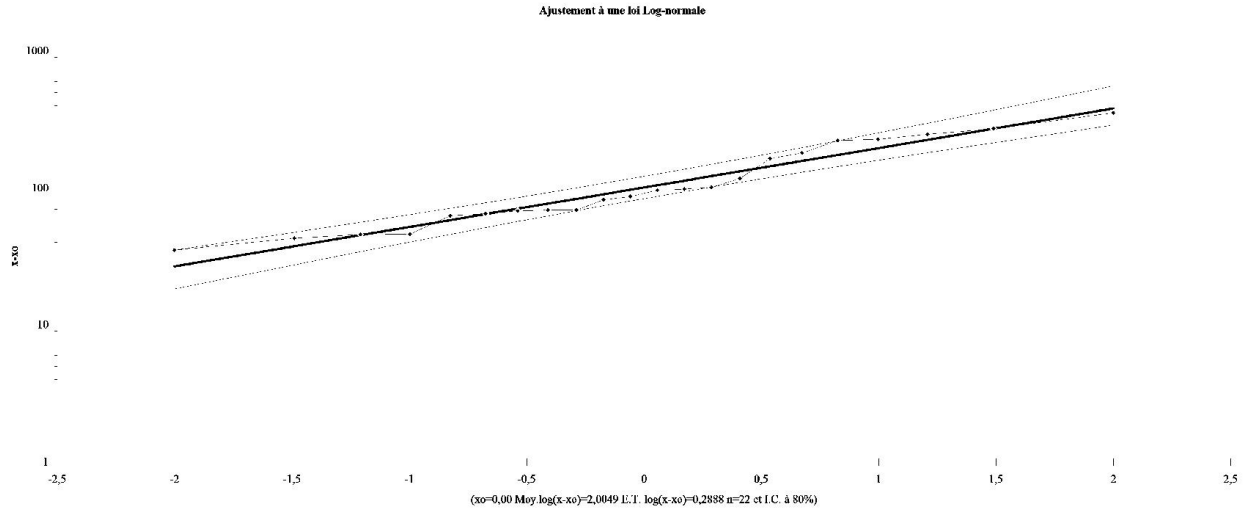
Sidi Bouzid



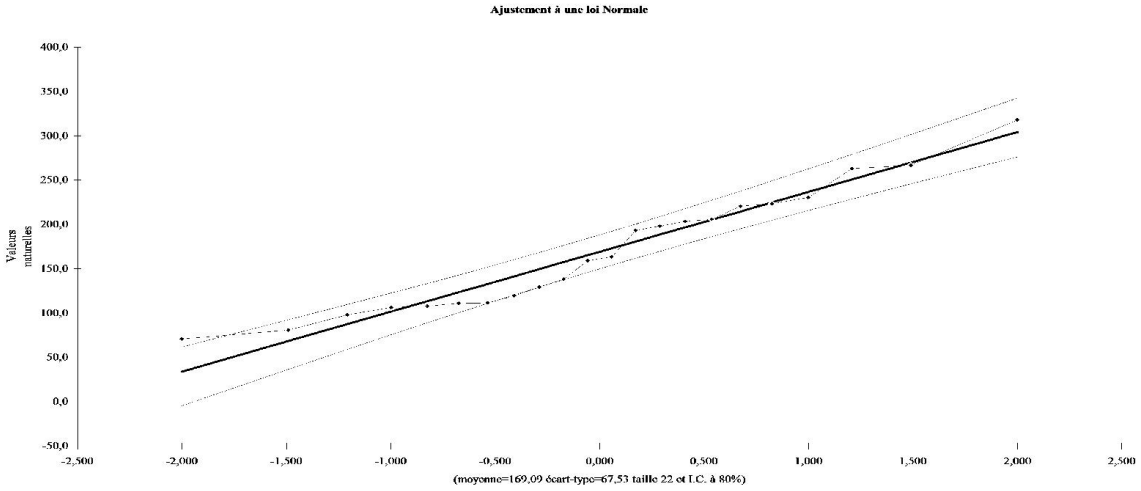
Oued Morra



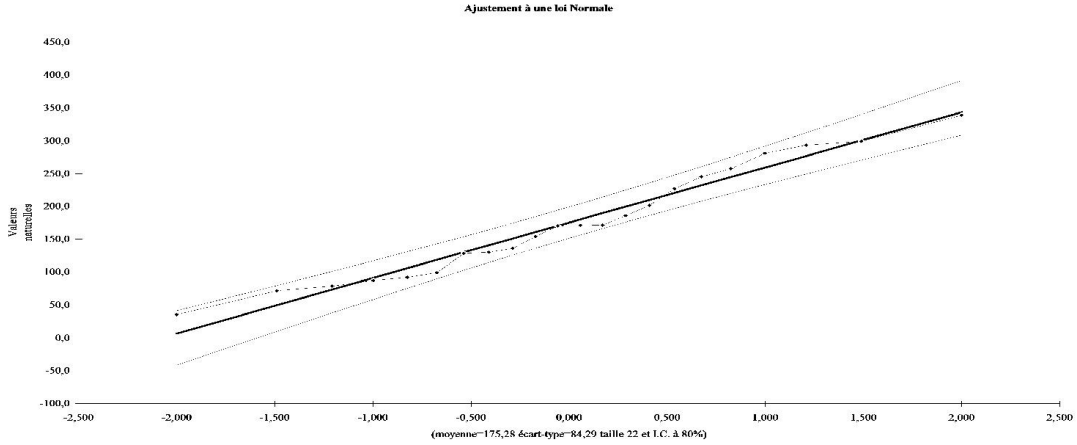
El Ghicha



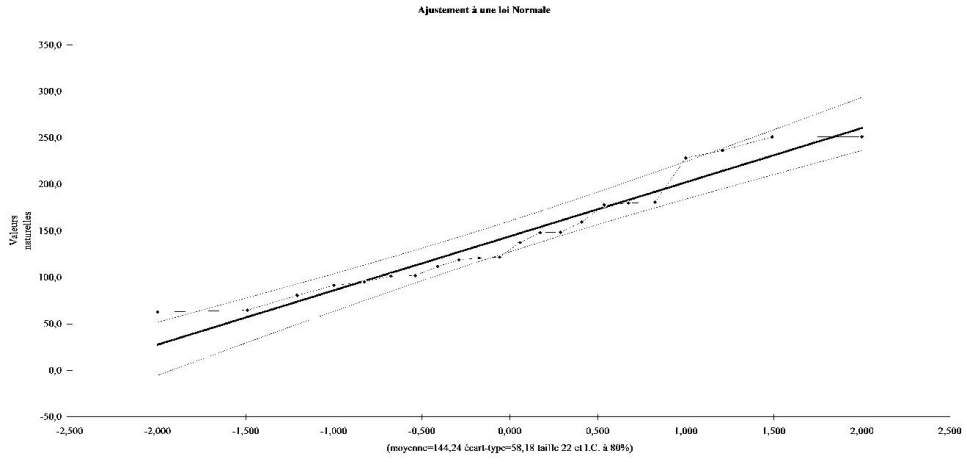
Seklafa



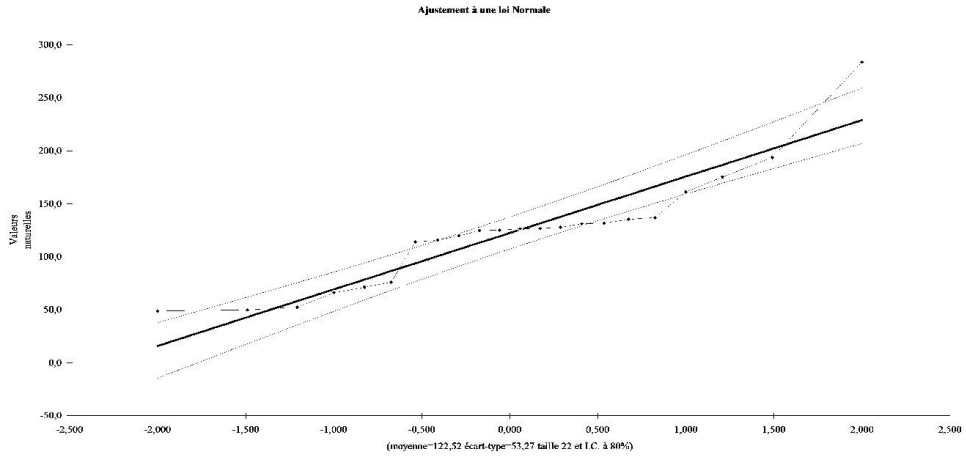
Tadjmout



Laghouat



Sidi Makhlouf



Ksar El Hirane

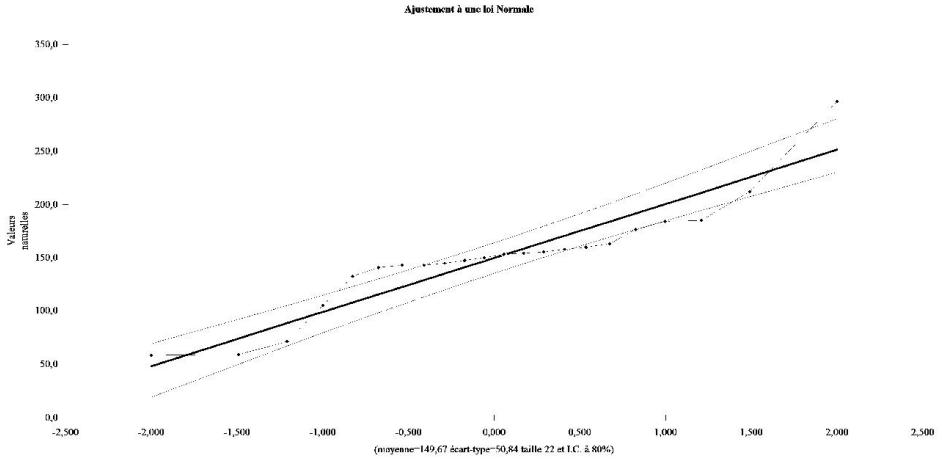


Fig. 15: Ajustement graphique des précipitations moyennes annuelles à la loi normale et log normale

A.5- Test du χ_2 :

Le **test du χ_2** est un test statistique permettant de tester l'adéquation d'une série de données à une famille de lois de probabilités ou de tester l'indépendance entre deux variables aléatoires.

On va l'appliquer aux séries des données pluviométriques pour vérifier l'adéquation au loi statistiques.(Tab.07)

Tab .07: Valeurs de χ_2 tabulé et $\chi_2$calculé des neuf stations

Stations	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tajmout	Laghouat	Sidi Mkhlouf	Ksar El Hirane
x^2 calculé	4,78	2,48	2,09	0,27	5,27	1,63	2,54	0,72	3,91
x^2 tabulé	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99

Comme on a 5 classes et 2 paramètres le degré de liberté est égal à 2, et avec un risque d'erreur tolérée de 5 %, le x^2 calculé étant inférieur au x^2 tabulé, l'ajustement permet donc d'admettre une distribution normale des précipitations pour toutes les stations à l'exception des stations de Sidi Bouzid et El-Ghicha on a attribué la loi log normale .

a-6- Etude de la pluviométrie saisonnière :

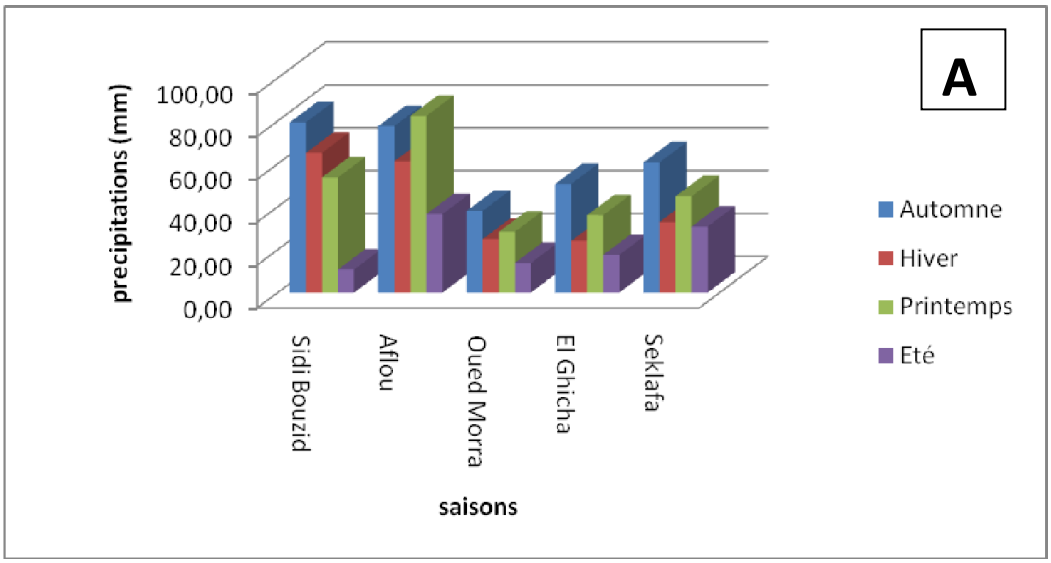
Le Tab.si dessous représente les données des précipitations saisonnières des neufs stations pour la période (1990/2011).(Tab.08)

Tab.08. : Précipitations saisonnières pour la période (1990/2011)

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Sidi Bouzid	**79,32**	**65,08**	**53,65**	**10,74**
Aflou	**77,58**	**61,20**	**82,32**	**36,54**
Oued Morra	**38,03**	**24,91**	**28,32**	**13,77**
El Ghicha	**50,54**	**24,01**	**36,06**	**17,52**
Seklafa	**60,60**	**32,86**	**44,87**	**30,76**
Tajmout	**59,09**	**47,87**	**48,64**	**19,93**
Sidi Mkhlouf	**47,95**	**30,86**	**31,78**	**13,01**
Ksar El Hirane	**54,82**	**42,28**	**37,62**	**16,20**
Laghouat	**30,39**	**39,64**	**42,22**	**37,53**

L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons.

La distribution saisonnière des précipitations (Fig.15) montre, que l'été correspond à la saison la plus sèche. L'Automne et le printemps présentent la saison humide ou s'effectuerait la plus grande quantité des précipitations ainsi que l'écoulements.(Fig.16)



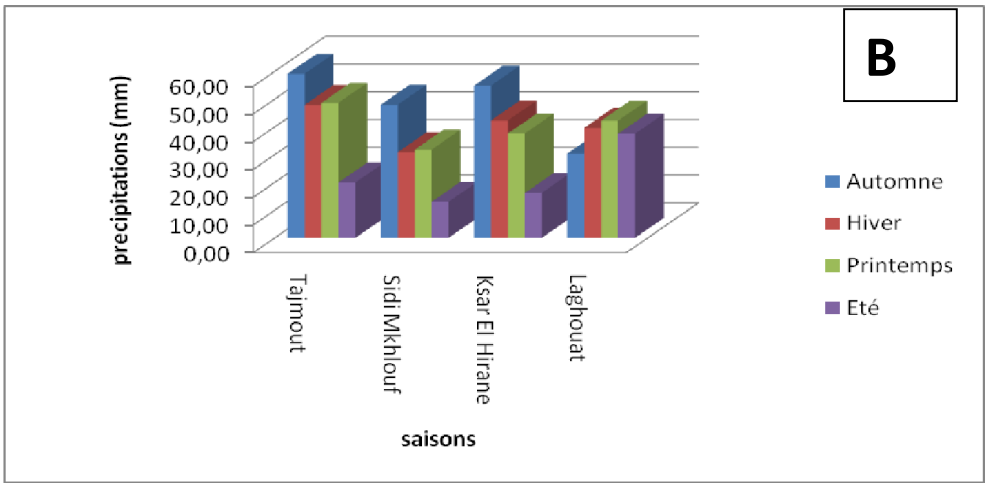


Fig.16 : Variations saisonnières des précipitations (A : station Amont, B :station aval) (1990-2011).

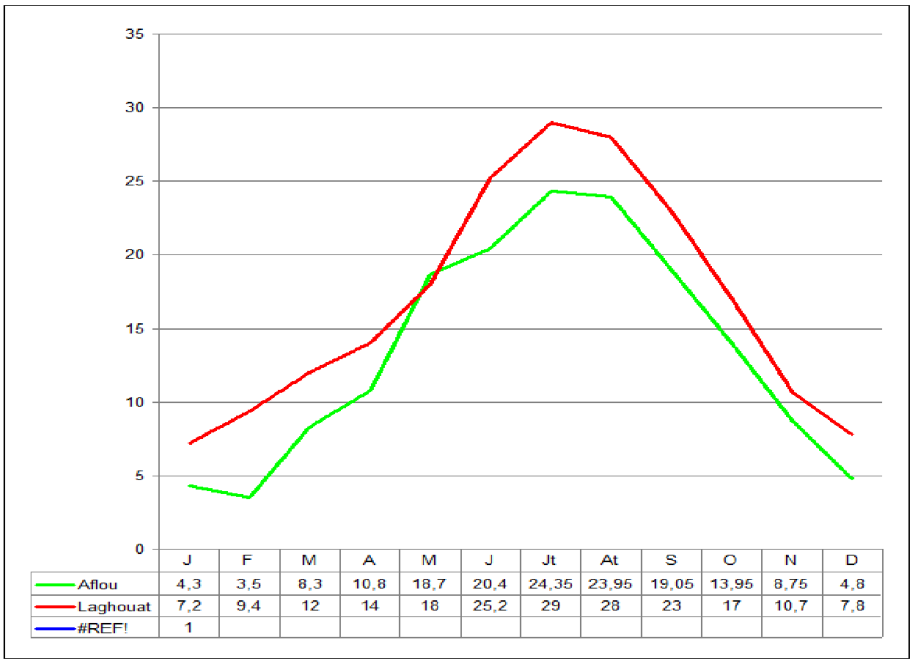
b-La Température

Liée aux radiations solairse, la température est un élément essentiel du climat car elle influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. Donc, elle agit sur l'évapotranspiration et par conséquent sur le bilan hydrique (le ruissellement et l'infiltration) et sur taux de salinité en particulier les eaux de surface.

On dispose des températures moyennes des stations d'Aflou et de Laghouat pour les périodes 1913-1938 et 1990 -2011

b-1-Variations des températures moyennes mensuelles :

<u>Période (1913-1938) :</u>



	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D
Aflou	4,3	3,5	8,3	10,8	18,7	20,4	24,35	23,95	19,05	13,95	8,75	4,8
Laghouat	7,2	9,4	12	14	18	25,2	29	28	23	17	10,7	7,8
#REF!	1											

Fig. 17 : Variation des températures moyennes mensuelles aux stations d'Aflou et Laghouat (1913-1938)

Les données intéressent les températures moyennes mensuelles pour la période de 1913-1938 soit 25 an. La moyenne est de 16,77 °C pour Laghouat et 13,40 °C pour Aflou. L'analyse de la courbe de variation de la température moyennes mensuelle montre que les valeurs maximales sont observées pendant l'été en juillet avec 29 °C à Laghouat et 24,35 °C à Aflou. Les températures minimales sont de 3,5 °C à Aflou (février) et 7,2 °C à Laghouat en janvier.(Fig.17)

Période (1990-2011) :

1 Station d' Aflou: (Fig.18)

Températures moyennes mensuelles :

Tab. 09 : Températures moyennes mensuelles et annuelles Aflou (1990-2011).

Station	Période	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Moy.
Aflou	1990-2011	3,9	4,4	8,05	10,75	16,05	19,3	24,2	24,75	20,75	15,2	10,6	5,65	13,63

La température moyenne annuelle est de 13,63°C(Tab.09). Les températures moyennes mensuelles les plus basses s'observent au mois de janvier et février avec 3,9°C et 4,4°C, tandis que les températures moyennes mensuelles les plus élevées s'observent aux mois de juillet avec 24,2°C et d'août avec 24,75°C, l'écart thermique entre le mois chaud et le mois froid varie de 20,85 °C. La période froide s'étend de novembre à avril correspondant à la période pluvieuse. La période chaude s'étend de mai à octobre correspondant à la saison estivale.

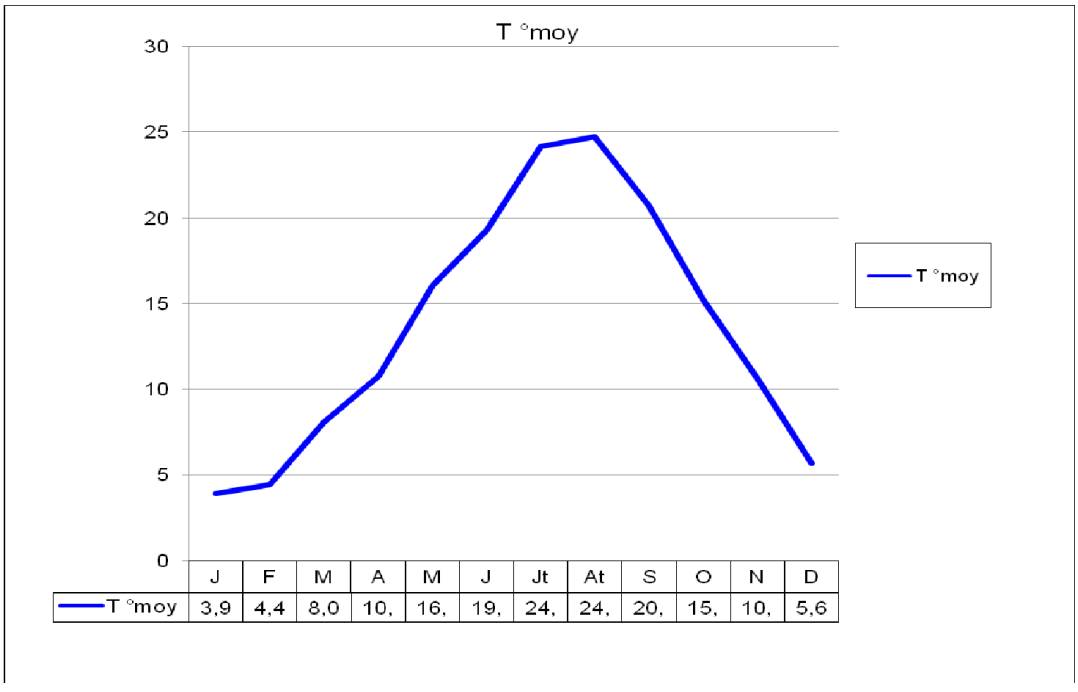
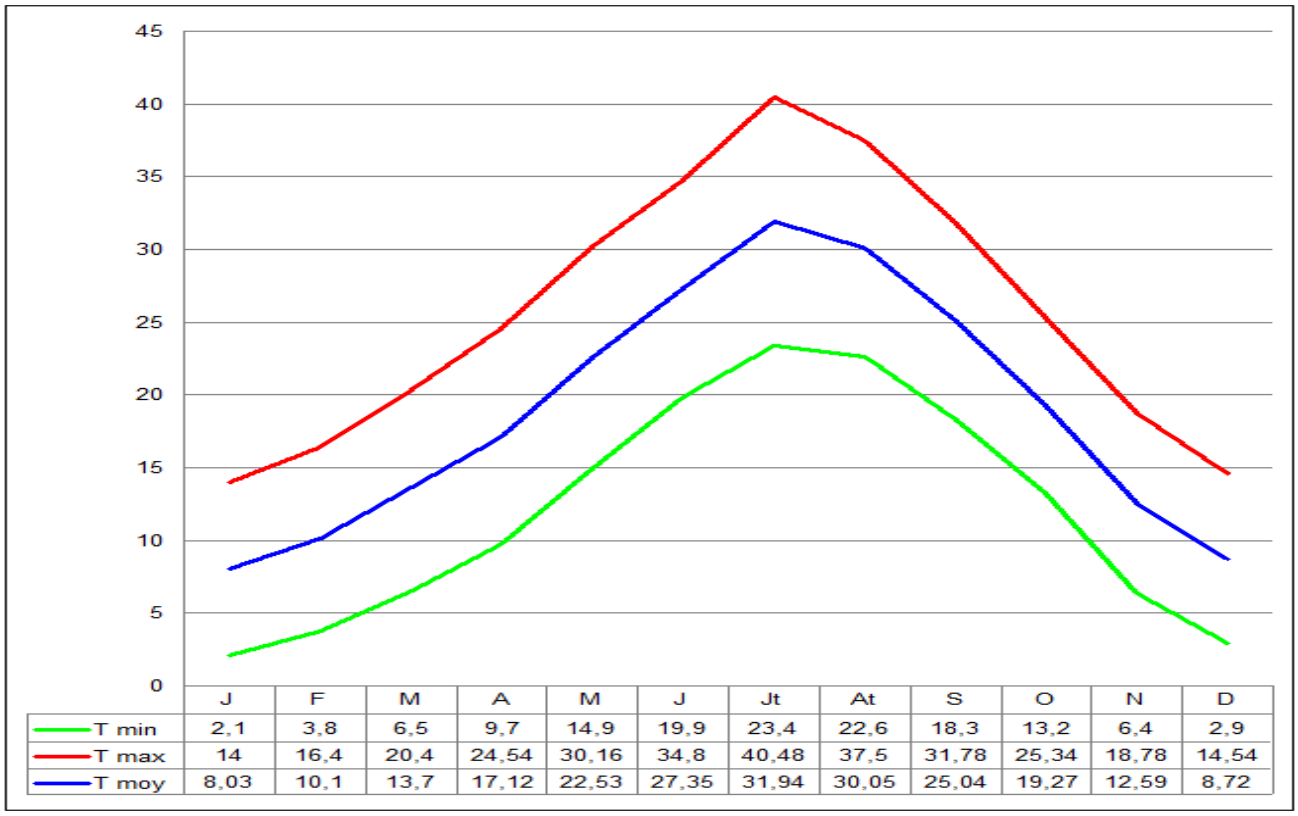


Fig. 18 : Variation mensuelle de température à la station d'Aflou

2-Station de Laghouat



	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D
T min	2,1	3,8	6,5	9,7	14,9	19,9	23,4	22,6	18,3	13,2	6,4	2,9
T max	14	16,4	20,4	24,54	30,16	34,8	40,48	37,5	31,78	25,34	18,78	14,54
T moy	8,03	10,1	13,7	17,12	22,53	27,35	31,94	30,05	25,04	19,27	12,59	8,72

Fig . 19: courbes des températures station de Laghouat (1990-2011).

Le graphe des courbes de la température maximale et minimale(Fig.19)montre que le plus grand écart s'observe au mois de juillet avec un maximum de 40,48°C et un minimum de 23,4 °C avec 17,08 °C, par contre le plus faible écart s'observe en décembre avec un maximum de 14,54°C et un minimum de 2,9°C avec 11,64 °C.

c-L'humidité de l'aire : Station de Laghouat (1979-1980) et (1990 - 2011)

La seconde période (1990 - 2011) est moins humide avec une humidité moyenne annuelle de 46,16 % que la période (1979 - 1980) où la moyenne est de est de 55% .(Tab.10)

L'humidité relative mensuelle est très faible en juillet et aout (30-34%) (Fig.20)pour les deux périodes elle atteint son maximum en octobre et janvier avec 68% pour la période 1979-1980. La seconde période (1990 - 2011) nous parait moins humide avec un maximum de 63% en décembre.

Tab 10: L'humidité relative de la station de Laghouat.

Humidité relative	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
(1979-1980)	58	68	63	66	68	52	63	60	50	48	34	33
(1990-2011)	42	51	56	63	62	54	46	40	37	31	30	30

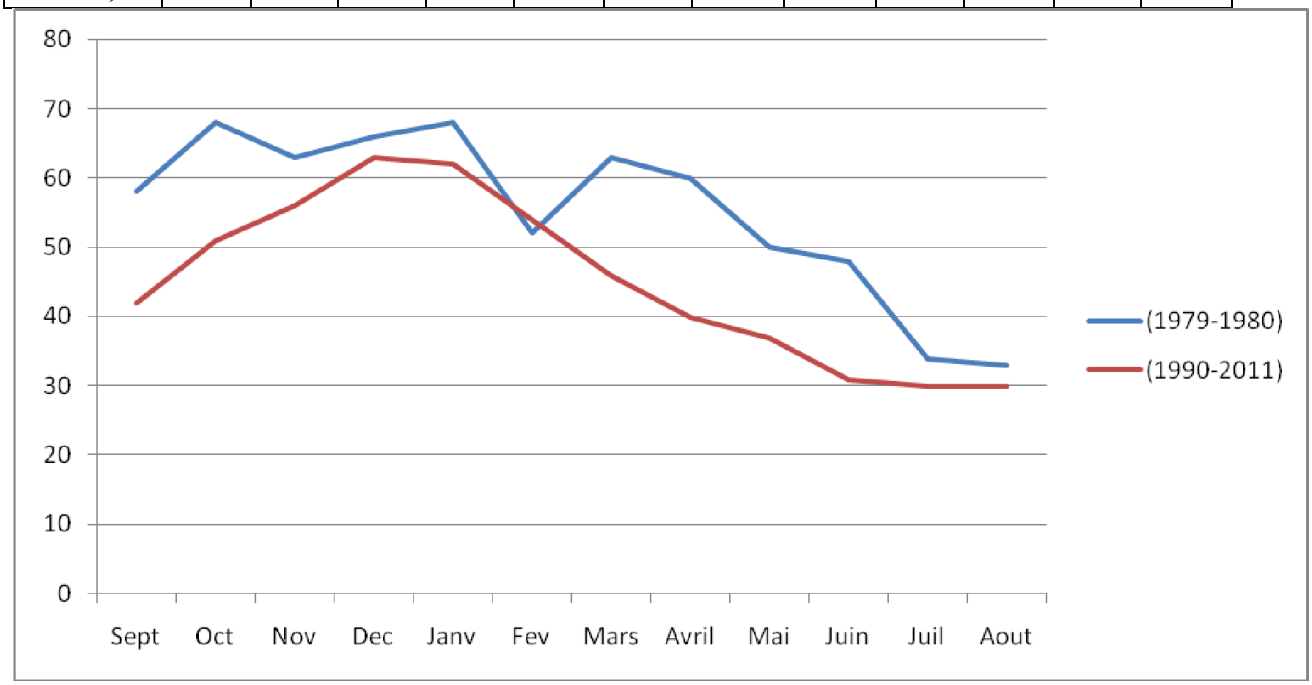


Fig.20 :L'humidité dans la région de Laghouat période (1979 - 1980) et (1990-2011).

d- L'insolation

L'ensoleillement est de 67 heurs en décembre qui représente le minimum et 83 h en juillet comme maximum

e- Le vent (Tab.11,12)

Les vents, et notamment les vents de sable, jouent un rôle particulièrement desséchant. La Fig.21 montre que les vents les plus fréquents soufflent de l'est avec 32,8% le mois de juin. En hiver, ce sont les vents du nord et d'ouest, pour le printemps du nord et d' est , en été d'est et sud.

Tab 11 : fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984)

mois	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
JAN	200	54	116	8	110	51	82	44
FEV	175	40	77	9	77	54	96	40
MARS	216	56	101	27	87	57	98	40
AVRIL	166	81	189	45	130	63	143	60
MAI	209	68	210	49	191	100	158	48
JUIN	88	76	328	63	228	84	108	16
JUIL	64	39	269	86	253	110	127	18
AOUT	108	49	258	57	226	125	173	16
SEP	100	43	245	83	215	99	122	18
OCT	156	74	108	58	124	55	117	55
NOV	101	56	110	17	65	48	114	27
DEC	143	50	86	15	67	48	117	34

Tab 12:fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984).

Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
8.78	4.17	5.12	8.78	3.41	3.38	1.35	3.65	8.66	6.97	3.50	8.91

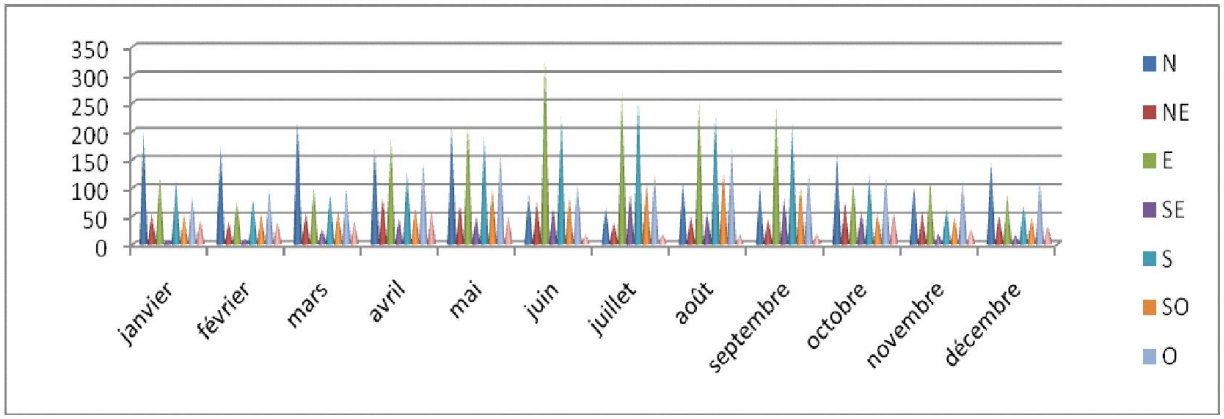


Fig. 21: fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984).

f-Caractérisation du climat

a- Méthodes graphiques

Les indices bioclimatiques, permettent de caractériser le niveau de sécheresse ou d'aridité d'un lieu ou d'un climat. Les méthodes les plus couramment utilisées sont les suivantes:

1-Diagramme ombro-thermique

Cette méthode tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et donne une expression relative à la sécheresse estivale en durée

et en intensité (Gaussen et Bagnouls, 1952). Un mois donné est considéré comme sec quand p < 2t, c'est-à-dire quand les pertes en eaux (supposées causées par une température trop forte) sont supérieures aux apports (précipitations).

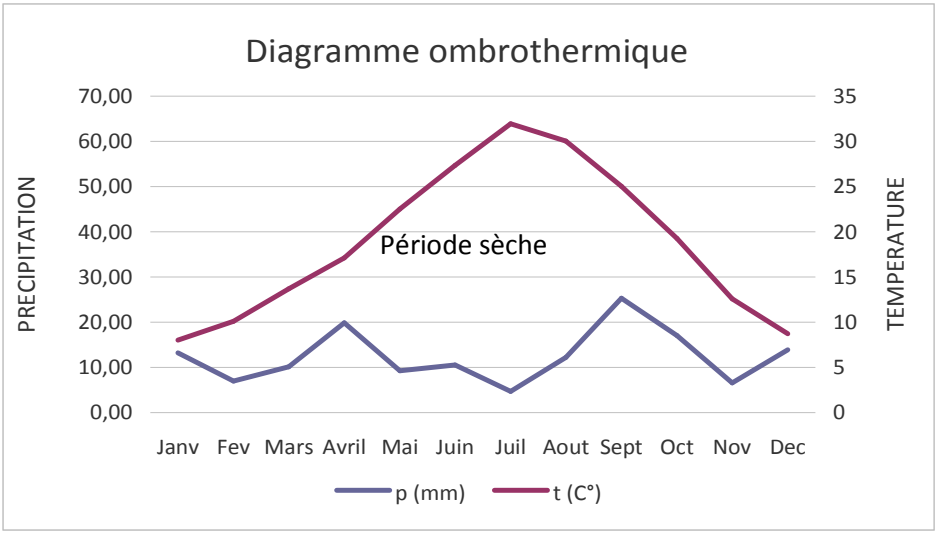


Fig. 22 : Diagramme ombrothermique , station de Laghouat.

D'après la courbe ombrothermique, on constate que la période déficitaire s'étale toute l'année (fig.21).

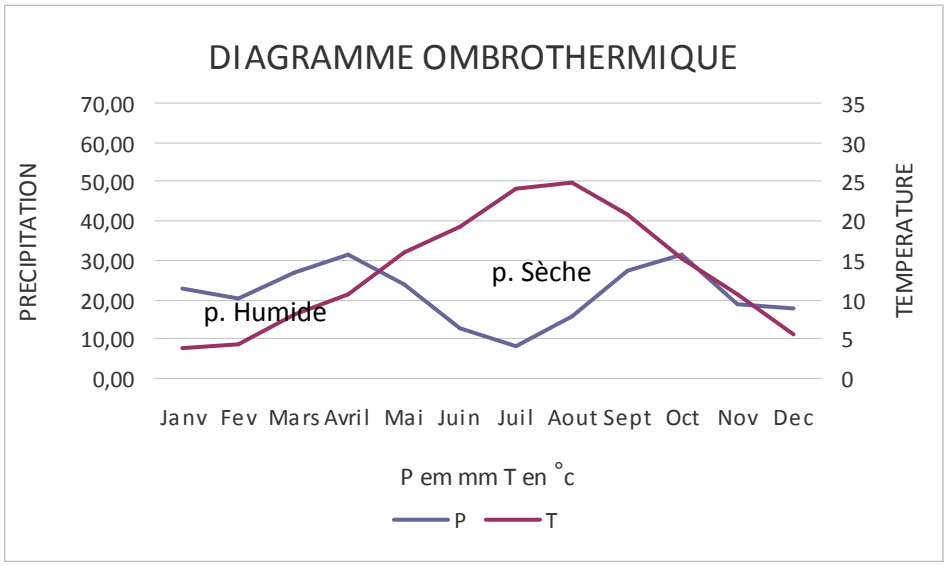


Fig.23 : Diagramme ombro-thermique de la station d'Aflou.

Appliquée à la station d'Aflou, il résulte que la saison sèche s'étend du mois d'avril jusqu'à mi-novembre.(Fig.23)

2-Diagramme ombrothermique d'Euverte :

Les besoins en eau des plantes suivent une progression exponentielle et pour un accroissement de température de 6°C les besoins en eau doublent.

Le diagramme ombrothermique comporte en abscisse les mois de l'année et en ordonnées les températures en progression linéaire, et les précipitations en échelle logarithmique.

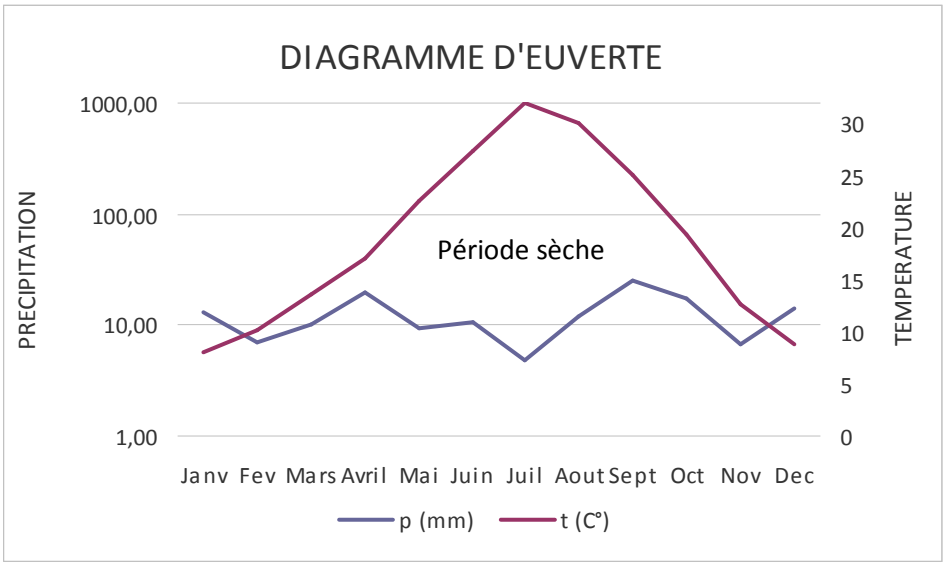
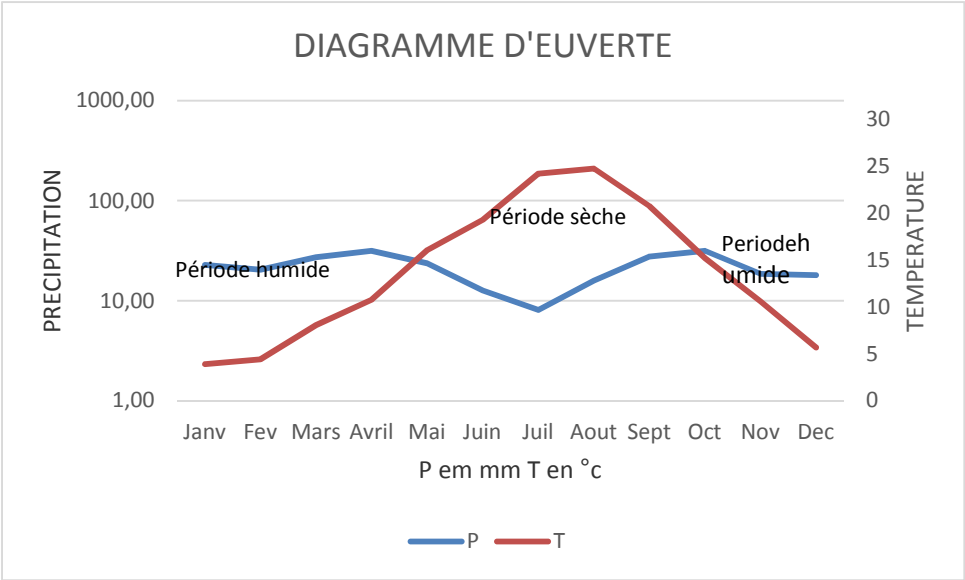


Fig.24: Diagramme d'Euverte station de Laghouat



la période humide est très réduite elle s'étale seulement sur deux mois décembre et janvier, pour Aflou la période humide est d'environ de six à sept mois d'octobre à avril.

g-Les paramètres climatiques :

g-1- Indice De Martonne :

-indice annuel :

En 1923, De MARTONNE a défini un indice d'aridité "A" comme suite :

$$A = \frac{P}{\text{-------}}$$

T+10

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyennes annuelles (°C)

A < 5 : climat hyperaride

5 <**A** < 7,5 : climat désertique

7,5 <**A**< 10 : climat steppique

10 <**A** < 20 : climat semi-aride

20 <**A** < 30 : climat tempéré

A=5.18 pour la station de Laghouat donc un climat désertique

A=11.61 pour la station d'Aflou donc un climat semi-aride

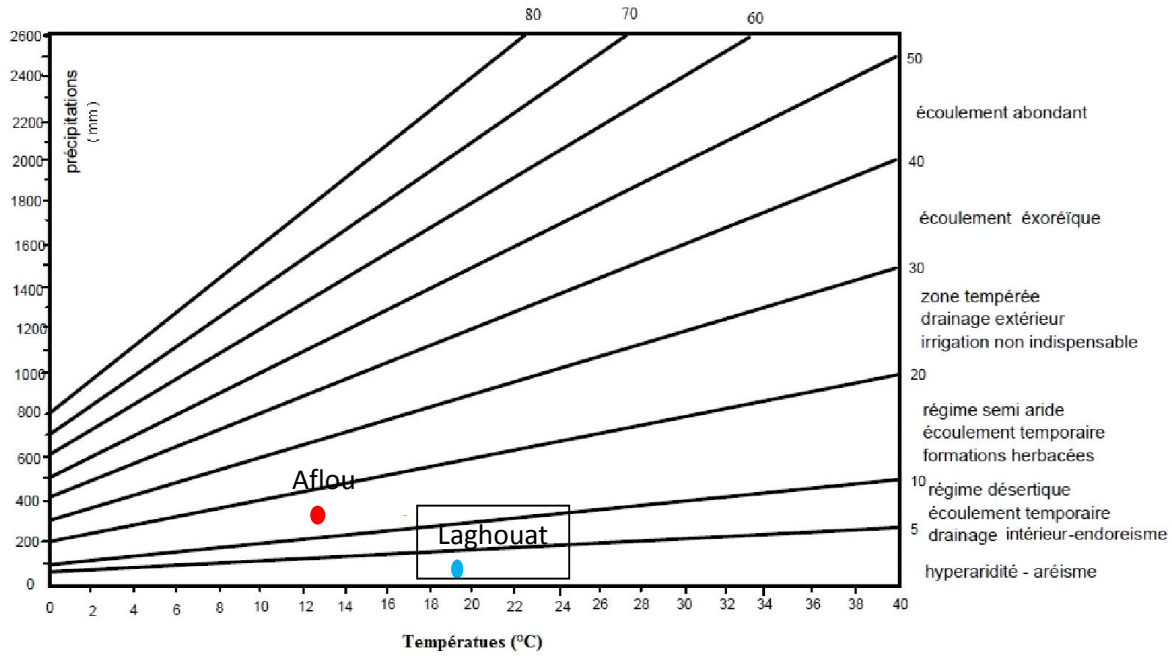


Fig.25: Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne

g-2-Indice de continentalité de Kerner :

Met en évidence l'influence de la mer sur la région étudiée. Il est donné par la relation suivante :

K=(To-Ta)*100/A

Avec :

K : indice de continentalité thermique exprimé en %

To : température moyenne du mois d'octobre en °C

Ta : température moyenne du mois d'avril en °C

A : amplitude thermique en °C

Appliqué à la station de Laghouat, l'indice de continentalité égale à 5,6% car cette dernière se situe loin de la méditerranée.

g.3-Indice pluviométrique de Moral :

l'indice pluviométrique de Moral (IA), permet de distinguer un climat sec (IA<1) d'un climat humide(IA >1) définit comme suite:

$$(IA)= P/T^2-10T+200$$

IA : indice pluviométrique annuel

P : Précipitation moyenne annuelle en mm

T : température moyenne annuelle en °C

Pour Laghouat IA = 0,4 caractérise un climat sec.

A Aflou IA =1,10 , un climat semi-aride semi-aride.

g.4-Méthode de Stewart :

Cet indice tient compte des précipitations moyennes annuelles ainsi que des températures moyennes des minima du mois le plus froid et maxima du mois le plus chaud.

Q2= 3.43P/M+m

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en (°C).

m: moyenne des minima du mois le plus froid en (°C).

Pour :

10 < Q2< 50 : climat semi-aride

Q2 < 2 : climat désertique

Le Q2 calculé pour la station de Laghouat est égal à 12,06 donc un climat semi-aride.

g.5-Climatogramme d'Emberger :

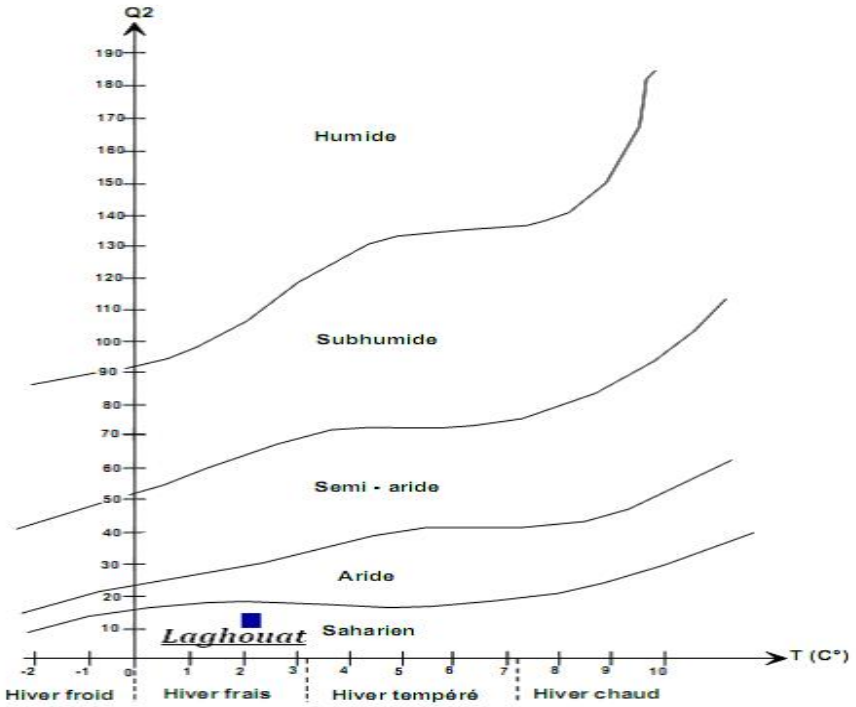


Fig.26:représentation de la station de Laghouat sur le Climagramme d'Emberger.

Utilisant les précipitations et la température, L. Emberger a proposé une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuel définit par :

$Q = 2000P/M^2\text{-}m^2$ $\quad Q_{laghouat} = 13{,}24.$

Où:

Q: Quotient pluvio-thermique d'Emberger ;

P: Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

M: La température maximum du mois le plus chaud, en degré kelvin (K°).

m : La température minimum du mois le plus froid, en degré Kelvin (K)

D'après le Climagramme d'Emberger, le climat de Laghouat est saharien caractérisé par un hiver frais (Fig26).

h-conclusion sur les indices climatiques :

Sachant que les éléments climatiques les plus importants pour caractériser un climat sont les précipitations, les températures et l'évaporation; les méthodes combinant ces éléments sont plus intéressantes que celles qui incluent un ou deux éléments seulement. Toutes ces méthodes ont qualifié le climat du secteur d'étude comme étant aride pour Laghouat et semi-aride à Aflou.

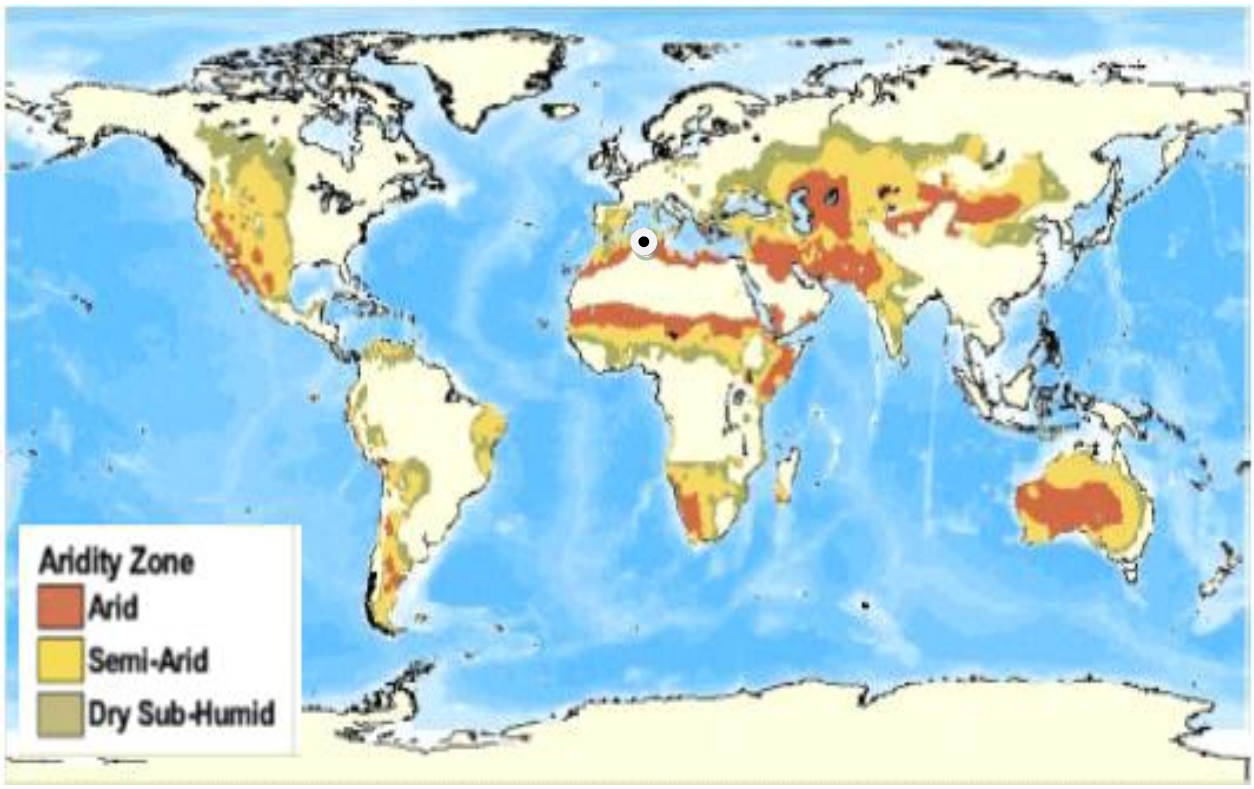


Fig. 27: La carte mondiale des terres arides Source: UNEP/GRID 1991 dans WRI.

La figure si dessus (Fig. 27) montre la situation du bassin versant de Oued M'zi sur la carte des terres arides.

i-Evaporation :

Les mesures réalisées avec un évaporomètrePiche au niveau de la station de Laghouat et la station d'Aflou sont mentionnées dans le Tab.ci dessous .

Tab .13: Moyennes mensuelles de l'évaporation Lagouat (1973-1980) et Aflou (1999-2011).

station	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avrl	mai	juin	juilet	août	année
Laghouat 1973-1980	61	57	52	52	37	41	52	60	85	98	96	95	786
Aflou 1999-2011	65,08	40,11	19,52	11,73	9,11	12,07	25,43	35,1	62	85,6	108,5	95,2	569,5

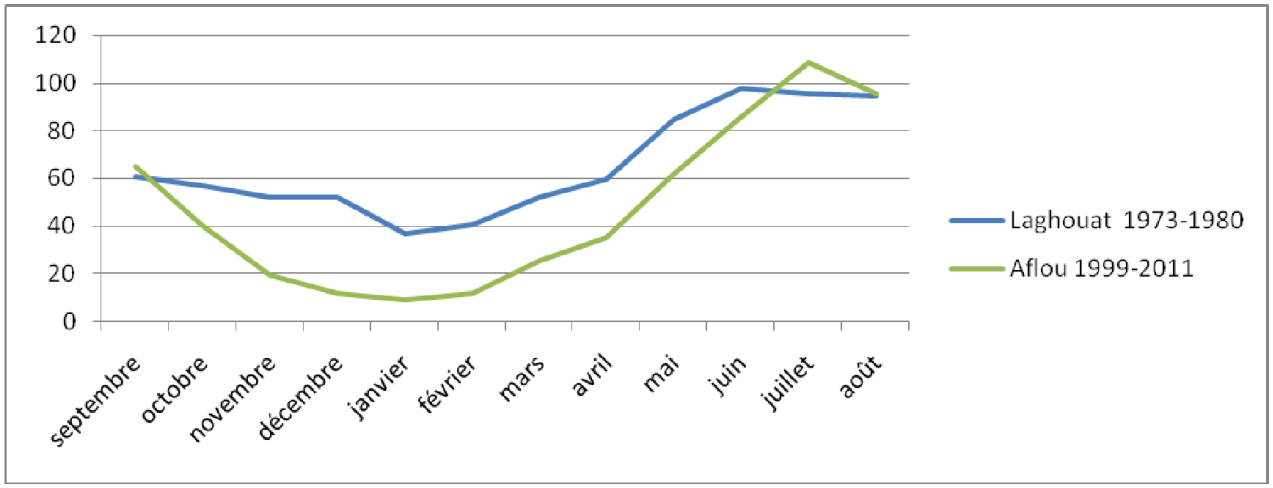


Fig. 28: Evaporation moyenne mensuelle Laghouat (1973-1980), Aflou (1999-2011).

Pour la station de Laghouat l'évaporation la plus élevée est observée au mois de Juillet avec 96 mm, la plus faible au mois de Janvier avec 37 mm.

Pour la station d'Aflou l'évaporation la plus élevée est observée au mois de Juillet avec 108,52 mm, la plus faible au mois de Janvier avec 9,11 mm.

j-L'évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique. La précision avec laquelle l'évapotranspiration est estimée essentielle pour le calcul du bilan hydrique.

On a pu avoir des données d'ETP calculée par les deux méthodes Penman et Turc pour la période de 21 an (1990-2011) station de Laghouat. (Fig.17)

1990/2011 Mois:	Penman (mm/mois)	Turc (mm/mois
Janvier	43	44
Février	60	60
Mars	110	102
Avril	154	136
Mai	195	181
Juin	216	212
Juillet	231	231
Août	202	202
Septembre	149	140
Octobre	97	99
Novembre	54	62
Décembre	37	43

Fig. 29 :ETP moyenne cumulée Penman et Turc (1990-2011) Laghouat (source Bneder 2012).

k-Evapotranspiration potentielle ETP :

C'est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant.

L'estimation de l'évapotranspiration potentielle, a été établie par la formule de Thornthwaite et celle de Bouchet.

k.1 -Formule de Thornthwaite :

On a appliqué la formule de THORNTHWAITE à la station de Laghouat et la station d'Aflou:

A la station de Laghouat

ETP = 16 [10T/ I] ^{a} (mm)

Où :

ETP : L'évapotranspiration potentielle non corrigée, (mm).

T : La température moyenne mensuelle en C°.

I : L'indice annuel de chaleur, **I=** $\Sigma^{12}_{i=1}$ i

i : L'indice mensuel de chaleur, **i =** $[T/5]^{1.514}$

a: L'exposant climatique, **(a = 0.016 I + 0.5)**

Les valeurs de ETP calculées par cette formule doivent être corrigées à l'aide d'un facteur correctif K, qui dépend du temps et du lieu de la station intéressée: ETP corrigée= ETP.K

I = 96,08 a = 2,037

ETPc = 1014,51 mm, soit 677,67% des précipitations.

Tab.14: ETP calculée par la méthode de Thornthwaite à la station de Laghouat (1990-2011).

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	année
ETP calculée	11,1	17,71	32,96	51,9	90,81	134,8	184,91	163,3	112,62	66,05	27,75	13,13	907,08
K	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,2	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86	
ETP corrigée	9,76	15,23	33,95	56,57	108,07	161,76	225,59	187,8	116	64,07	24,42	11,29	1014,51

A la station d'Aflou :

Les résultats obtenus, pour la station d'Aflou, sont mentionnés dans le Tab. 22 avec :

I = 60,8 et a = 1,47.

Donc, ETP**c**= 766,74 mm, soit 279,30 % des précipitations.

Tab. 15 : l'ETP selon la méthode de Thornthwaiteà la station d'Aflou. Période(1990-2011).

Aflou	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	année
ETP calculée	8,31	9,93	24,19	37,03	66,83	87,69	122,36	126,48	97,56	61,68	36,27	14,36	692,76
K	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03	0,97	0,87	0,86	
ETP corrigée	7,32	8,44	24,91	40,37	80,20	105,22	149,28	146,72	100,49	59,83	31,56	12,35	766,74

l-Evapotranspiration réelle ETR :

L'évapotranspiration réelle est une réponse, en termes de vapeur d'eau, d'un milieu donné à la demande exercée par l'évapotranspiration potentielle, compte tenu de la quantité d'eau disponible.

L'évapotranspiration réelle est estimée à l'aide des formules de TURC, COUTAGNE, WUNDT et THORNTHWAITE.

l.1- Formule de Turc :

En utilisant la hauteur annuelle de pluie et la température moyenne annuelle, la formule de Turc nous permet d'évaluer l'évapotranspiration réelle annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

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

ETR : Evapotranspiration réelle (en mm/an)

P : Hauteur annuelle de pluie (en mm)

T : Température moyenne annuelle (en ºC)

Les résultats obtenus par l'application de la formule de Turc pour les stations de Laghouat et Aflou (1990/2011) sont dans le Tab.si dessous :

Tab.16. Evapotranspiration réelle par la méthode de Turc

Stations	T °C	P mm	ETR mm/an
Aflou	13,63	274,53	270,76
Laghouat	18,87	149,71	156,23

l. 2-Méthode de Wundt :

Cette méthode permet d'obtenir à partir d'un diagramme le déficit d'écoulement en fonction de la température et des précipitations.

ETR Laghouat=200 mm **ETR Aflou** = 290mm

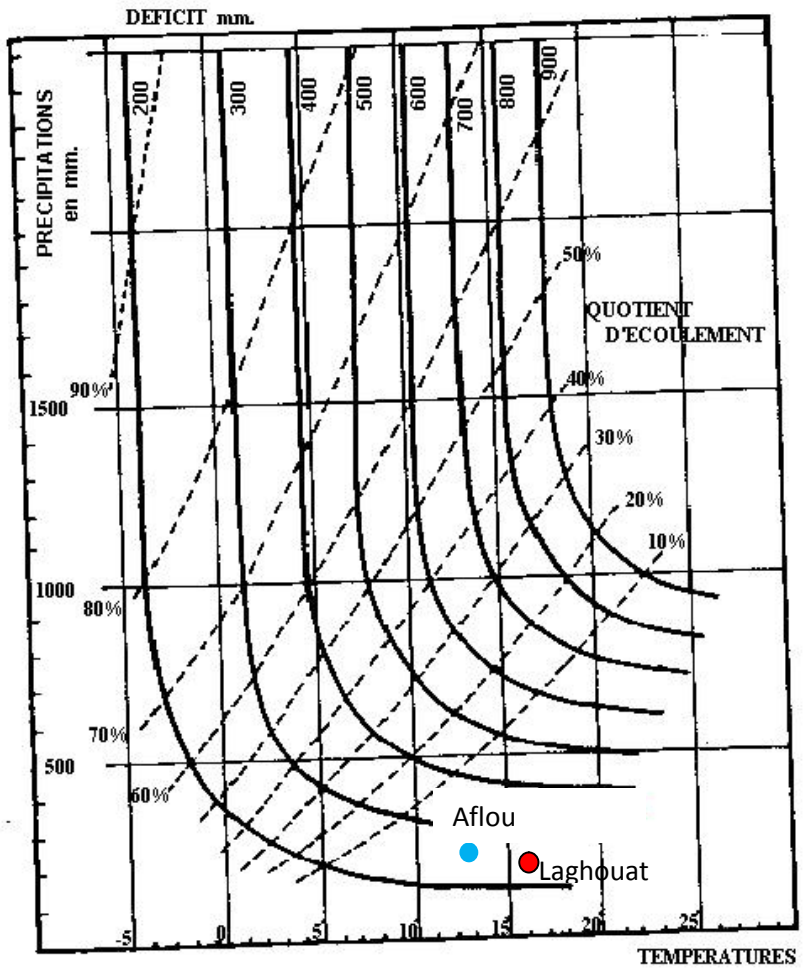


Fig.30 : l'abaque de Wundt pour déterminer le déficit d'écoulement (ETR) pour Laghouat et Aflou

l.3- Formule de Coutagne :

D'après **Coutagne** : **ETR = P – λ P ²** avec **: λ = 1 / 0.8 + 0.14T**

P : La précipitation moyenne annuelle, en m.

T : La température moyenne annuelle, en C°.

Cette formule n'est valable que pour des valeurs du P comprise entre : **1/8λ< P < 1/2λ.**

λ =0.29 pour Laghouat et 0.36 pour Aflou

on a P>1/2λ pour les deux stations la formule n'est pas applicable.

l.4- Méthode de Verdeil :

En 1989, Verdeil a établi un abaque bi-logarithmique pour les régions arides et semi-arides où les précipitations ne dépassent pas les 600 mm, en tenant compte que des précipitations.

Pour Laghouat Etr = 144 mm et Aflou : 260 mm

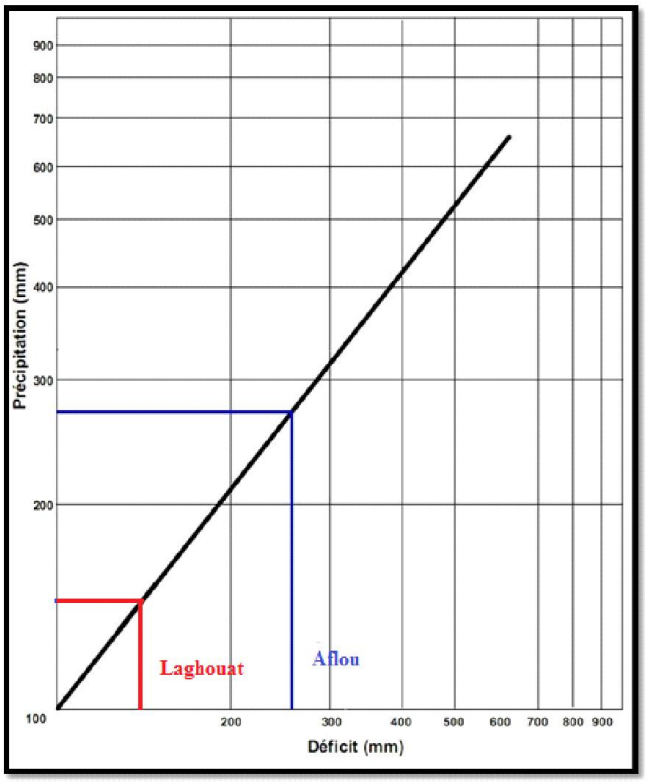


Fig. 31:Projection des stations pluviométriques sur l'abaque de VERDEIL.

l.5-Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, ce qui convient à notre secteur d'étude, vu les caractéristiques de son climat. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). L'estimation de ce paramètre a été faite par l'application de la formule de Hallaire 1960 (cité par J.Ricard1979).

RFU = (C – F /100)* h * D + 30 mm

Avec :

RFU : Réserve facilement utilisable en (mm)
C : Capacité de rétention aux champs
F : Capacité au point de flétrissement des plantes
h: profondeur de la couche traversée par les racines
D : Densité apparente du sol, supposée : D = 1
30 mm : correspondent au déracinement capillaire.

Hallaire propose :

C – F = 05 % : un sol sableux
C – F = 10% -15% : un sol limoneux
C – F = 20 % :un sol argilo – limoneux

La majeur partie du sol de la région d'étude est limoneuse, on prend **C-F** =10 %
profondeur**h**= 650mm.

RFU = (10 /100)* 650 * 1 + 30 mm RFU = 95 mm.

Dans cette méthodes ,on se base sur le principe suivant:

Si : P > ETP → ETR = ETP → RFU = P – ETP.

Si : P = ETP → Les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol mais il n'y aura pas de surplus pour alimenter la RFU donc [RFU = 0].

Si : P < ETP → on a épuisement des réserves, dans ce cas on aura un déficit du bilan (ETP – ETR), ou encore (ETP-P) qui représentera la quantité d'eau qu'il faudra ajouter à l'ETR pour atteindre l'ETP.

Tab.. 17: Bilan hydrique moyen (1990-2011)
à la station de Laghouat, par la méthode de Thornthwaite.

	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	Annuel
P (mm)	13,91	13,2	7	10,12	19,86	9,25	10,53	4,72	12,2	25,3	17,02	6,6	**149,71**
E.T.P. (mm)	11,29	9,76	15,23	33,95	56,57	108,07	161,76	225,59	187,8	116	64,07	24,42	**1014,51**
Variation de la réserve (mm)	2,62	3,44	-8,23	-23,83	-36,71	-98,82	-151,23	-220,87	-175,6	-90,7	-47,05	-17,82	
Réserve d'eau utile (mm)	2,62	6,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
E.T.R. (mm)	13,91	9,76	13,06	10,12	19,86	9,25	10,53	4,72	12,20	25,30	17,02	6,60	152,33
Déficit (mm)	-2,62	0,00	2,17	23,83	36,71	98,82	151,23	220,87	175,60	90,70	47,05	17,82	**862,18**
P - E.T.P.	2,62	3,44	-8,23	-23,83	-36,71	-98,82	-151,23	-220,87	-175,60	-90,70	-47,05	-17,82	
Coef. mensuel d'humidité	0,19	0,35	-0,63	-2,35	-1,85	-10,68	-14,36	-46,79	-14,39	-3,58	-2,76	-2,70	
Excédent (mm)													0

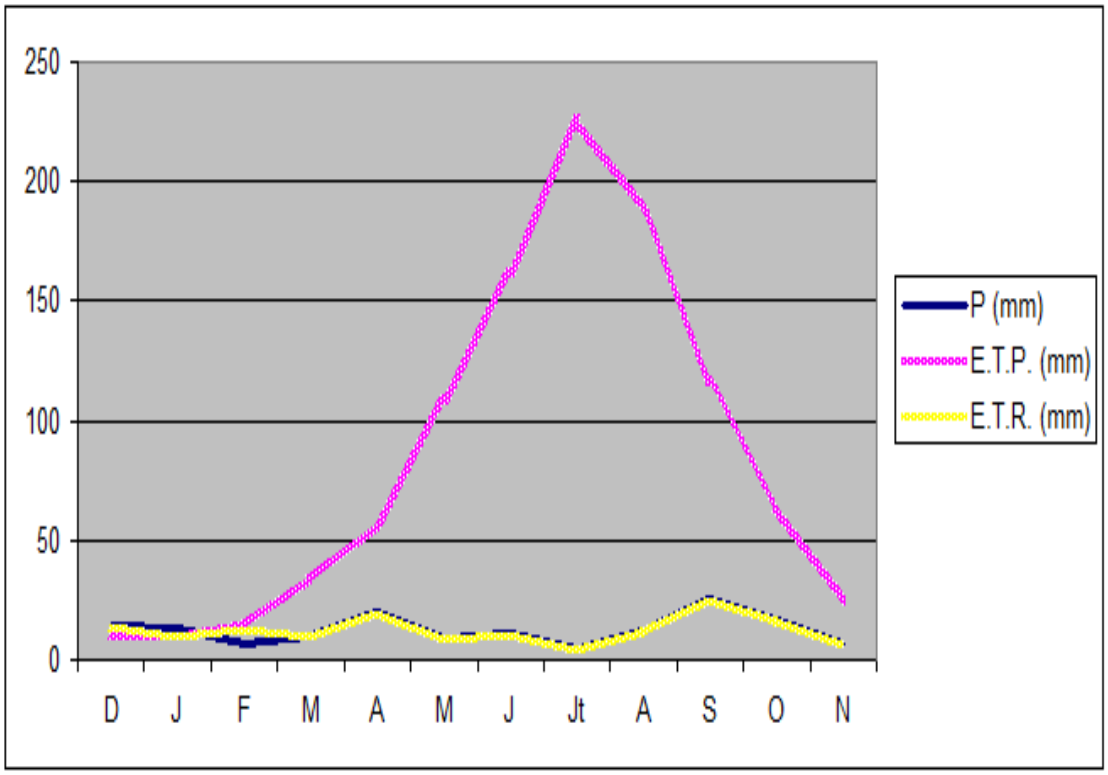


Fig.32 : Graphe représentant le bilan hydrique par la méthode de THORNWAITE station de Laghouat (1990-2011)

L'observation du bilan hydrologique nous amène à dire que l'ETP est importante du mois de Juin jusqu'au mois d'août, avec des valeurs atteignant les 225,59 mm au mois de Juillet. A partir du mois de Mai, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les Juin-Aout. Au-delà de cette période, on ' à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock.

Tab.18: ETR de la station de Laghouat par différentes méthodes

Méthode	**ETR(mm)**
Turc	**156.23**
Wundt	**200**
Verdeil	**144**
Thornthwaite	**152.33**
Moyenne	**175**

On remarque que les résultats de l'évapotranspiration varient d'une méthode à l'autre

Tab.. 19: Bilan hydrique moyen (1990-2011)à la station d'Aflou, par la méthode de Thornthwaite.

	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	
P (mm)	**24,78**	**33,01**	**31,71**	**24,09**	**26,59**	**24,63**	**12,1**	**11,89**	**15,05**	**27,77**	**24,17**	**18,74**	**274,53**
E.T.P. (mm)	**12,35**	**7,32**	**8,44**	**24,91**	**40,37**	**80,2**	**105,22**	**149,28**	**146,72**	**100,49**	**59,83**	**31,56**	**766.69**
Variation de la réserve (mm)	**12,43**	**25,69**	**23,27**	**-0,82**	**-13,78**	**-55,57**	**-93,12**	**-137,39**	**-131,67**	**-72,72**	**-35,66**	**-12,82**	**-0,13**
Réserve d'eau utile (mm)	**12,43**	**38,12**	**61,39**	**60,57**	**46,79**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	
E.T.R. (mm)	12,35	7,32	8,44	24,91	40,37	71,42	12,1	11,89	15,05	27,77	24,17	18,74	274,53
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	8,78	93,12	137,39	131,67	72,72	35,66	12,82	492,16
P - E.T.P.	**12,43**	**25,69**	**23,27**	**-0,82**	**-13,78**	**-55,57**	**-93,12**	**-137,39**	**-131,67**	**-72,72**	**-35,66**	**-12,82**	**287,35**
Coef. mensuel d'humidité	**0,50**	**2,63**	**1,78**	**-0,03**	**-0,52**	**-2,26**	**-7,70**	**-11,56**	**-8,75**	**-2,62**	**-1,48**	**-0,68**	
Excédent (mm)													**0**

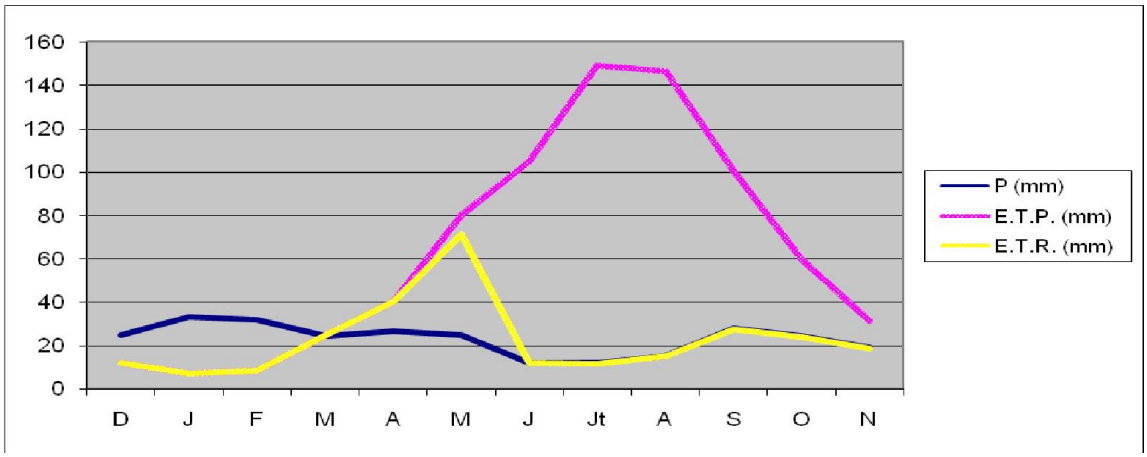


Fig.33 : Graphe représentant le bilan hydrique par la méthode de THORNWAITE Station d'Aflou (1990-2011)

l'évolution de l'ETPc à l'échelle mensuelle, montre l'existence de deux périodes bien distinctes : l'une pendant laquelle les précipitations sont supérieures à L'ETP (Décembre - Février) et la seconde c'est l'inverse (Mars - Novembre).(Fig.)

Pendant la saison froide, le bilan hydrique est positif où les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU.

A partir du mois de Mai apparaît un déficit agricole qui montre une période sèche et qui se poursuit jusqu'à l'épuisement de la RFU.

m-Bilan hydrologique

Un système hydraulique qui peut être un lac, une rivière, un aquifère, ou un bassin versant comme notre cas est conditionné par une équation de base qui permet de distribuer les précipitations s'écrit : Variation de stock=entrés -sorties

Les **entrées :** qui peuvent être des précipitation, infiltration dans le sol, percolation ou bien des apports artificiels (stockage souterrain d'eau).

Les **sorties :** comme l'évaporation, la transpiration, le ruissellement de surface, les émergences et le pompage.

Le calcul du bilan hydrologique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que: les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration. Le bilan s'écrit selon la formule :

P = E + R + I

Où :

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm

E : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

R : Ruissellement moyen annuel en mm

I : Infiltration moyenne annuelle en mm

m.1-Ruissellement superficiel :

estimé comme suite par la formule de Tixeront-Berkaloff :

$$\mathbf{R = P^3 / 3(ETPc)^2}$$

appliqué à la station de Laghouat, on' a :

$$R=(149.71)^3 /3\mathbf{(1014.51)^2}$$

Tab.20 : ruissellement superficiel pour la station de Laghouat (1990-2011)

Stations	**P (mm)**	**ETPc (mm)**	**R (mm)**	
Laghouat	149,71	1014,51	1,09	0,73 % des P
Aflou	274,53	766.69	11,73	4,27 % des P

m.2-Infiltration :

L'infiltration est déduite à partir de l'équation principale du bilan

P = ETR + R + I donc I = P – (ETR +R)

L'application de la formule pour la station de Laghouat a donné les résultats mentionnés dans le Tab.suivant :

Tab.21 : ETR de la station de Laghouat par différentes méthodes

Méthodes	P (mm)	ETR		R		I	
		mm	% des P	mm	% des P	mm	% des P
Turc	149,71	156,23	/	1,09	0,73	/	/
Wundt		200	/			/	/
Verdeil		144	96,18			4,62	3,086
Thornthwaite		152,33	/			/	/

Pour Aflou les résultats sont mentionnés dans le Tab.suivant :

Tab.22 :ETR de la station d'Aflou par différentes méthodes

Méthodes	P (mm)	ETR		R		I	
		mm	% des P	mm	% des P	mm	% des P
Turc	274,53	270,76	98,62	11,73	4,27	3,95	1,44
Wundt		290	/			/	/
Verdeil		260	94,70			2,8	1,02
Thornthwaite		274,53	/			/	/

Seule la méthode de Verdeil donne des valeurs acceptables.

Conclusion :

L'étude hydro climatologiques du bassin versant de Oued M'zi située au versant sud du Djebel Amour nous permet de déduire que Le climat de la région d'étude qui a été déterminé par différentes méthodes, varie de semi-aride à hyper-aride prédominé par des Influences sahariennes. Les stations sont méridionales sont caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières et des températures élevées surtouts pendant la période estivale pour la période (1990-2011), avec un maximum de 40,48 °C au mois de juillet pour la station de Laghouat indiquant que la région est déficitaire durant toute l'année. Les régions situées au nord sont plus arrosées avec un hiver froid et une période humide assez longue.

Pour le bilan hydrologique seule la méthode de verdeil donne des résultats acceptables pour les deux stations.

Les crues du printemps contribuent à l'alimentation de la plateforme saharienne en générale et des inféroflux en particulier.

Chapitre III

Morphométrie

I- CARACTERISTIQUES DE FORME

Sur un plan purement hydrographique, les crêtes du Djebel amour dessinent une ligne de partage des eaux qui, pour les unes, vont rejoindre les Dayas, les Sebkhas et les Chotts parsemés sur les Hauts Plateaux Oranais. Tandis que les autres sont à l'origine des oueds qui circulent sur la Hamada avant d'aller se perdre en bordure des sables du Grand Erg Occidental.

Dans leur grande majorité, les cours d'eau issus de l'Atlas répondent bien à leur appellation d'oueds, puisqu'ils à sec la majeure partie de l'année.

A l'échelle du Djebel Amour, au cours de chaque cycle hydrologique, ce sont des millions de mètres cubes qui vont alimenter les écoulements de surfaces mais aussi les inféro-flux. Ces écoulements sont parfois exploités au niveau de barrages superficiels (Brézina) ou souterrains (Tadjmout) ou bien vont s'enfoncer vers le sud où elles pourront rejoindre en bordure du Grand Erg Occidental des zones d'épandage associées à des dômes piézométriques qui traduisent la réalimentation de la nappe par les eaux d'infiltration.

Dans cette étude nous nous intéressant particulièrement à la physiographie et au relief du bassin versant de l'Oued M'Zi.

I- HYDROGRAPHIE

a - PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE L'OUED M'Zi :

Le bassin versant d'Oued M' Zi qui appartient au grand bassin versant de Chott Melhrir(Fig. 2) est l'un des grands bassins versants de l'Algérie il s'étend sur huit Wilayas dont la wilaya de Laghouat, où passe l'Oued M'Zi.

Le Bassin versant de Chott Melhrir occupe une superficie de 68 750 km^2, il se compose de 30 sous bassins (dont le bassin versant de l'Oued M'Zi), il se distingue par un important cours d'eau, qui est celui de Oued Djedi.

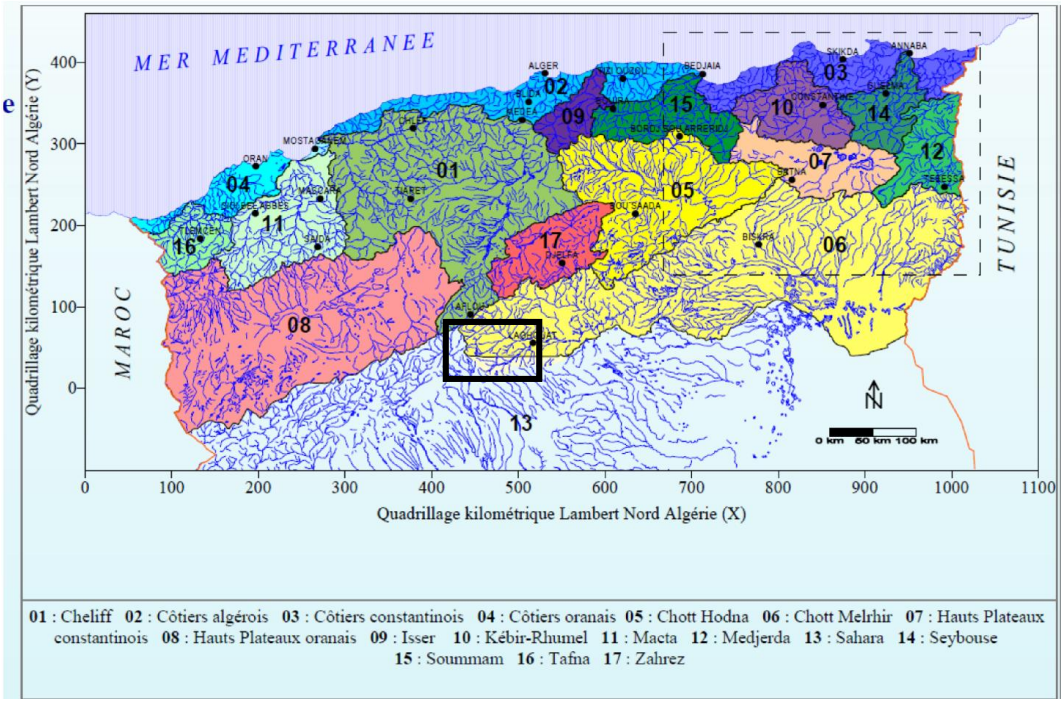


Fig.34 : carte des bassins versants de l'Algérie du Nord (ABH, 2012).

b. Réseau hydrographique :

Le bassin versant de l'oued Djedi couvre une superficie de 24200 Km². C'est le cours d'eau le plus important du bassin versant(ChotteMelghir) (Fig.34). Il traverse toute la région située à l'ouestdu méridien de Biskra et se jette dans le Chott Melghir. La confluence des deux oueds : M'zi et Messad forme l'origine de l'Oued Djedi. Sur son passage, il reçoit plusieurs oueds provenant du flanc sud de l'Atlas saharien.

Les principaux affluents sont pour la partie occidentale :

- l'oued M'Zi qui prend naissance à une altitude de 1593 m.
- l'oued Messad qui prend naissance à une altitude de 1000 m.
- l'oued Merguel et l'oued Moudjbara qui prennent naissance à une altitude d'environ 1400 mètres et se rejoignent pour former l'oued Demmed.

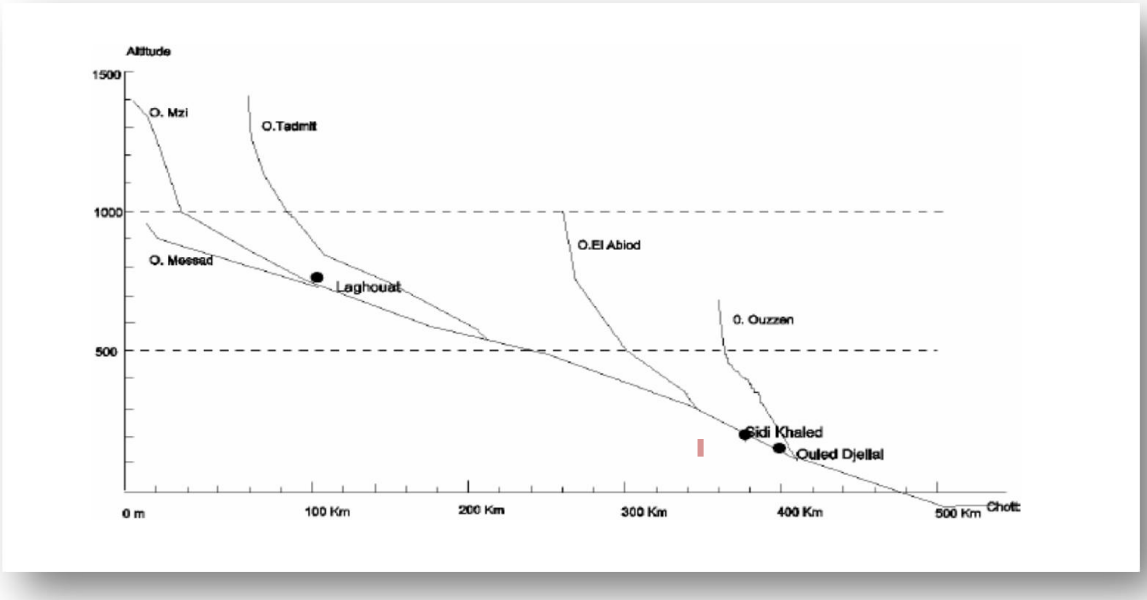


Fig.35 : profil de l'Oued Djeddi (Ouald Baba, 2012).

L'Oued M'zi né dans le Djebel Amour, il descend en direction de Laghouat. Au – delà de la zone d'épandage située immédiatement à l'aval de Ksar El Hirane, il prend le nom d'Oued Djedi(Fig.35) qu'il conservera jusqu'à son débouché sans le Chott Melghir. Il occupe une surface de 6153 Km^2 et un périmètre de 390 Kms.(Fig.36)

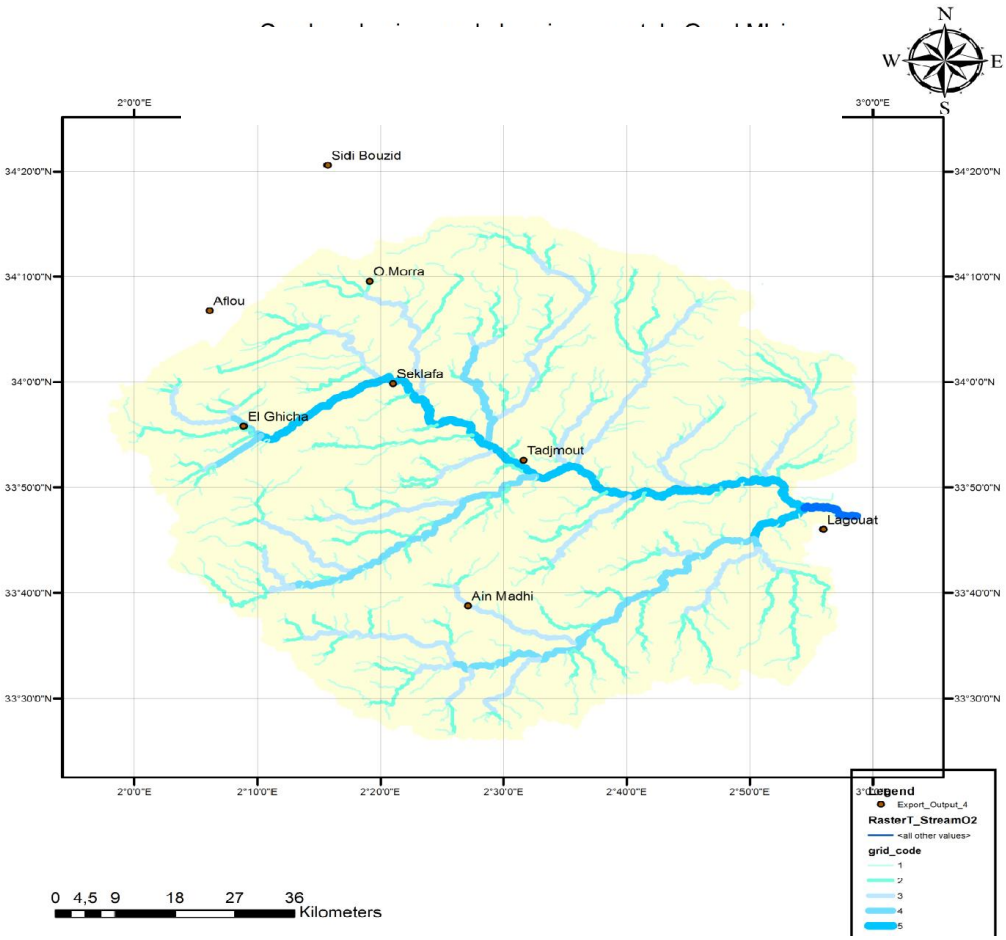


Fig.36 : Réseau hydrographique d'Oued M'zi

B-1- Hiérarchisation du réseau

La classification topologique du réseau hydrographique est effectuée sur la carte topographique de Laghouat, basée sur une méthode proposée initialement par HORTON en 1945 puis modifiée par STRAHLER en 1947, elle est la plus utilisée aujourd'hui.(Fig36).

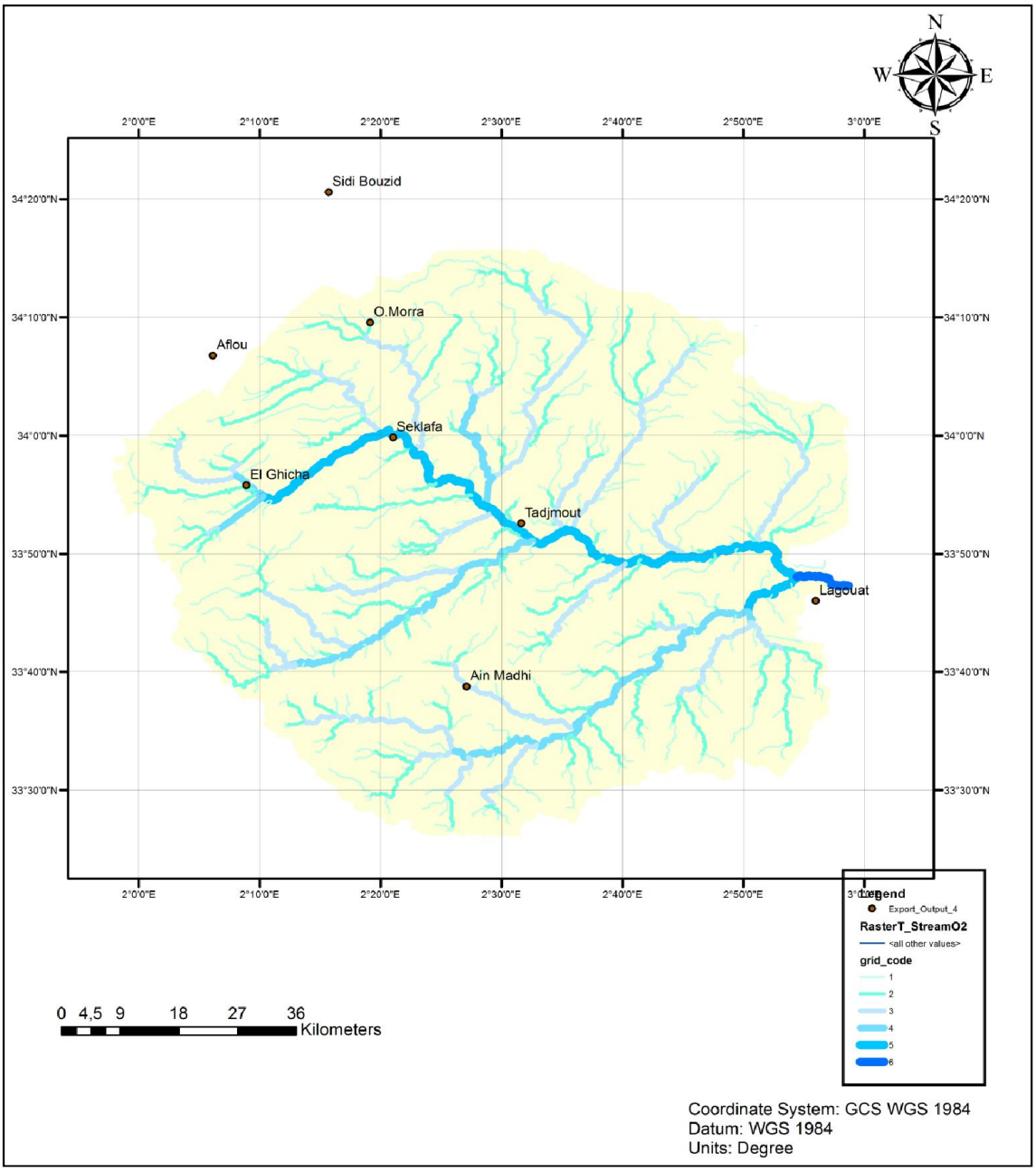


Fig.37 : Classification du chevelu hydrographique du bassin versant de Oued M'zi.

B-2. Paramètre du Réseau Hydrographique

Les paramètres importants qui régissent le régime hydrologique d'un cours d'eau sont : le rapport de confluence (Rc), le rapport des longueurs (Rl) et la densité de drainage (Dd).

1-Rapport de confluence

C'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre. Selon Strahler (1964), le R_B varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence.

Il est défini par : Rc = Nn / N (n+1) Où,

Rc : rapport de confluence.
Nn : nombre de cours d'eau d'ordre n.
Nn+1 : nombre de cours d'eau d'ordre n+1.

Lorsque le réseau est bien organisé, les nombres de cours d'eau successifs forment une série géométrique inverse.

Les points portés sur le diagramme semi-logarithmique sont alignés suivant une droite (fig38), le rapport de confluence moyen est égal à la pente de la droite ajustée à l'ensemble des points.

$$a = \frac{\text{Log Nn} - Log\ \text{N (n+1)}}{\text{(n+1)} - \text{n}}$$

n : l'ordre de Talwegs.
N : nombre des Talwegs.
a : la pente de la droite ajustée.

Tab 23: calcul du rapport de confluence

Ordre	Nombre de talwegs	Rc
1	**623**	**5,88**
2	**106**	**3,93**
3	**27**	**4,50**
4	**6**	**3,00**
5	**2**	**2,00**
6	1	

Rc=3.86 ,
donc bassin d'organisation moyenne du drainage et de faible allongement.(Tab.23)

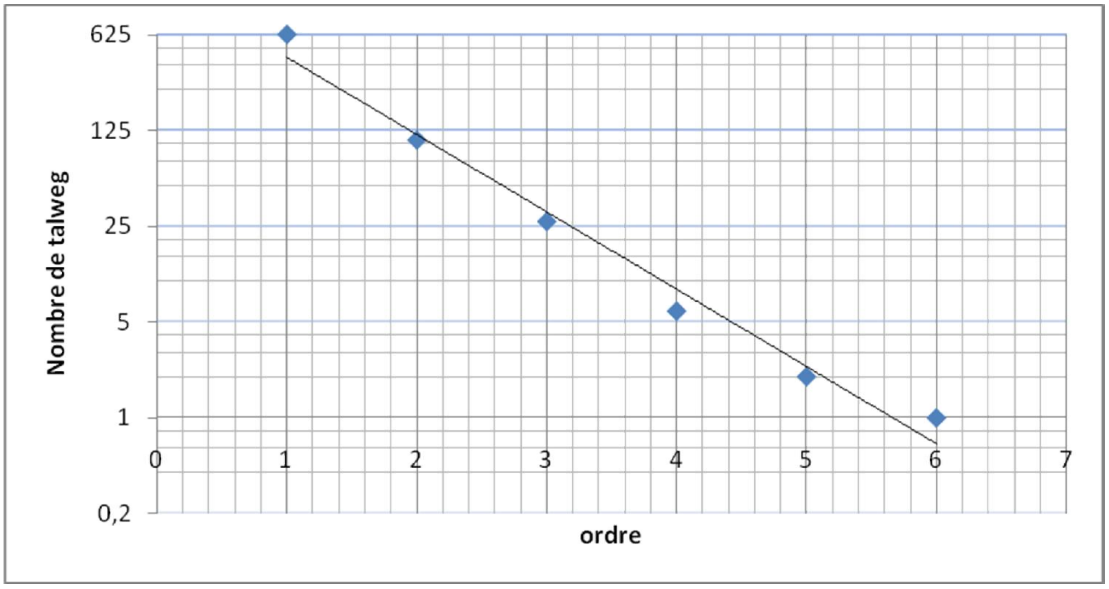


Fig.38 : Droite représentative du nombre de Thalwegs en fonction de l'ordre.

$$a = \frac{Log27 - Log6}{4-3} \qquad a=0.65$$

Le rapport Rcm qui est la pente de la droite a = 0.65.
La valeur de Rcm (Rcm = Log a) est de 4.46.

2-Rapport des longueurs(fig.40)

La définition est la suivante :

$$RL = LN / L\ (N+1)$$

LN : longueur de cours d'eau d'ordre n.
LN+1: longueur de cours d'eau d'ordre n+1.

Tab.24 : Calcul du Rapport des Longueurs

Ordre	Longueur des talwegs **(km)**	Rl
1	1267	1,95
2	651	1,63
3	399	2,79
4	143	1,27
5	113	14,13
6	8	4,35

R_L= 4,35
Par la méthode graphique on obtient RLm= 2,78(Tab.24)

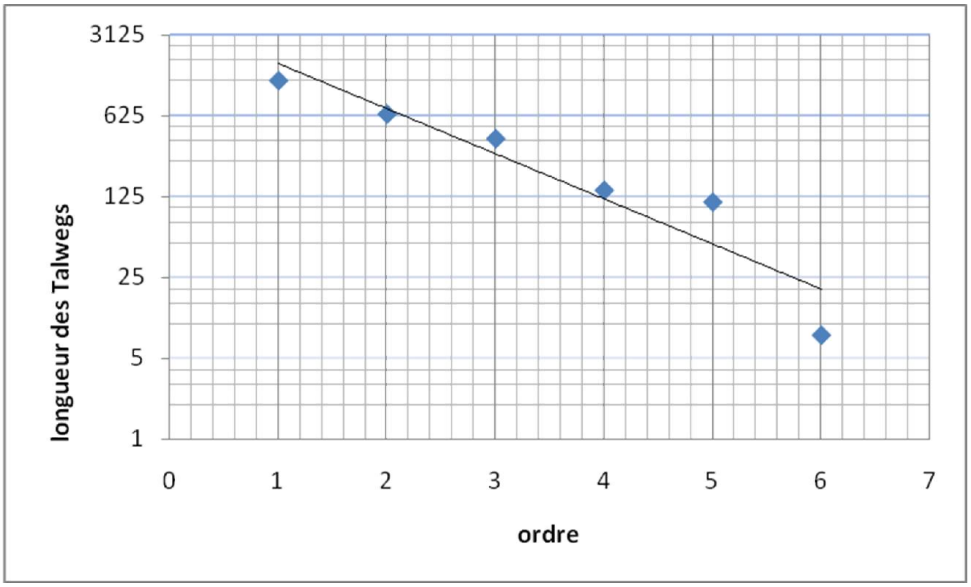


Fig.39 : le rapport des longueurs.

Les valeurs du rapport de confluence et du rapport des longueurs(Fig.39) permettent de dire que le bassin versant de l'Oued M'zi présente une bonne organisation.

3-Densité de drainage

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques. En pratique, les valeurs de densité de drainage varient de 3 à 4 pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement très limité et se trouve centralisé ; elles dépassent 1000 pour certaines zones où l'écoulement est très ramifié avec peu d'infiltration. Selon Schumm, la valeur inverse de la densité de drainage, *C=1/Dd*, s'appelle « constante de stabilité du cours d'eau ». Physiquement, elle représente la surface du bassin nécessaire pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans un vecteur hydrographique unitaire (section du réseau).

La densité de drainage est définie par :

$$Dd = \Sigma L / A$$

Où,

Dd : densité de drainage en km/km²
L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.
A : aire du bassin en km²

Dd = 0,41 km/km²

4-La densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Où :

F : densité hydrographique [km^{-2}] ;

N_i : nombre de cours d'eau ;

A : superficie du bassin [km^2].

F=0.12 km^{-2}

5-Coefficient d'allongement (E)

Il est donné par la relation suivante :

$$E = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L_0} \qquad L_0 = \frac{\sum l}{n}$$

Où,
A : la surface totale du bassin versant (Km^2) ;
n : nombre d'ordre supérieur (n=6) ;
l : longueur moyenne des talwegs (Km).
l_0 = 111,28(Km)

E = **0,79**. Cette valeur traduit un bassin versant peu allongé.

6-Le coefficient de torrentialité :

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité de drainage et celle des talwegs élémentaires d'ordre 1 :

$$CT = F1 \times Dd$$

Où
Dd : densité de drainage ;
F1 : La fréquence des talwegs d'ordre 1 ($F1 = N_1/A$ =623/6153=0.10).

CT = 0,41*0.10 CT =0.04

Ce paramètre permet l'estimation de la grandeur de l'énergie érosive du cours d'eau.

7-Temps de concentration :

Le temps de concentration dépend de plusieurs facteurs : la forme du bassin, le couvert végétal, la lithologie, la pente moyenne et la longueur du thalweg principal.

Il est défini comme le temps que met la particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour arriver à l'exutoire, il se calcule par la formule de GIONDOTTI.

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1{,}5\,L}{0{,}8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

où

Tc : temps de concentration (heures) ;

A : superficie du bassin (6153 km^2) ;

L : longueur du talweg principal (93 km) ;

Hmoy: altitude moyenne (1104,44 m) ; Hmin: altitude minimale (740 m).

Tc = 29,67 heures.

L'étude des caractéristiques physiques du bassin versant est importante et se reflète sur l'hydrologie de surface, les paramètres les plus importants sont :

II-COEFFICIENT DE COMPACITE ET MODELE DE REPRESENTATION :

a) COEFFICIENT DE COMPACITE GRAVILIUS : La connaissance de cet indice permet de comparer le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle ayant la même superficie car un bassin allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme arrondie.

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0{,}28\,\frac{P}{\sqrt{A}}$$

où :

A : superficie du bassin versant en (km²). 6153 Km²

P : Périmètre du bassin versant en (km). 390 Km

Pour le bassin versant de Oued M'Zi, KG = 1.41 (K_G>1); le bassin est allongé ce qui implique l'existence d'une érosion importante au niveau du bassin.

b- MODELE DE REPRESENTATION :

c-Rectangle équivalent : le rectangle équivalent est un modèle mis au point par M. Roche pour comparer les bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement (Fig. 1)

- La longueur du rectangle équivalent L (km)

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128}\left[1 + \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kc})^2}\right]$$

L = 158,7 km

- La largeur du rectangle équivalent l (km)

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128}\left[1 - \sqrt{1 - (\frac{1.12}{Kc})^2}\right]$$

l=38,32 Km

d- Répartition altimétrique du BV :

L répartition hypsométrique de la superficie totale par tranche d'altitude a été faite en utilisant le Logiciel Arc Gis. (Fig.40)(Tab.25)

Tab.25Répartition altimétrique du BV

Tranche d'altitudes (m)		Surface partielle (km²)	Surface partielle %	Surface cumulée %
740	800	847	13,606	100
800	900	1084	17,414	94.779
900	1000	993	15,952	87.229
1000	1100	846	13,590	78.137
1100	1200	589	9,462	70.024
1200	1300	505	8,112	60.562
1300	1400	566	9,092	46.972
1400	1500	470	7,550	31.020
1500	1593	325	5,221	13.606

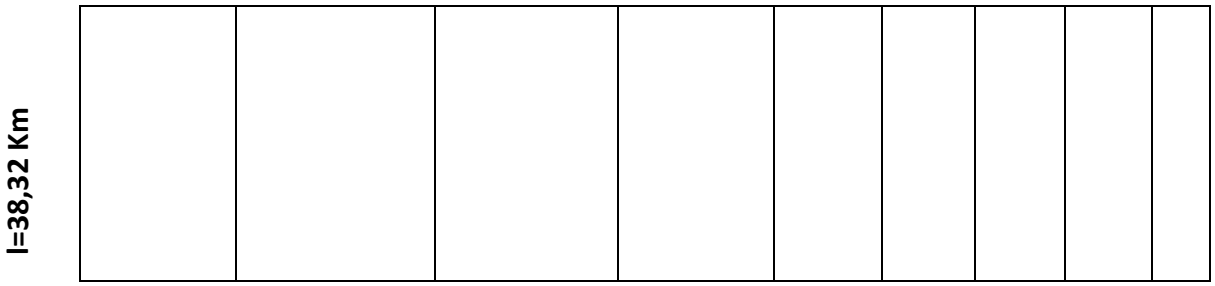


Fig.40 : Rectangle équivalent du bassin versant de Oued M'Zi.

III- ETUDE DU RELIEF

a-La Courbe hypsométrique (Fig. 41)

Partant de cette répartition il est possible d'établir la courbe hypsométrique qui présente en abscisses les altitudes et en ordonnées les pourcentages cumuléesdes fractions de surface.

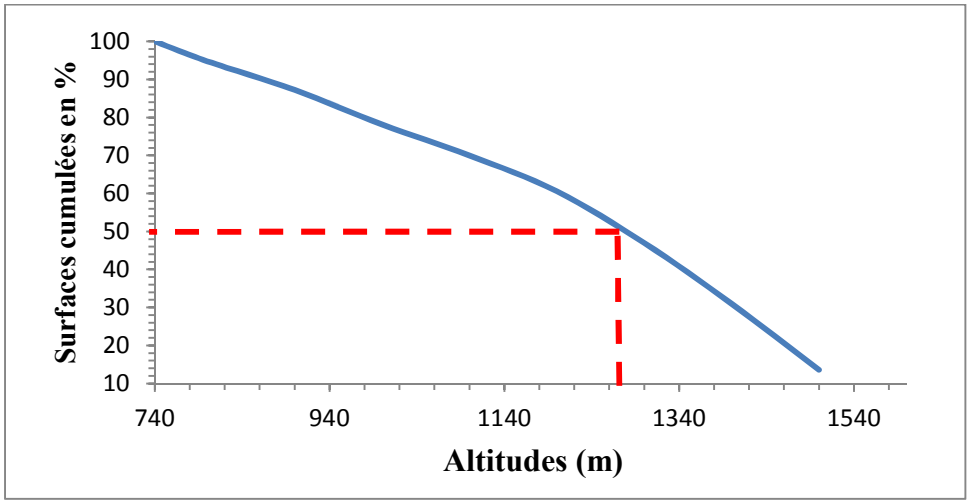


Fig.41 : La Courbe hypsométrique du bassin versant de Oued M'zi.

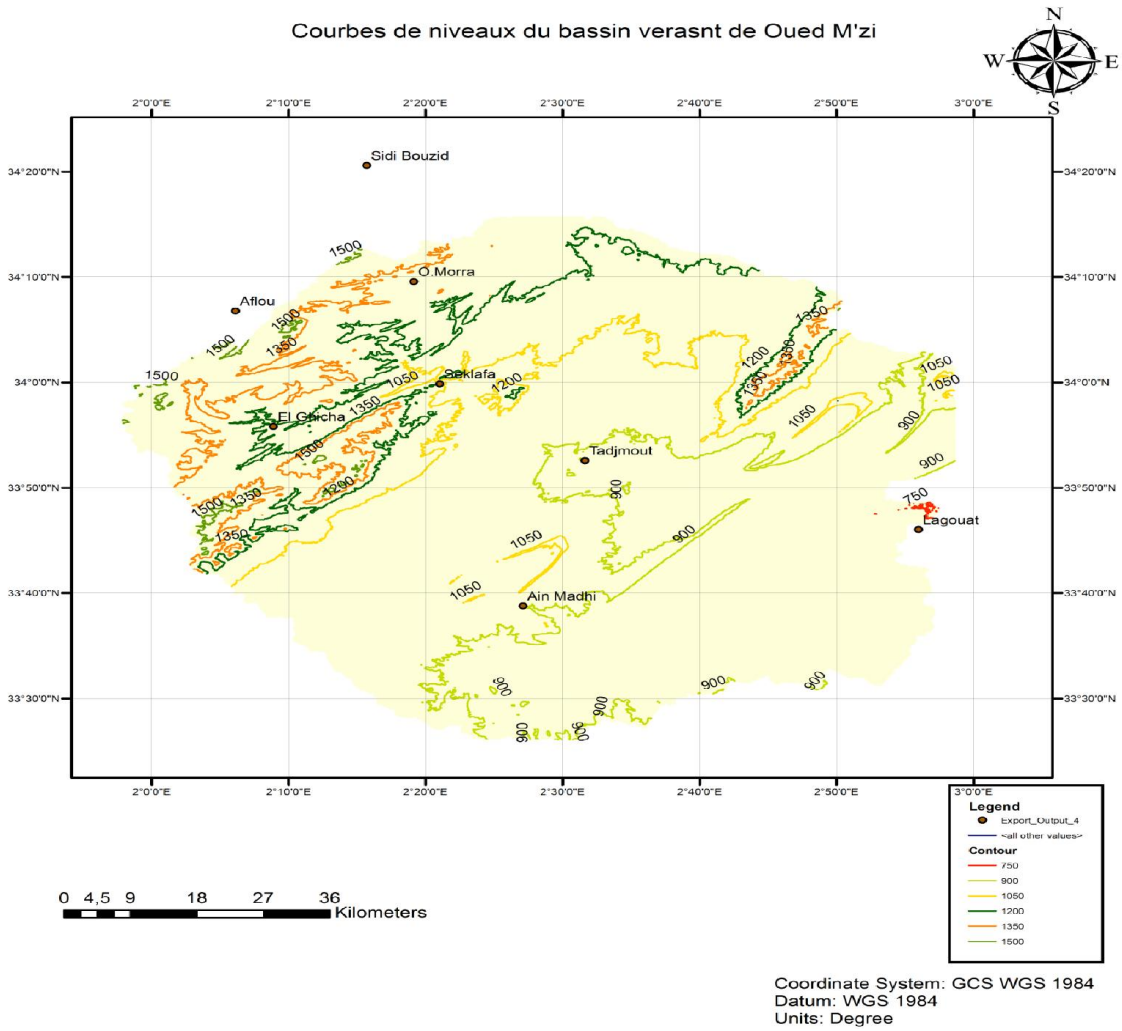


Fig.42 : carte hypsométrique du bassin versant d'Oued M' zi.

La courbe hypsométrique du bassin versant d'oued M'Zi est de forme concave, elle indique que le bassin n'a pas atteint le stade de la maturité et que l'érosion est encore importante.

Elle montre une pente moyenne et assez identique indiquant que le bassin dans sa majorité à la forme d'un plateau (Fig.42).

L'altitude maximale est de 1593 m, l'altitude minimale de 740 m. L'altitude moyenne donnée par l'ordonnée moyenne de la courbe hypsométrique est de 1275 m.

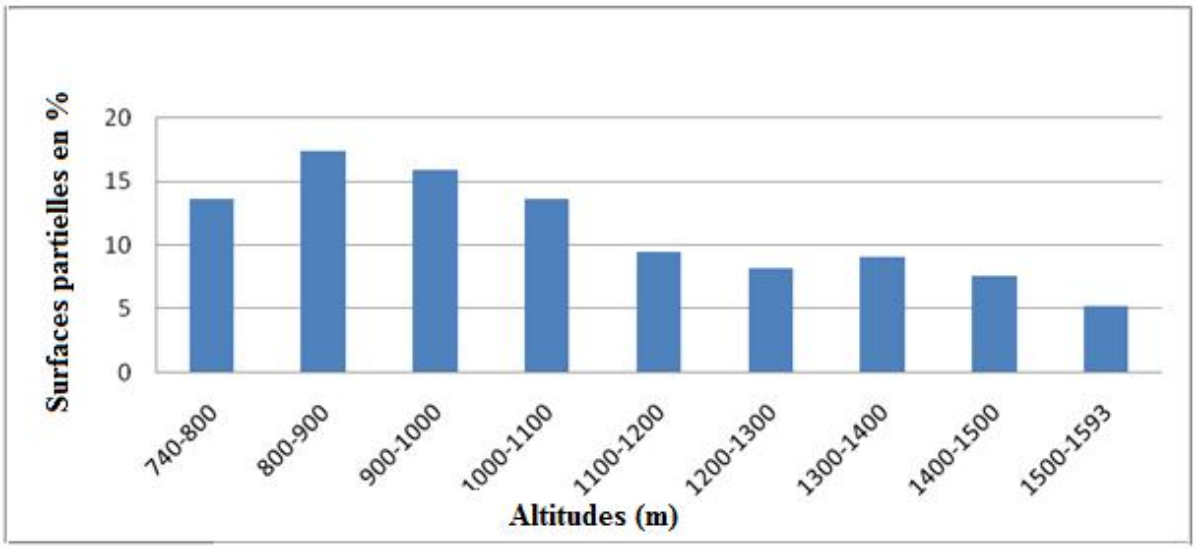


Fig. 43: Histogramme des fréquences altimétriques

L'altitude la plus fréquente se situe entre 800 et 900 m, elle correspond au maximum des fréquences altimétriques (Fig. 43) suivi d'un maximum secondaire entre 900 et 1000 m.
Les altitudes les moins fréquentes se situent dans la tranche supérieure à 1500 m et 1593 m, qui correspondent à l'amont montagneux.

b- Indices de pente

b-1 Pente moyenne

C'est le rapport entre la dénivelée totale et la longueur du rectangle équivalent

Imoy =D/L

où

D : Dénivelée totale du rectangle équivalent (Hmax - Hmin =1593 - 740 = 853 m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (158,27 Km)

Imoy =0,53 %.

b-2 Indices de pente de Roche Ip

L'indice de .pente Ip défini par Roche est calculé directement à partir du rectangle équivalent ; est égal à :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{a_i \, d_i}$$

L : longueur du rectangle équivalent.

ai : représente la fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau voisine distantes de di.(Tab.26)

Tab.26 : Paramètre de calcul de l'indice du pente de Roche Ip.

Tranche d'altitudes (m)		Surface partielle (km²)	Surface partielle % ai	diference d'altitude di	ai*di	racine ai*di
740	800	847	13,766	60	825,93	28,73
800	900	1084	17,414	100	1741,36	41,72
900	1000	993	15,952	100	1595,18	39,93
1000	1100	846	13,590	100	1359,03	36,86
1100	1200	589	9,462	100	946,18	30,76
1200	1300	505	8,112	100	811,24	28,48
1300	1400	490	7,871	100	787,14	28,05
1400	1500	470	7,550	100	755,02	27,47
1500	1593	329	5,285	93	491,51	22,17

Ip = 0,22 = 22.59 %

b-3 Indices de pente globale Ig

L'aptitude de terrain au ruissellement dans un bassin versant est contrôlée en grande partie par l'influence du relief. Pour mettre ça en évidence, on a utilisé l'indice de pente global Ig donné par la relation suivante:

$$Ig = D / L$$

Où,

Ig : indice globale de Roche

D: dénivelée (m).

Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale.

H5 et H95 sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée D est donc égale à H5-H95.

H5% =1575m ; H95% =800m ; L =158,70 m.

Ig = 0,048.

Tab 27 : Classification d'ORSTOM.

Classes	Types de relief	Indices de pente globale
1	Relief très faible	Ig< 0,002
2	Faible	0,002<Ig< 0,005
3	Assez faible	0,005<Ig<0,01
4	Modéré	0,01<Ig<0,02
5	Assez fort	0,02 <Ig<0,05
6	Fort	0,05<Ig<0,5
7	Très fort	0,5 >Ig

D'après la classification d'ORSTOM (Tab.27), on peut dire que le bassin versant de l'Oued M'zi présente un relief assez fort.

b-4-La dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique permet de définir les différents types de relief des bassin versant suivant la classification de (ORSTOM: Office de Recherche Scientifique d'Outre-Mer) .

$$DS = Ig\sqrt{A}$$

où

Ig : indice de pente global.

A : superficie du bassin versant.

DS = 376,51 m.

La dénivelée spécifique du bassin versant de l'oued M'zi est de 376,51 m ($250 < D_s < 500$ m), donc son relief est fort.

c- Etude du profil en long (Fig. 44)

Le profil en long de l'Oued M'Zi; a été tracé depuis « Aflou » à 1593 m d'altitude jusqu'à Laghouat à la confluence avec l'Oued Messaad

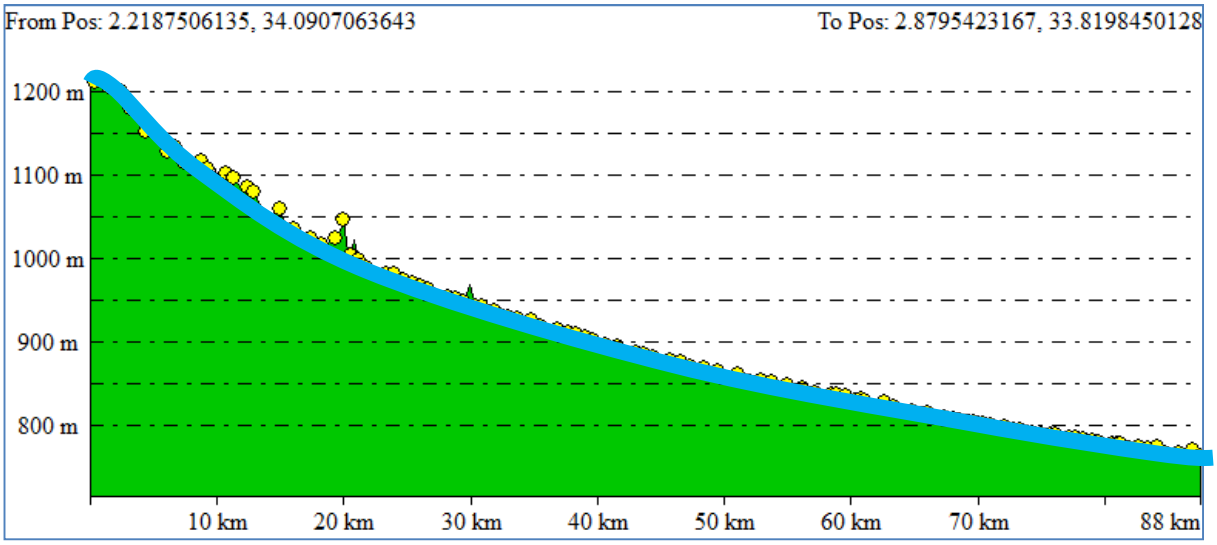


Fig 44: Profil en long de l'Oued M'zi.

IV-Géomorphologie :

a-Morphologie :

Le relief propose une diversité considérable, d'après l'aspect géomorphologique on distingue deux types de terrains :

.

a) Zone montagneuse :

Elle est formée essentiellement par la chaine de l'Atlas Saharien Central précisément (la région d'Aflou) d'une altitude moyenne de 1280 m et une orientation Nord-Sud.

b) Une vallée (Oued M'zi) : La vallée de l'Oued M'zid'altitude moyenne de 800 met d'orientation Nord-Ouest / Sud-est .

b- Topographie : (Fig. 45)

La topographie générale de la région d'étude est relativement plane car les classes de pentes inferieures à 5 % occupent environ 55 % de la superficie totale du bassin versant Le reste de la superficie :

- 20 % ont une pente intermédiaire de 5-10 %
- 14 % de 10-20%
- 11% de 20-40%

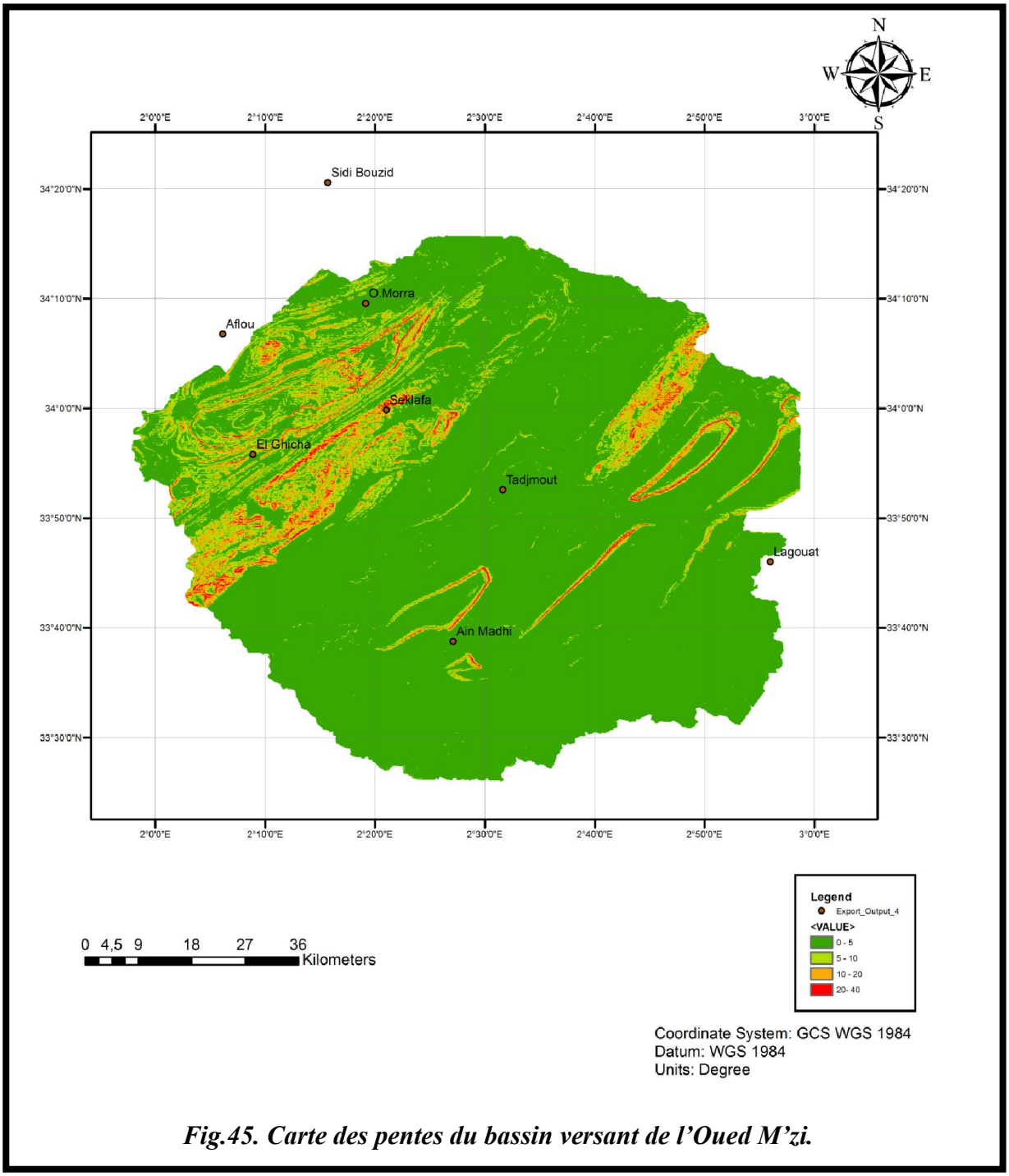


Fig.45. Carte des pentes du bassin versant de l'Oued M'zi.

V- Conclusion :

L'étude morphométrique du bassin versant de l'Oued M'zi nous a permis de déterminer quelques caractéristiques, il présente une superficie totale de 6153 Km^2 et un périmètre de 390 km, s'identifie par un relief composé :d'une zone montagneuse et la vallée (Oued M'zi).

Le coefficient de compacité KC = 1,41, traduisant l'allongement du bassin versant. Selon l'indice de pente globale, le bassin versant est caractérisé par un relief de pente élevée vers les hautes altitudes est faibles au niveau de la vallée. La topographie est marquée par une altitude maximale de 1593 m et une altitude minimale de 740 m ce qui génère un ruissellement important.

La faible torrentialité est liée à une faible densité du chevelu hydrographique, avec un temps de concentration long favorisant l'infiltration des eaux, au niveau des formations géologiques perméables .

Chapitre IV

Hydrologie

I-Introduction :

F.SoleilHavoup dans son étude sur les crues de l'oued M'zi (oct. 1972 à fév. 1974) présente l'oued M'zi comme suit : " l'Oued M'zi (Ph.3) constitue un des plus importants cours d'eau du Sahara septentrional. Il prend sa source au djebel Zlagh, à 1593 m d'altitude, dans le massif du Djebel Amour (Atlas Saharien Central), au sud d'Aflou, il va se jeter dans le Chott Melhrir, au sud de Biskra, après un parcours d'environ 450 km. Il s'agit donc d'un oued endoréique. Dans son cours inferieur, à l'aval de Laghouat, il change de nom et prend le nom de l'Oued Djedi. Entre sa source et Laghouat, vers le sud-est, l'Oued M'zi recoupe les chainons sud du Djebel Amour et il s'engage dans la dépression Sud-Atlasique grâce à une cluse entre le Djebel Kheneg et le Djebel Dakhla : Kef Metlili. A cet endroit situé immédiatement au nord de l'oasis de Laghouat, à Ras-El-Aioun, le lit s'élargit en une vaste zone d'épandage d'alluvions (cailloutis, sables, limons) ".

L'Oued M'zi est régulièrement alimentés par le déversement des nappes souterraines et draine un bassin de 6153 km^2, la longueur de l'oued principale est de 106 km. Les deux principaux sous bassins sont l'Oued Seklafa et celui de Tadjemout.



Ph 03.Oued M'zi, Laghouat : (Source : Agence de Bassin Hydrographique Sahara)

II- ETUDE DES DEBITS (LES LAMES D'EAUX ECOULEES)

Pour cette étude, nous avons pris en considérations les valeurs annuelles et mensuelles des débits de la station hydrométrique de SEKLAFA (Tab.27)qui a été installée en 1971, située au Sud-est d'Aflou, au niveau de l'Oued Seklafa qui constitue l'affluant le plus important de Oued M'zi, avec une longueur de 40 kilomètres, il draine un bassin de 775,6 km².

Les débits moyens mensuels portent sur la période 1971 – 1987,on signale que les débits minimas et maxima pour la période 1973-1986 présentent d'importantes lacunes surtout entre 1980– 1983.

Tab. 28 : Caractéristiques de la station hydrométrique de SEKLAFA

Station	Code	x	y
SEKLAFA	06 01 04	2° 40' 30'' E	33 °50' 20''

a- Etude des débits maxima annuels:

Nous disposons d'une série de données hydrométriques qui intéressent les débits maxima sur une période d'observation de 22 ans. **(Tab.29)**

Tab.29 : Débits max (1982-2007)

années	Débit max (m3/s)	années	Débit max (m3/s)
1982	1,35	1997	0,27
1983	0,57	1998	0,93
1984	0,17	1999	0,21
1985	0,13	2000	0,15
1986	0,29	2001	0,11
1987	0,16	2002	0,12
1988	0,18	2003	0,19
1989	0,15	2004	3,62
1990	0,72	2006	0.21
1991	1,00	2007	0.15
1992	0,17		
1993	0,22		

Les variations annuelles des débits, montrent que le débits le plus important est enregistré en 2004, l'année où la région a connu une pluviométrie importante. Le maximum est observé en 2004 avec une valeur de 3,62 m^3/s suivit de1,35m^3/s en1982
Pour le reste le débit oscillent entre 1 et 0,11 m^3/s valeur minimale observée en 2001.

a-1- Ajustement des débits annuels max

On va essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des débits annuels dans le but d'estimer les paramètres d'ajustement.

Test graphique

Le test graphique (fig 46) montre, que la série des débits max de Seklafa s'ajuste à une loi log normale.

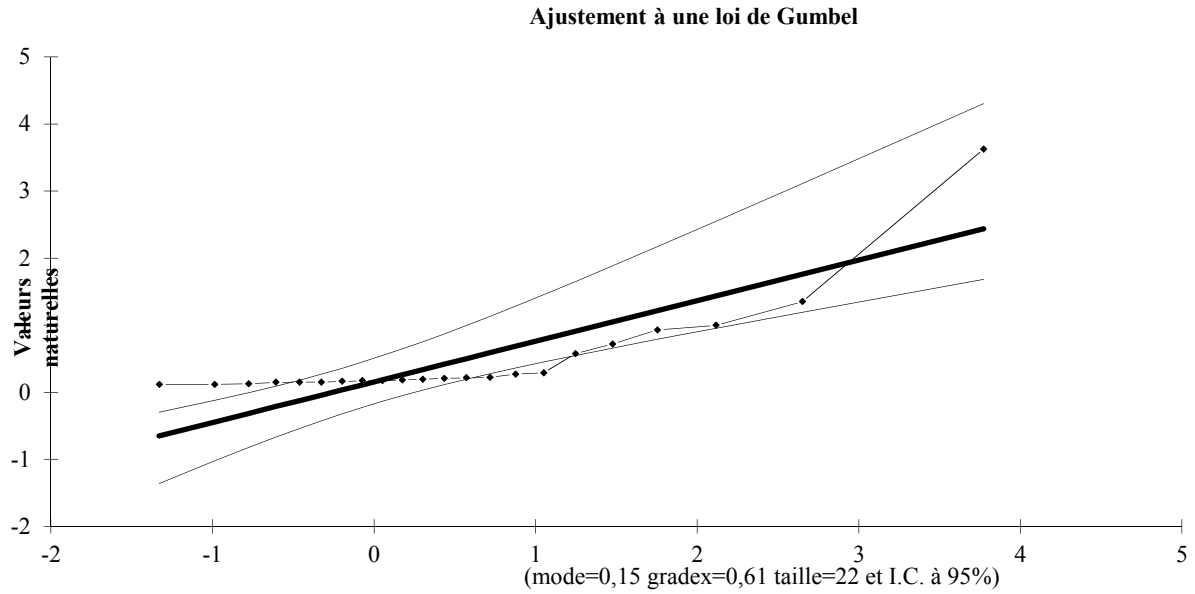


FIG 46 :Ajustement à une loi de Gumbel des debits maxima de la station de Seklafa 1982-2007

***Période de retour des débits extrêmes et déterminations des débits décennale, centenaire et millénaire : (*Tab.30)**

Pour le débit le plus faible(0.11 m^3/s) : 1.52 ans

Pour le débit le plus élevé (3.62 m^3/s): 309.94 ans

Débit décennale : 1.51 m3/s - Débit centenaire : 2,93 m3/s - Débit millénaire : 4.33 m3/s

Tab.30 : déterminations des débits décennale, centenaire et millénaire

Période	**T=10 ans F=0,90 U=1,282**	**T=100 ans F=0,99 U=2,327**	**T=1000 ans F=0,999 U=3,091**
debit	1.51	2.93	4.33

a-2 Test de *x2* :

Tab. 31 : Calcul du *x*2

n classe	Limites des classe	Effectif observé ni	Effectif théorique npi	$\chi 2$
1	< 0,16	6	1,2	55,82
2	0,16 – 0,20	5		
3	0,20 – 0,30	5		
4	0,30 – 1,40	5		
5	> 1,40	2		

Le *x2* calculé (Tab.31)est égal à 55,82 ; par contre le *x*2 tabulé est de 5,99 ; pour un degré de liberté égal à 2 et un risque d'erreur tolérée de 5 %.

Le *x*2 calculé étant supérieur au *x*2 tabulé, l'ajustement à la loi log normale est acceptable.

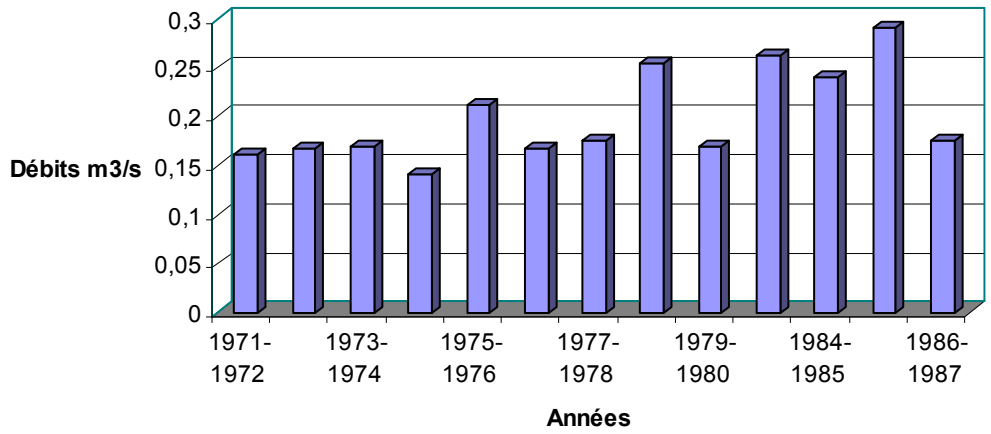
b. Etude des débits moyens annuels (1971 - 1987) : (Fig. n°48) :

Tab.32 : Débits moyens annuels

années	Débit moy (m3/s)	années	Débit moy (m3/s)
1971-1972	*0,162*	1978-1979	*0,254*
1972-1973	*0,168*	1979-1980	*0,169*
1973-1974	*0,169*	1983-1984	*0,263*
1974-1975	*0,14*	1984-1985	*0,24*
1975-1976	*0,212*	1985-1986	*0,29*
1976-1977	*0,167*	1986-1987	*0,176*
1977-1978	*0,176*	Moyenne	*0.191*

L'année hydrologique 1974-1975 c'est l'année la plus sèche avec 0,14 m^3/s, pour le reste les débits oscillent de 0,162 à 0,29 m^3/s qui représente le maximum observé e 1985-1986.

Fig. n° 47 : Variation des débits moyens : Station de Seklafa 1971- 1987



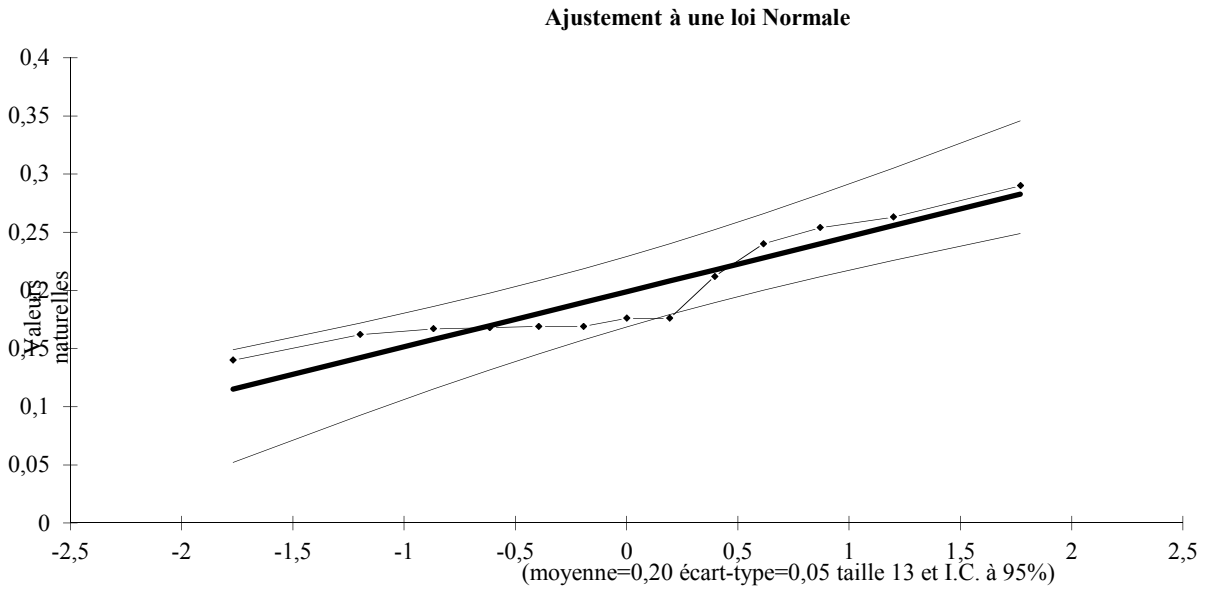


Fig.48 :Ajustement à une loi de normale

Période de retour des débits extrêmes et déterminations des débits décennale, centenaire et millénaire :

Pour le débit le plus faible(0.14 m^3/s) : 1.1 ans

Pour le débit le plus élevé (0.29 m^3/s): 36.9 ans

Débit décennale : 0,25 m3/s - Débit centenaire : 0,30 m3/s - Débit millénaire : 0,34 m3/s

Tab.33 : déterminations des débits décennale, centenaire et millénaire

Période	**T=10 ans** **F=0,90** **U=1,282**	**T=100 ans** **F=0,99** **U=2,327**	**T=1000 ans** **F=0,999** **U=3,091**
debit	0.25	0.30	0.34

c. Etude des débits moyens mensuels (1971 - 1987) : (Fig. n°49)

Les débits sont généralement faibles (Fig. n°49), avec un régime très irrégulier au cours de l'année, ils commencent à augmenter dés le mois de septembre, pendant les mois d'hiver, les cours d'eau recueillent les précipitations importantes et engendrent une augmentation du débit qui se poursuit pour atteindre son maximum au mois de février. Au cours de la période d'étiage, les débits diminuent brutalement et les oueds sont pratiquement à sec.

Tab. 34 : Débits moyens mensuels

Mois	Sp	Oc	No	De	Ja	Fé	Mars	Av	Mai	Jui	Jt	At	Annuel
1971-1972	*0,014*	*0,125*	*0,16*	*0,199*	*0,207*	*0,19*	*0,159*	*0,22*	*0,19*	*0,189*	*0,168*	*0,128*	*0,162*
1972-1973	*0,132*	*0,164*	*0,164*	*0,187*	*0,194*	*0,19*	*0,192*	*0,185*	*0,154*	*0,177*	*0,126*	*0,154*	*0,168*
1973-1974	*0,177*	*0,146*	*0,16*	*0,18*	*0,168*	*0,15*	*0,224*	*0,149*	*0,138*	*0,236*	*0,186*	*0,116*	*0,169*
1974-1975	*0,156*	*0,163*	*0,158*	*0,162*	*0,146*	*0,158*	*0,124*	*0,119*	*0,143*	*0,135*	*0,118*	*0,099*	*0,14*
1975-1976	*0,94*	*0,141*	*0,116*	*0,131*	*0,108*	*0,149*	*0,176*	*0,143*	*0,192*	*0,141*	*0,173*	*0,13*	*0,212*
1976-1977	*0,165*	*0,176*	*0,207*	*0,153*	*0,154*	*0,167*	*0,153*	*0,153*	*0,15*	*0,138*	*0,146*	*0,244*	*0,167*
1977-1978	*0,14*	*0,143*	*0,179*	*0,237*	*0,194*	*0,185*	*0,215*	*0,188*	*0,201*	*0,154*	*0,137*	*0,142*	*0,176*
1978-1979	*0,197*	*0,132*	*0,159*	*0,194*	*0,203*	*1,289*	*0,184*	*0,118*	*0,139*	*0,123*	*0,125*	*0,194*	*0,254*
1979-1980	*0,153*	*0,326*	*0,145*	*0,137*	*0,165*	*0,159*	*0,161*	*0,16*	*0,143*	*0,16*	*0,153*	*0,164*	*0,169*
1983-1984	*0,74*	*0,161*	*0,155*	*0,152*	*0,165*	*0,2*	*0,742*	*0,195*	*0,207*	*0,15*	*0,142*	*0,148*	*0,263*
1984-1985	*0,18*	*0,197*	*0,15*	*0,171*	*0,238*	*0,967*	*0,193*	*0,144*	*0,168*	*0,181*	*0,157*	*0,14*	*0,24*
1985-1986	*0,185*	*0,383*	*0,12*	*0,116*	*0,12*	*0,13*	*0,13*	*0,112*	*0,155*	*0,096*	*0,096*	*0,096*	*0,29*
1986-1987	*0,095*	*0,095*	*0,891*	*0,096*	*0,115*	*0,119*	*0,232*	*0,101*	*0,085*	*0,091*	*0,094*	*0,094*	*0,176*
moy	*0,252*	*0,181*	*0,213*	*0,163*	*0,167*	*0,312*	*0,222*	*0,153*	*0,19*	*0,152*	*0,145*	*0,147*	*0,191*

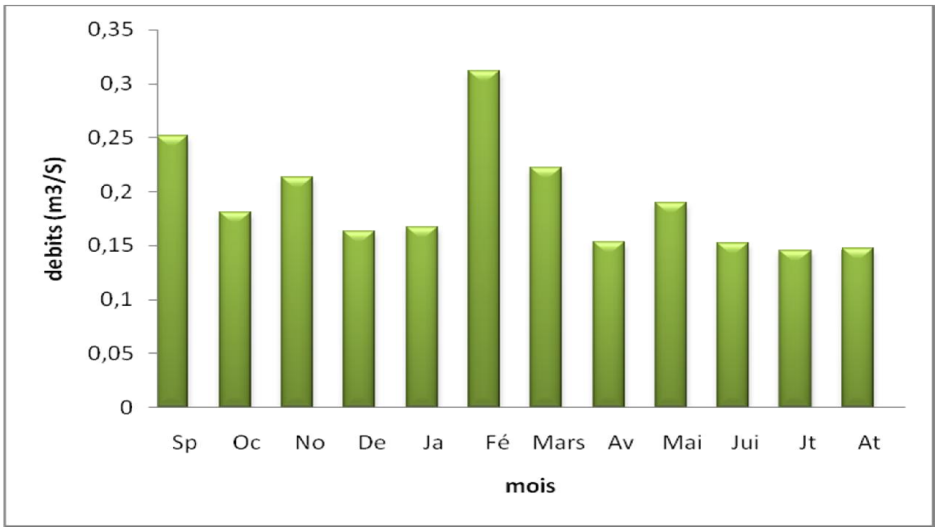


Fig.49 : Histogramme des débits moyens mensuels : Oued Seklafa (1971-1986)

Le maximum est enregistré en février avec 0,312 m^3/s, le minimum s'observent durant la période sèche il est de 0,145 m^3/s en Juillet et 0,147 m^3/s le moi d'Aout. La moyenne est de 0,191 m^3/s.

c.1. Débits minima mensuels (1975-86) : (Fig. n°50)

Tab. 35 : Débits minima mensuels (1975-86).

MOIS	Q(m^3/s)
SEPTEMBRE	0,129
OCTOBRE	0,12
NOVEMBRE	0,134
DÉCEMBRE	0,143
JANVIER	0,143
FÉVRIER	0,15
MARS	0,142
AVRIL	0,13
MAI	0,11
JUIN	0,117
JUILLET	0,115
AOÛT	0,11

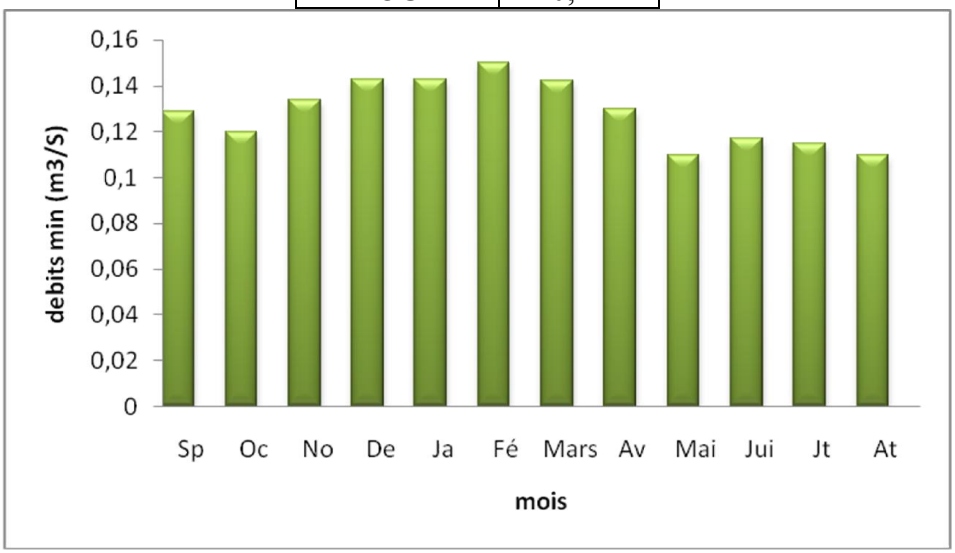
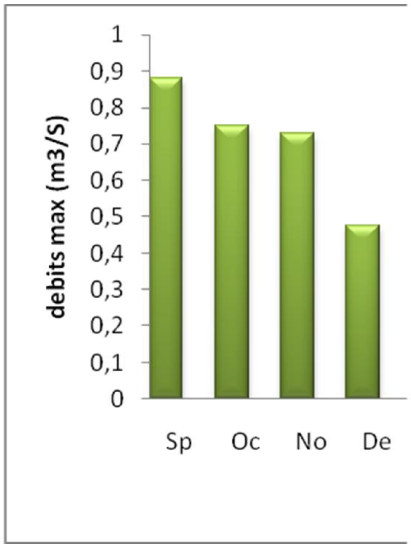


Fig.50 : Débits minima mensuels : Oued Seklafa (1975-1986)

- Les valeurs minimales s'observent durant la période estivale avec un minimum le mois de mai de 0,11 m^3/s, de septembre à février les débits croissent pour atteindre (0,15 m^3 /s) le mois de février.

c.2. Débits maxima mensuels (1975-86) : (Fig.51)

Tab. 36 : Débits maxima mensuels (1975-1986).



MOIS	Q (m^3/s)
SEPTEMBRE	0,88
OCTOBRE	0,75
NOVEMBRE	0,73
DÉCEMBRE	0,477
JANVIER	0,8
FÉVRIER	0,89
MARS	0,27
AVRIL	0,737
MAI	0,28
JUIN	0,5
JUILLET	0,15
AOÛT	0,48

Fig.51 : Débits maxima mensuels Oued Seklafa (1975-1986)

le maximum est observé en hiver, avec 0,89 m3/s le mois de septembre, un minimum de 0,47 m^3/s apparait en décembre. Durant la période sèche le débit minimum est de 0,15 m3/s, mois de Juillet. Ces variations de débit sont liées à des averses qui provoquent d'importantes crues surtout au début de l'Automne.

c-3 Le coefficient mensuel du débit

Le coefficient mensuel du débit est défini comme étant le rapport entre le débit moyen mensuel et le module annuel (Fig 52).

Tab.37: valeurs des coefficients mensuels des débits.

Mois	Sp	Oc	No	De	Ja	Fé	Mars	Av	Mai	Jui	Jt	At
coefficient mensuel	1,32	0,95	1,12	0,85	0,87	1,63	1,16	0,80	0,99	0,80	0,76	0,77

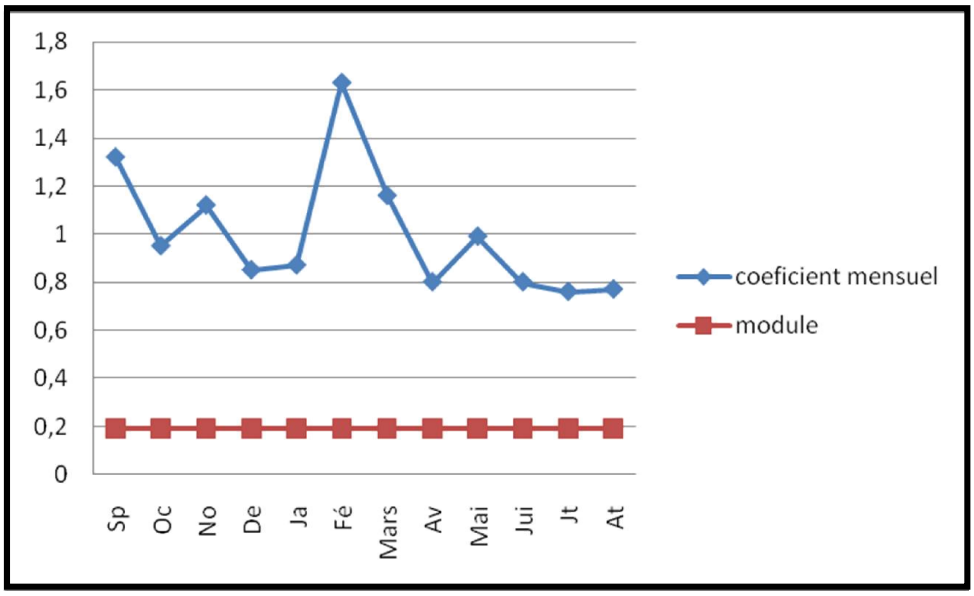


Fig. 52: Coefficient mensuel du débit

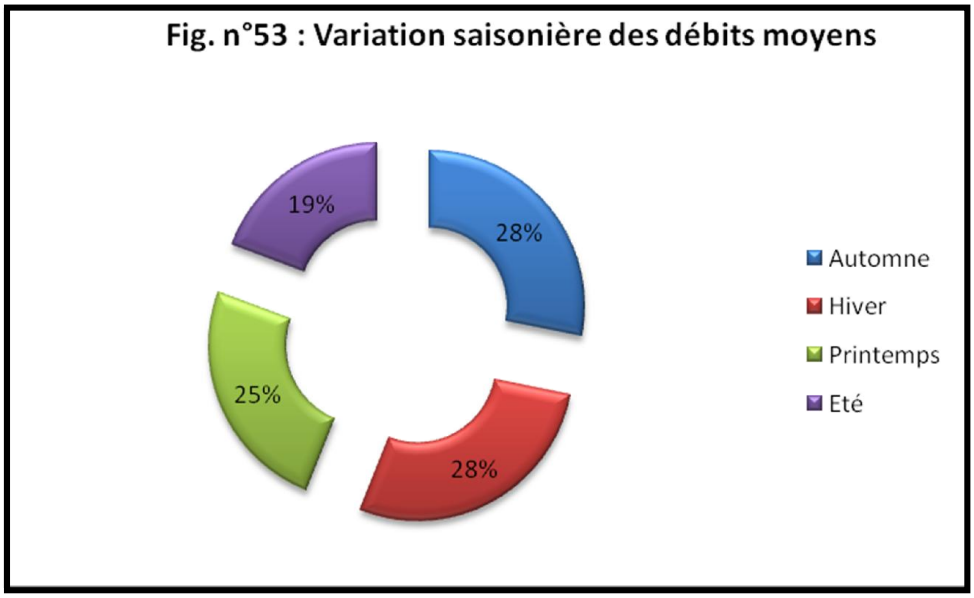
On remarque que le débit mensuel est supérieur au module annuel durant tous les mois (Fig.52)

d-variation saisonnière du débit :

La distribution saisonnière des débits montre que c'est en hiver et printemps que s'effectue l'essentiel des écoulements (Fig. n° 53)

Tab.38 : variation saisonnière des débits

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Débit	0,646	0,642	0,565	0,444



e-. *COURBE DE TARAGE : (Fig.54)*

Elle permet de reconstituer les débits à partir des relevés d'échelle limnimétrique.

n = 47 observations de 01/09/1975 à 31/08/1986.

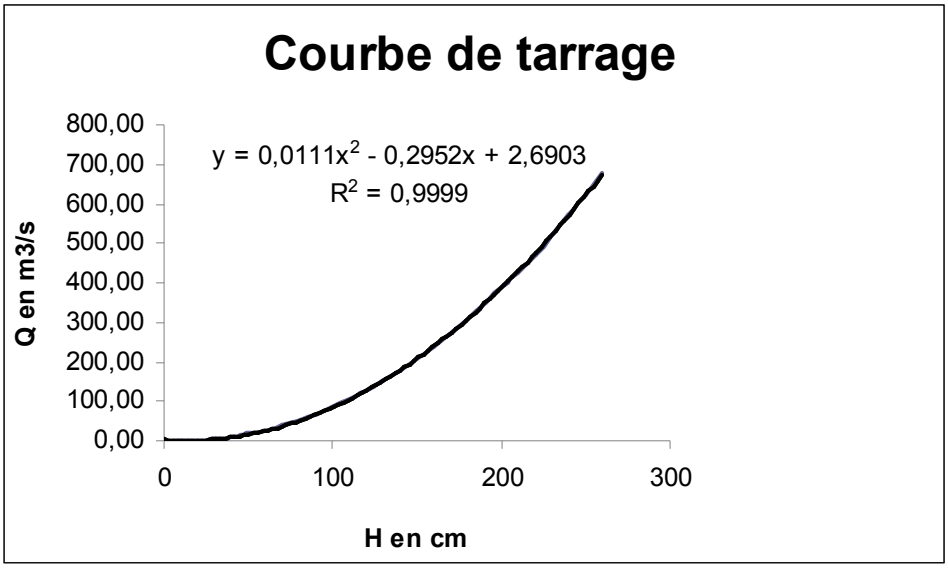


Fig.54

f-Etude de la courbe de tarissement :

On a choisi la méthode de Maillet car une partie de la circulation des eaux des sources alimentant l'Oued Seklafa se fait dans des systèmes de fissures.

- On a deux périodes:

1-Crue du 3 octobre 1976 : (Fig.55)

oct-76	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Débit (m3/s)	0,16	0,16	75,21	1,48	1	1,24	0,16	0,16	0,16	0,11	0,13	0,13	0,13	0,11

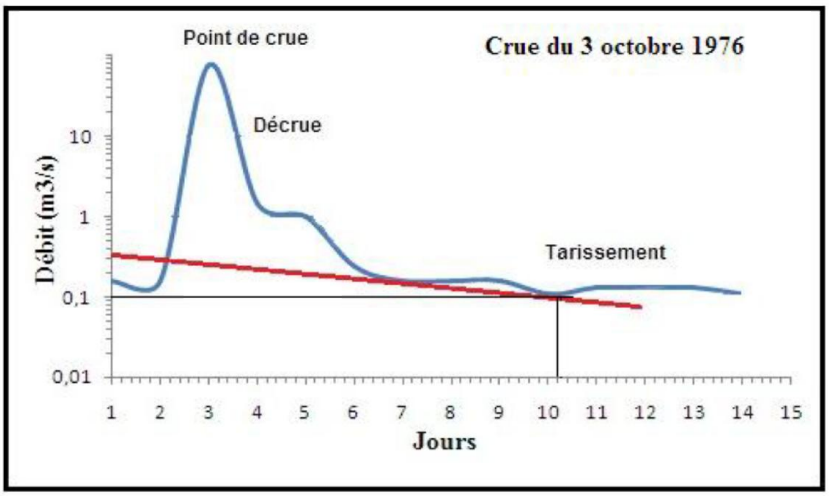


Fig.55

2-Crue du 7 septembre 1980 : (Fig.56)

sept-80	5	6	7	8	9	10	11	12
Débit (m3/s)	3,4	56,64	88,74	0,9	0,27	0,18	0,16	0,16

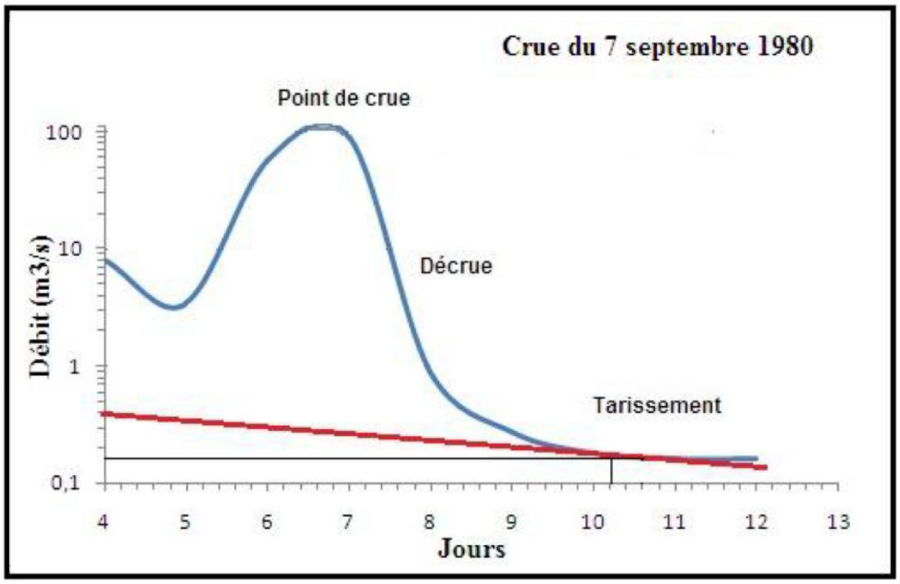


Fig.56

La formule de Maillet s'écrit *: Qt = Q0* x e-αt

Avec :

Qt : le débit au temps t.

Q0 : le débit initial, ordonné à l'origine de la courbe de tarissement.

e : base du logarithme népérien.

α : coefficient de tarissement lié aux différentes caractéristique de l'aquifère.

Le volume emmagasiné dans les réserves souterraines est donné par la relation suivante :

W = Q0 x 86400/ α

Crue	Q0	Qt	t	log Q0	log Qt	α	W en $10^6 m^3$
01-oct-76	0,32	0,1	10,2	-0,49485	-1	0,114	0,242
04-sept-80	0,4	0,16	10,2	-0,39794	-0,79588	0,0898	0,384

Les volumes calculés présentent le même ordre de grandeur, ne reflétant pas la réalité, car la station hydrométrique ne prend pas en considération tout le débit écoulé, des pertes latérales existent en plus de l'évaporation intense et l'inféro-flux.

g-Calcul et évaluation de la quantité d'eau moyenne tombée sur le bassin versant de l'oued M'zi :

Pour calculer la lame d'eau tombée sur l'ensemble du bassin peut on a utilisé les méthodes suivantes :

Méthode de la moyenne arithmétique

Méthode de Thiessen.

1-Méthode de la moyenne arithmétique :

Tab. 39: Méthode de la moyenne arithmétique

Stations	Sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	El Ghicha	Seklafa	Tajmout	Laghouat	Sidi Mkhlouf	Ksar El Hirane	Moyenne
Precipitations	207,00	255,67	103,84	125,61	169,09	175,28	144,24	122,52	149,67	161,43

Avec une surface moyenne de 6153 km^2 ; le volume *tombé sur le bassin de OUED M'ZI* est de 993,278 million de m^3.

2-Méthode de Thiessen.

Pour l'établissement de cette méthode on avait besoin d'une autre station pluviométrique donc on a ajouté la station de Ain Mahdi au sud du bassin versant (Fig. n° 57)

Tab.40: Volume d'eau par la méthode de Theissen.

Station	superficie(Km)	P. moy Annuel	Volume en million de m3
Aflou	131	255,7	33,4967
O.Morra	600	103,8	62,28
Seklafa	546	169,1	92,3286
El Ghicha	850	125,6	106,76
Tadjmout	1010	175,3	177,053
Sidi Makhlouf	535	122,5	65,5375
Lagouat	891	144,2	128,4822
Ain Mahdi	1590	150	238,5
Total	6153		904,438

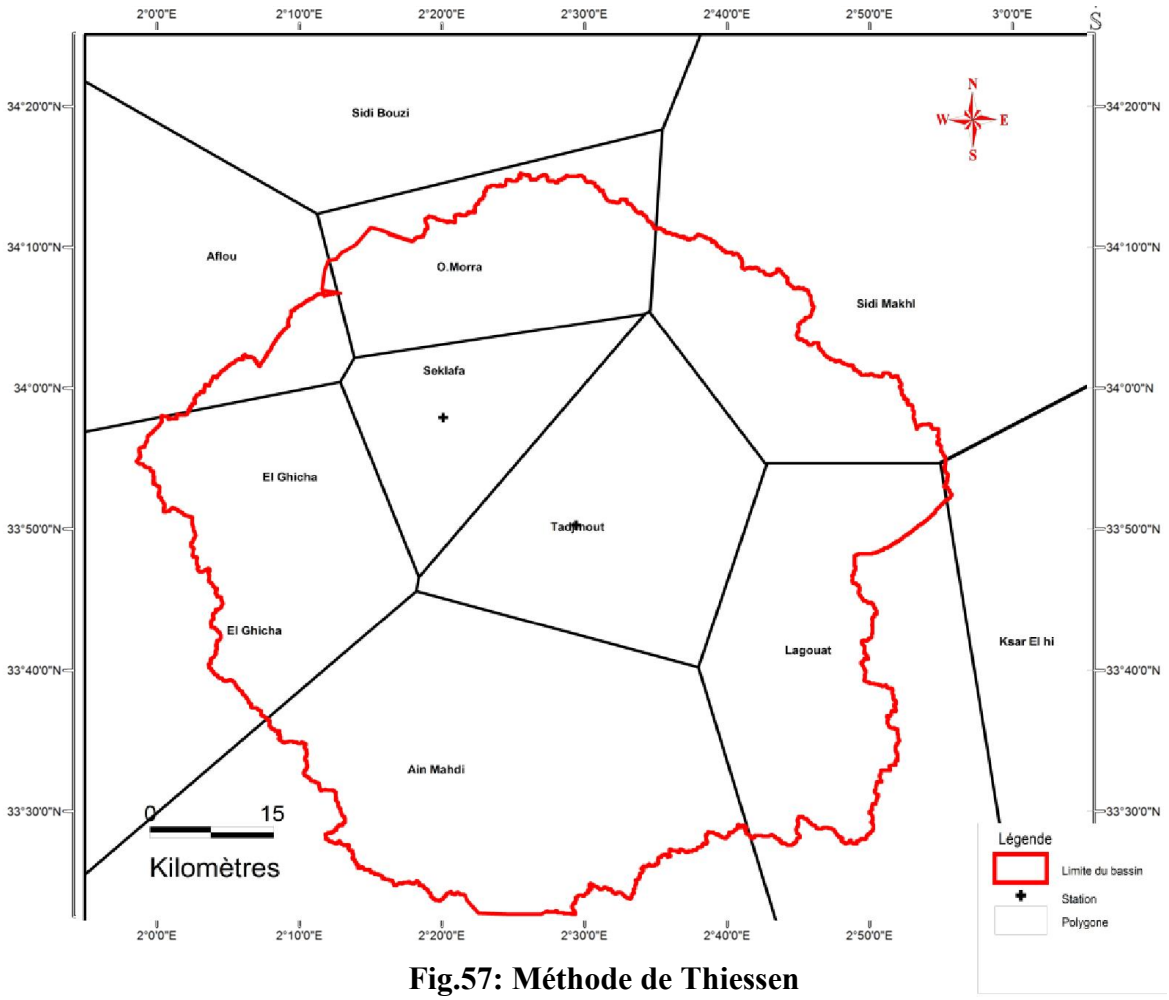


Fig.57: Méthode de Thiessen

3- La méthode des isohyètes : Fig. 58

Cette méthode est fondée sur l'utilisation des isohyètes qui sont des lignes d'égale pluviosité isovaleurs de pluies annuelles, mensuelles, journalières, etc.)

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^{K} A_i \cdot P_i}{A}, \quad avec \quad P_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

Avec :
P_{moy} : précipitations moyennes sur le bassin,
A : surface totale du bassin,
A_i : surface entre deux isohyètes i et $i+1$,
K : nombre total d'isohyètes,
P_i : moyenne des hauteurs h de précipitations entre deux isohyètes i et $i+1$.

Tab.41: Volume d'eau par la méthode *des isohyètes*

isohyètes		P i	superfécie (Km2)	Lame d'eau
100	120	110	64	7,04
120	140	130	451	58,63
140	160	150	3088	463,2
160	180	170	961	163,37
180	200	190	46	8,74
200	220	210	24	5,04
220	240	230	14	3,22
			4648	**709,24**

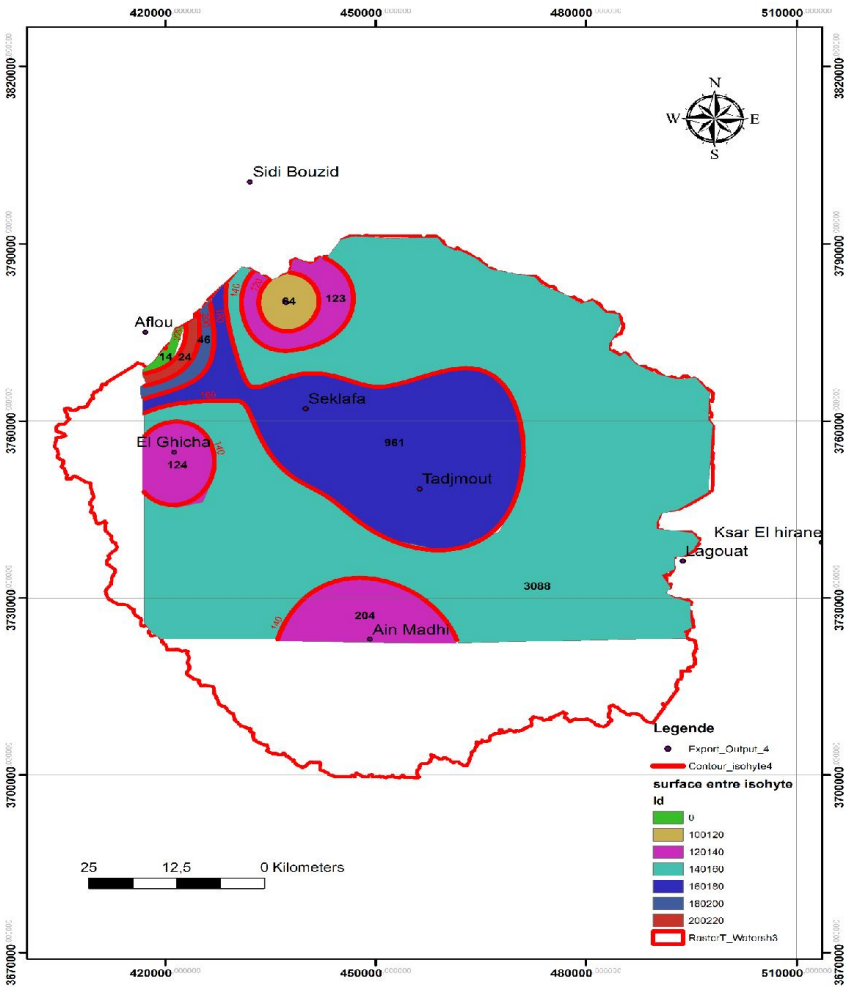


Fig. 58: Méthode des isohyètes

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'effectuer un passage important allant des aspects descriptifs de l'hydrologie par le biais de la compréhension des processus sous-jacents à la notion de réponse hydrologique. On a vu les principaux facteurs qui conditionnent le comportement hydrologique d'un bassin versant.

D'autre part, l'estimation de la pluie moyenne tombée sur le bassin avec différentes méthodes à révéler une moyenne de : 868.98 million de m^3.

ChapitreV

Hydrogéologie

I-Introduction

L'hydrogéologie est une discipline qui recoupe l'hydrologie et la géologie. Il en résulte deux approches différentes mais complémentaires permettant de définir l'hydrogéologie :

Une spécialisation de la géologie qui traite des propriétés des milieux portant notamment sur leur capacité à contenir et à laisser l'eau souterraine s'écouler.

Une spécialisation d'hydrologie qui traite l'eau souterraine en tenant compte des conditions géologiques.

Dans l'étude hydrogéologique la première étape consiste à effectue la synthèse des données existantes (forages, puits, piézomètres et sources) en les intégrant dans un système d'information géographiques (SIG).

II-Les phénomènes structuraux (Fig. 59)

La structure a un grand impact sur l'hydrogéologie de la région, les grands synclinaux des grés fissurés du Barrémien-Albien constituent les aquifères les plus important du Djebel Amour séparés par les anticlinaux coffrées du Jurassique d'orientation générale NE - SW. Ces anticlinaux du Jurassique sont affectés par des failles de direction N 60° à N 80° et N 160° à N 170° qui jouent un rôle de drain.

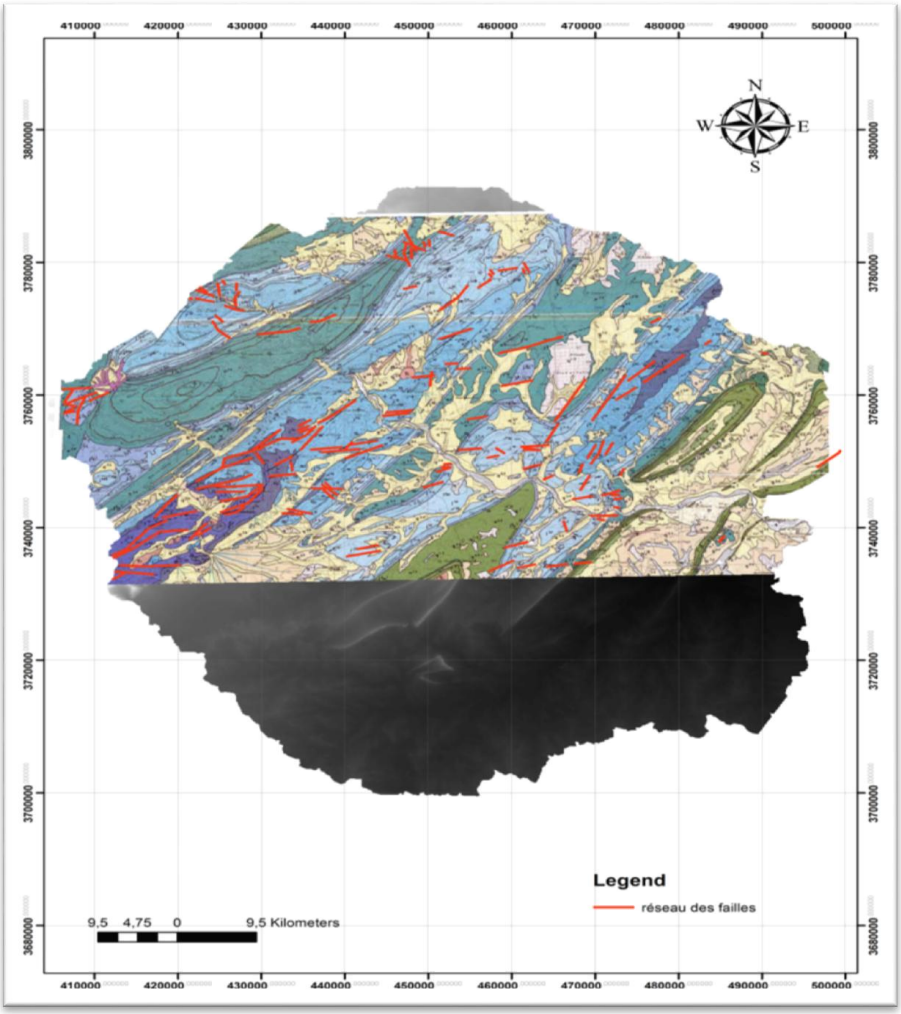


Fig. 59 : Schéma structurale de la zone d'étude.

On site aussi le décrochement de Tadjmout de direction NNW-SSE, selon J. Guillemot (1972) pense qu'il s'agit d'un accident touchant le socle. Le long de son trajet, on rencontre les formations sommitales du Quaternaire, généralement constituées de sables rouges dont l'épaisseur permet l'existence d'un inféro – flux. L'importance de l'écoulement souterrain au niveau de Tadjmout avait poussé les autorités françaises à édifier un barrage souterrain captant l'inféro - flux de l'Oued M'zi.(in Stamboul.2012)

III-Description des aquifères:

Le tableau si dessous représente un log hydrogéologique synthétique des différents aquifères

Tab.42 :log hydrogéologique synthétique (in Chenafi 2013).

LOG	ÉPAISSEUR (m)	ÉTAGE	LITHOLOGIE	CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES	
	0 - 1	Quaternaire	Albien, sable	Peu perméable	Interstices
	80	Turonien	Calcaire	Perméabilité de fissure	Fissure, Karstique
	150	Cénomanien	Marnes gypseuses	imperméable	Substratum
	100	Albien supérieur	Calcaire gréseux	Perméabilité mixte	Interstices et fissures
	100	Albien inférieur	gréseux	Perméable	Aquifère multicouche Circulation d'interstices et de formes de chenaux
	50 à 60	Aptien			
	1100 à 1200	Valanginien Barrémien			
	120	Portlandien	Calcaire	fissures	Circulation de fissures
	170	Kimmérid gien	Marne gypseux	imperméable	Substratum
	150	Kimmérid gien	Gréseux	imperméable	Circulation d'interstices
	350	Kimmérid gien supérieure	Marno-calcaire Marne gypseux Marno-calcaire	imperméable	Substratum
	500	Kimmérid gien supérieure	Gréseux	perméable	Aquifère profond Circulation d'interstices et de fissures

a. Aquifère du Kimméridgien Supérieur gréseux et argilo-gréseux (formation de Khaloua):

L'aquifère est installé dans les grés moyen rouges parfois blanchâtres fissurés (N 160°) avec des intercalations d'argile verte bleutée à jaunâtre, d'une épaisseur de 500 m c'est

parmi les aquifères les plus important pour la localité d'Ain Madhi, ces grés sont caractérisés par l'émergence de quelques sources (Ain Tlélis, Ain Madhi et Ain Kourdane).

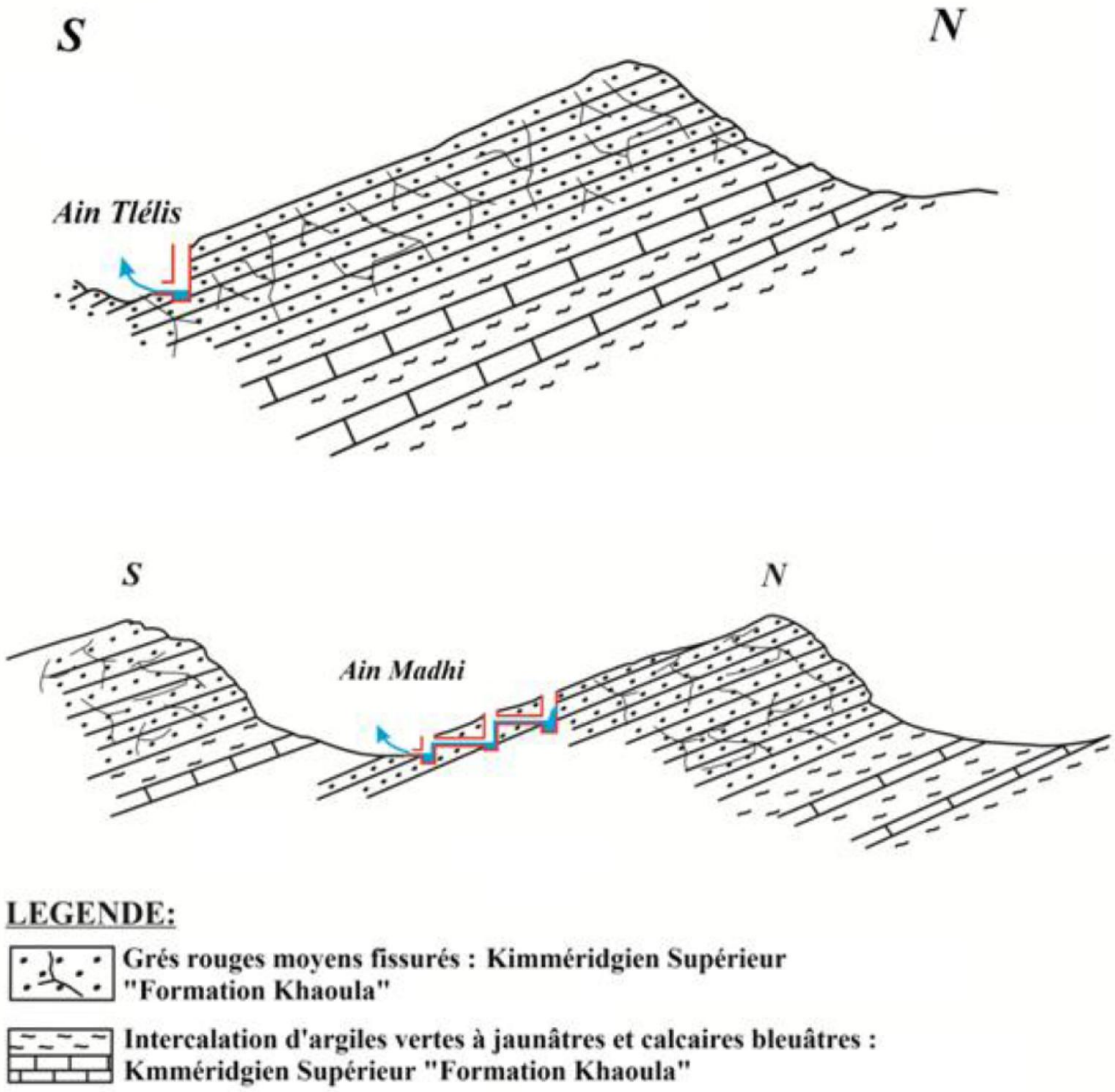


Fig. 60: Conditions d'émergence de la source d'Ain Tlélis (0,5 l/s) et d'Ain Madhi (4 à 5 l/s)
(*in* Med. Stamboul, 2012).

b. Aquifère du Portlandien

b-1-Aquifère des calcaires du Portlandien Inférieur (La base de la formation calcaire de Zeireg) : (Fig. 61)

Il est formé essentiellement par des calcaires gris à bleuâtres. Les forages exécutés au sud du djebel Mouesta pour des profondeurs de 150 m montrent une intercalation de calcaires bleuâtres et de marnes vertes à grisâtre avec présence souvent de bancs centimétrique de gypse, le niveau statique est 15 à 20 m, le niveau dynamique est 35 à 40 m pour un débit

compris entre 5 et 8 l/s. La minéralisation est supérieure à 2g/l donc l' eau est de mauvaise qualité chimique .

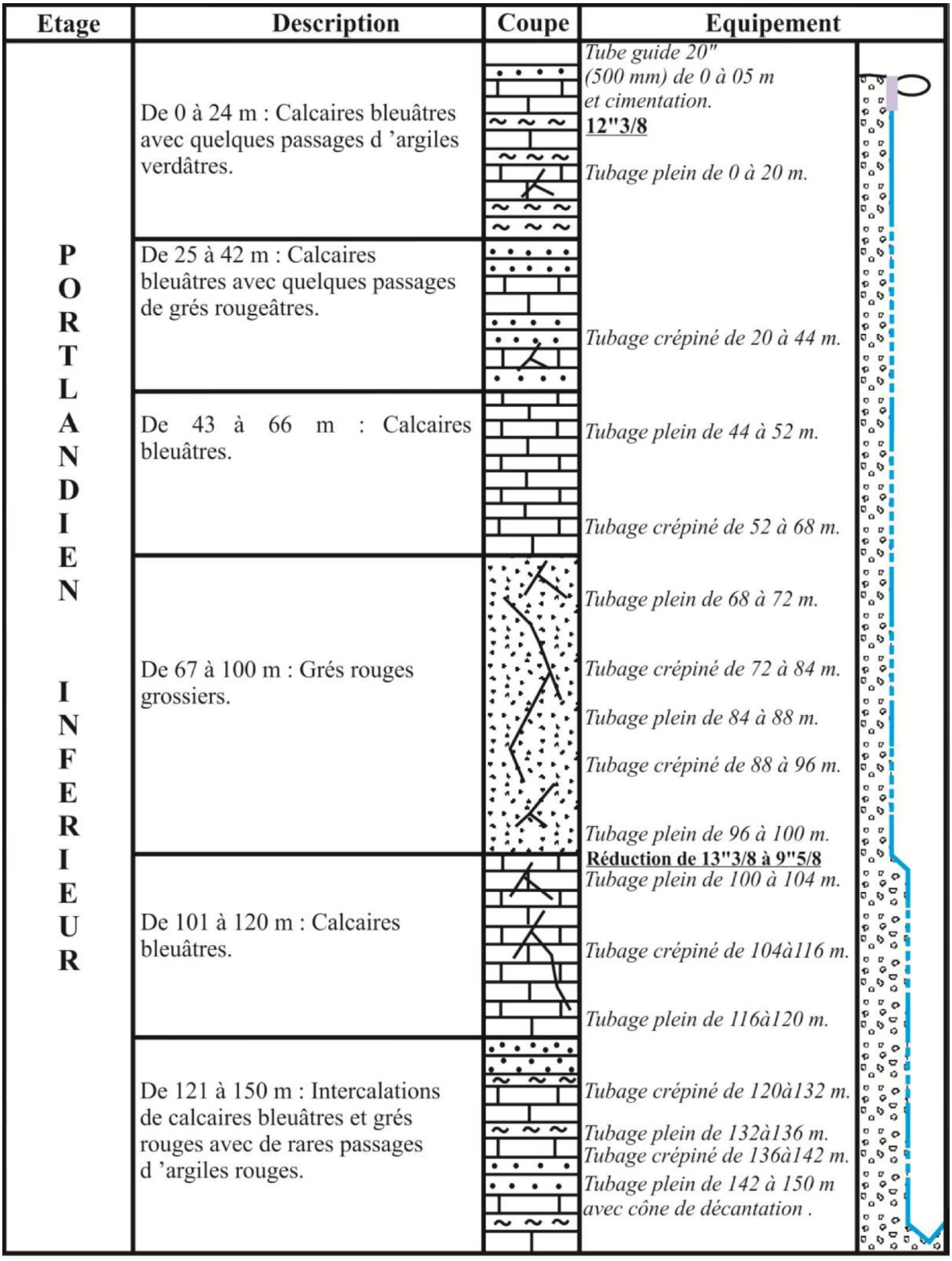


Fig. 61 : Forage de coordonnées : X : 473,22 2 Y : 358,08 Z : 933 m.



Ph.04 : affleurement des calcaires à niveaux marneux du Portlandien (in Chenafi, 2013).

b-2. Aquifère des grés à chenaux du Portlandien Supérieur (formation de Tadmit inf.)

Cette formation est observables au niveau de Kourdane et au sud du Djebel El Mouesta. Plusieurs forages ont été exécutés au sud du Djebel Mouesta, montrent une intercalation de grés moyens, fissurés de couleur rouge brique et blanchâtre, de calcaires bleuâtres fissurés et d'argile rouges.

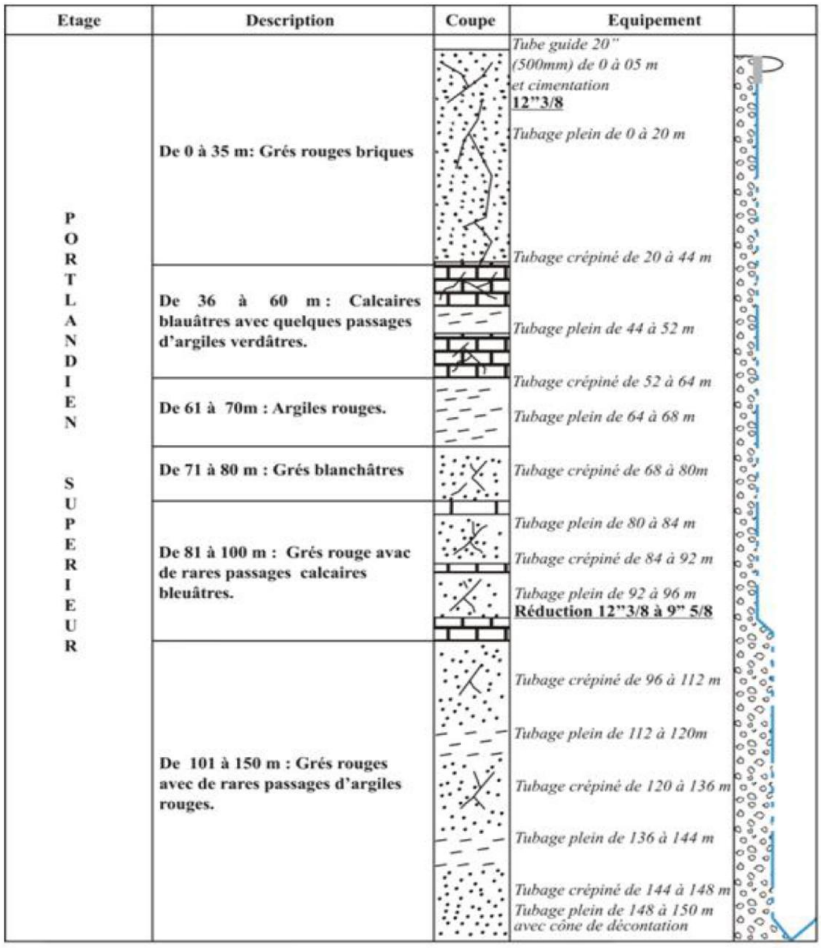


Fig. 62 : Forage X:472,82 Y : 357,88 Z : 886 m

Le niveau statique varie de 25 m à 32 m, le débit était de 12 à 14 l/s pour une côte d'aspersion de 82, le niveau dynamique est compris entre 50 et 60 m.

c. Aquifère des calcaires du Portlandien sommital .(Le sommet de la formation de Tadmit sup).

C'est un aquifère installé dans les calcaires jaunâtres très fissurés d'épaisseur d'environ 200 m. Les forages (Fig. 63) qui captent cet aquifère présentent une profondeur de 150 m et montrent des calcaires jaunâtres à rare intercalations de marnes verte, le niveau statique est de 12 m, pour une pompe placée à 60 m et un débit de 18 l/s, le niveau dynamique est de 16,5 m.

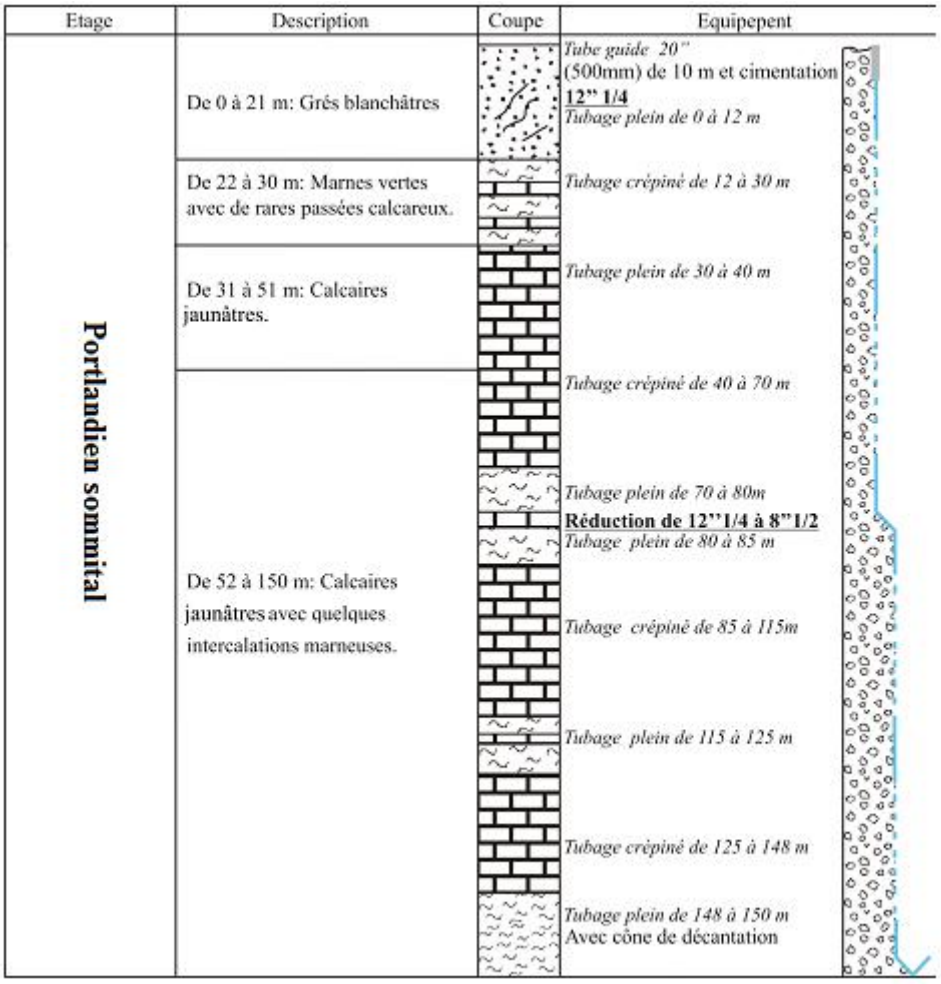


Fig. 63: Forage captant le Portlandien sommital

d. Aquifère des grés du Barrémien-Albien :

C'est l'aquifère le plus important de la région du point de vue épaisseur qui dépassent les 1200 m formé par des grés moyens blanchâtres et rougeâtres assez fracturés formant les grands synclinaux de l'Atlas Saharien Central avec des intercalations argileuses.

La plus part des forages se situent au niveau du Barrémien qui se présente comme une seule unité bien individualisée.

C’est un aquifère multicouche avec un système supérieur libre est un système inférieur captif et présente une perméabilité mixte.

Au sud :

- A Ain Madhi : c'est un synclinale est allongée des dizaine de kms suivant une direction SW – NE pour une largeur moyenne de 10 km Cette structure est limitée par :

Au Sud par l’anticlinal de Tadjmout et sa continuité vers Ain Madhi (les formations du Néocomien supérieur (Le sommet de la formation de Tadmit supérieur).

Au Nord par la grande structure anticlinale qui forme Djebel Azreg : Les anticlinaux allant de Djebel Merkeb à l’ouest (Kourdane) jusqu’à l’anticlinal du Djebel Mdaouar à l’est.

A l’Ouest par la fermeture périclinale des formations allant du Kimméridgien Supérieur au Portlandien Supérieur.

A l’Est par les formations du Jurassiques et du Mio – Plio – Quaternaire.

Le réservoir est constitué par l’épaisse série des grés. Les variations de granulométrie et la présence des quelques niveaux argileux rompent la monotonie de la série et ont permis la mise en place d’un aquifère multicouches. Son alimentation se fait directement par les précipitations et il peut fournir un débit important.

A Laghouat au niveau de Hamda Le Barrémien-Aptien-Albien forme un structure anticlinale ou la nappe parfois est en charge surtout à proximité de la charnière, de nombreux forages captent l'aquifère au niveau de cette localité dont le forage de Milok (eau minérale).

Au niveau de la partie médiane du Djebel Amour :
C'est le synclinal de Madna allongé selon une direction SSO -NNE sur plus de 100 kms avec une largeur moyenne de 10 kms au SSE, et qui dépasse les 30 kms vers le NNE, plusieurs émergences existent à soin niveau. Vue, l'accès difficile et le nombre de points d'eau très réduit on' a aucune indication sur cette aquifère.

Au Nord : C'est la cuvette d'Aflou :
Il s’agit de l’aquifère le plus important de la région d’Aflou. La nappe est implantée dans une structure synclinale allongée sur plus de 80 km suivant une direction SSW – NNE pour une largeur de 10 km.

e. ***Aquifère du Mio-Pliocène***

On Peu en déduire son importance hydrogéologique à partir des forages établis au niveau du sillon prés atlasique, formé par des argiles sables grés et calcaires.

f- ***Aquifère des alluvions quaternaires***

Depuis 1978 on a effectué un nombre très important de puits captant cet aquifère ce que met en valeur son intérêt hydrogeologique.il est formés par des galets, sable et graviers.

IV. Etude de l'aquifère du Barrémien-Albien

a. Au Sud à Ain Madhi : **(Fig. 64)**

A quelques kilomètres au nord-est de Tadjmout et au sud de la route reliant les deux localités Tadjmout et Ain Madhi, émerge la source Ain El M'Zabi au niveau du contacte des grés et argiles rouges du Barrémien. Le débit est de 1,5 l/s, cette source est mal captée car l'écoulement est contrecarré par de différents obstacles (constructions d'un abri à son niveau).

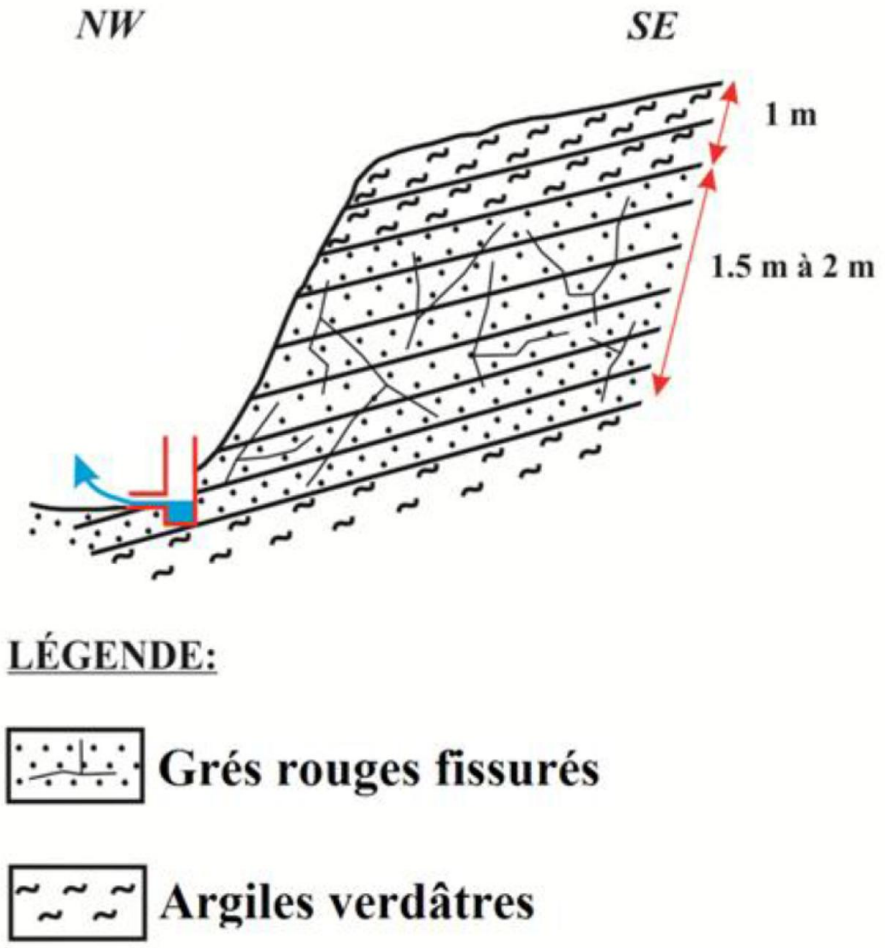


Fig. 64 : Conditions d'émergence de la source d'Ain El M'zabi.

d-2. Les forages captant l' aquifère du Barrémien : (Figs. 65 et 66)

- **Ain Madhi** : Plus d'une quarantaine de forages ont été exécutés au niveau de la cuvette de Sidi Ali Tidjani à la région de Tadjmout, soit par battage à câble (la profondeur est de l'ordre d'une centaine de mètres) ou par forage en rotary (la profondeur est 150 à 400 m), d'un niveau statique compris 12 m (au niveau de l'axe du synclinal) et 32 m (au niveau des

flancs du synclinal), à noter que ces forages sont très productifs malgré les essais de fin de sondage avec des débits de l'ordre de 14 à 25 l/s.

Coordonnées :

	X	Y	Z
F2 :	475,41	364,38	921 m
F4 :	475,5	365,75	926 m

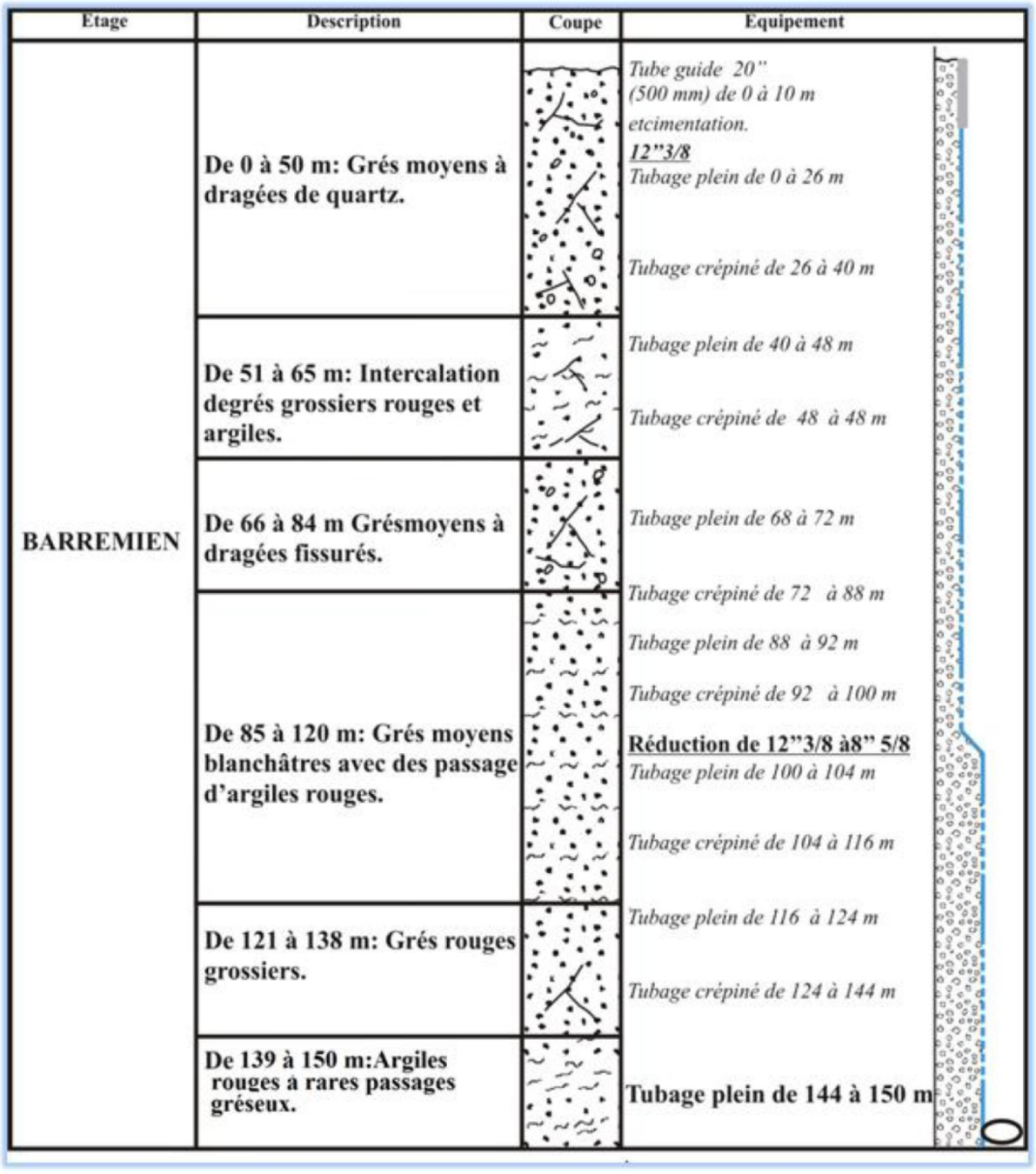


Fig. 65 : Le forage F2.

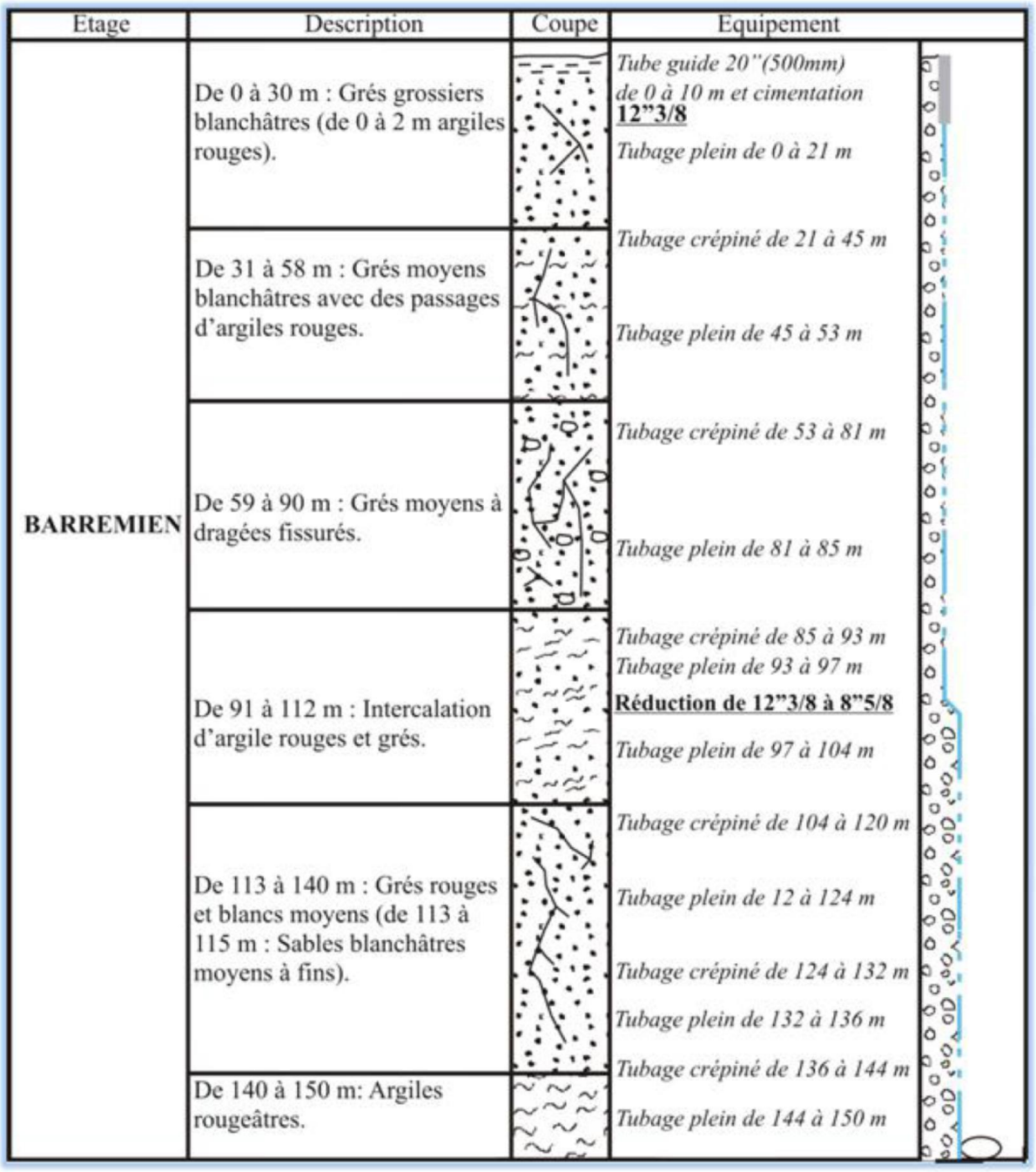


Fig. 66 : Le forage F4

a2-essais de pompage :

Ces essais ont été réalisés par l'entreprise FOREMHYD (Entreprise de Réalisation de Forage hydraulique e travaux électromécanique – Algérie), ce sont des essais de longue durée exécutés avec un seul palier à débit constant. La remontée des niveaux doit être observée pendant une durée telle que le niveau statique soit atteint. L'exécution et l'interprétation des données mesurées, rabattement et temps, reposent sur l'emploi des expressions d'hydrodynamiques en régime transitoire.

On dispose des courbes de descentes pour deux forages situés au niveau des grés Barrémien.

Les essais de pompage effectués dans la région De Ain Madhi ont permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques : transmissivité (T), coefficient d'emmagasinement (S) et la perméabilité (K) ainsi que les conditions aux limites.

	X	Y	Z
F4	*475,5*	*365,75*	*926 m*
F2	*475,41*	*364,38*	*921 m*

D'une profondeur de 150 m équipée en tôle noir (TNRS) d'épaisseur 5 mm et de diamètre 30 cm. Le niveau statique est de pour les deux. Le pompage a durée 24 heures pour F4 et 11 heures pour F2 avec un débit de 22 l/s.

Résultats obtenus : (Tab. 40)

Tab.43 : Caractéristiques hydrodynamique (région de Ain Madhi).

Forages	**F4**		**F2**	
T (m2/s)	**T (m2/s)**	**S**	**T (m2/s)**	**S**
Theis	$3,5 .10^{-4}$	$0,4. 10^{-6}$	$8,75. 10^{-4}$	$3,5. 10^{-6}$
Jacob	$7,47. 10^{-4}$	$0,21. 10^{-6}$	$0,2. 10^{-3}$	
Logan	$2,55.10^{-3}$		$3,6 .10^{-3}$	$0,33. 10^{-8}$

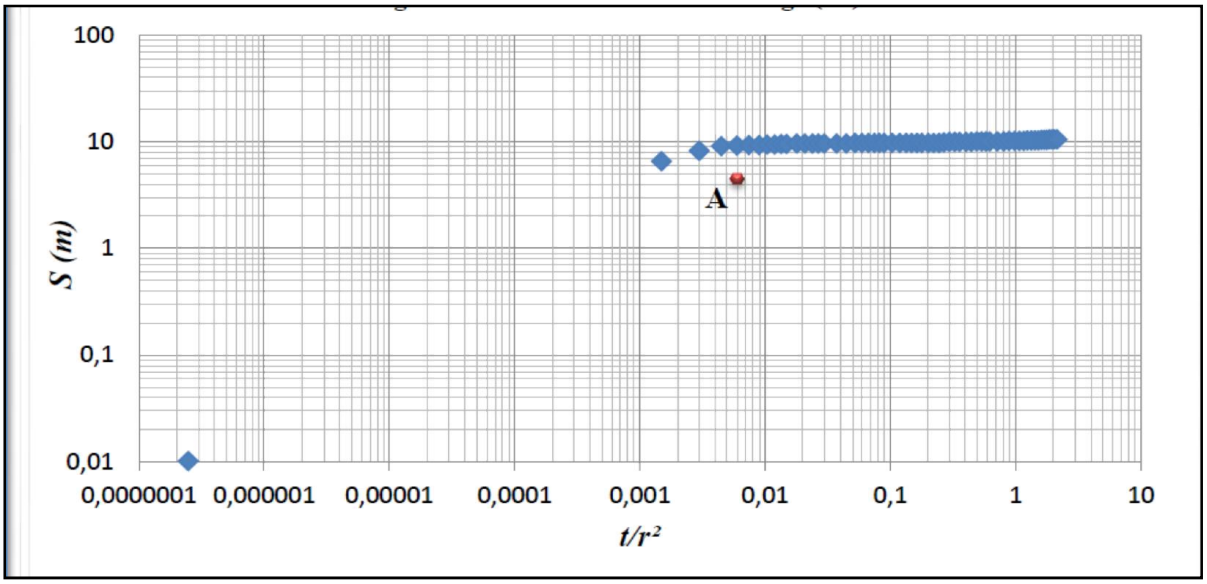


Fig. 67 : Courbe de descente forage (F4)

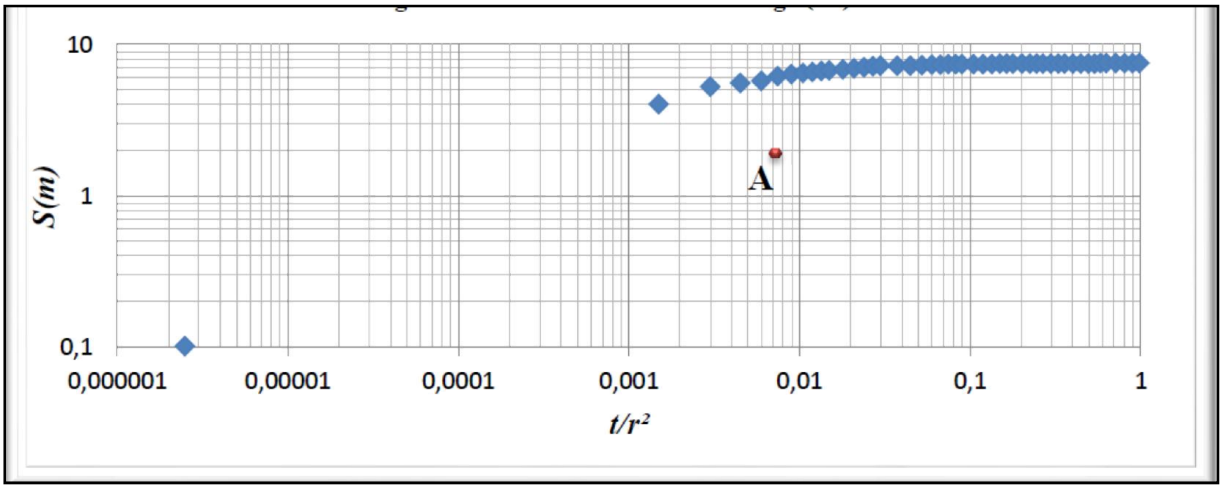


Fig. 68: Courbe de descente forage (F2).

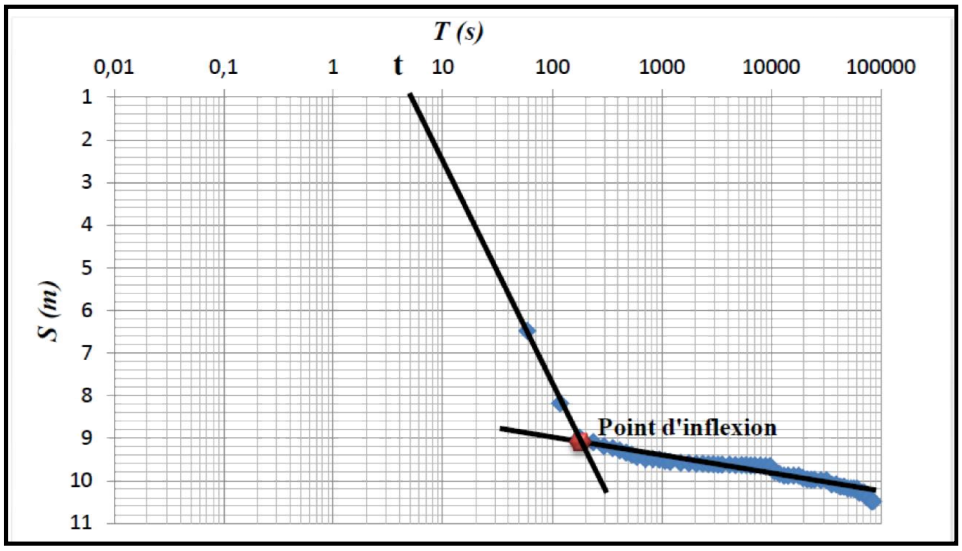


Fig. 69 : Courbe de descente du forage (F4)

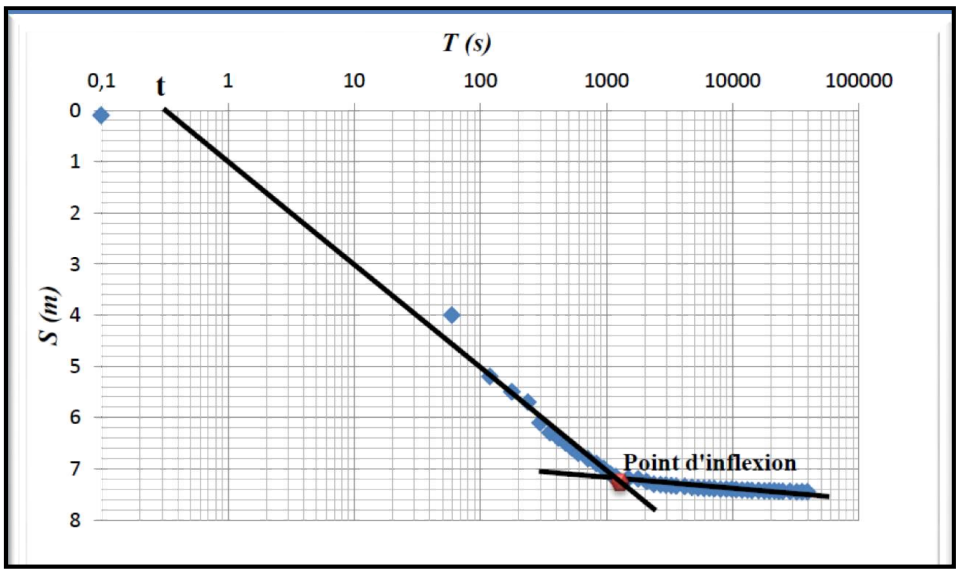


Fig. 70 : Courbe de descente du forage (F2)

b. La région de Hamda : Cette plaine est à une quinzaine de kilomètres au nord-est de notre secteur d'étude, c'est un anticlinal occupé par les formations du Mio-Plio-Quaternaire à proximité de l'Oued M'zi qui recouvrent en discordance les grés du Barrémien-Albien. Un forage de 150 m de profondeur a été implanté à proximité de la charnière de l'anticlinal, le forage (Fig. 70)a traversé 50 m de Mio-Pliocène comportant 17 m de sable avec quelques éléments calcaires, puis 100 m de grés à dragées du Barrémien avec quelques intercalations marneuses vers le bas.

b1. Piézométrie : L'allure générale de la surface piézométrique de la région, présente un écoulement d'ensemble vers le Sud-est donc tous l'écoulement convergent vers l'affluant principale de l'Oued M'zi. Au niveau du pont de Laghouat on a des écoulements superficiels sur 500m de longueur c'est un écoulement permanant qui correspond à une réapparition des eaux de l'inféro-flux Le gradient hydraulique est compris entre 0,28 au pont de Laghouat et 0,03 à l'est du bassin versant au niveau de Ksar El Hirane donc il diminue en allant vers l'Est.

Au niveau de la zone fracturé du chapeau de Gendarme l'écoulement se fait de l'Oued M'zi vers les grés, le gradient hydraulique varie de 0.19 à 0.39
En générale l'écoulement se fait suivant une direction NE-SW avec variation du niveau piézométrique.

b2. Hydrodynamique : Une étude de la granulométrie des formations productrices : Mio-Plio-Quaternaire et Barrémien et suite à l'application de la formule de Hazen a donné : une perméabilité de 1,69 cm / s (0,0169 m/s) pour les formations du Mio-Plio-Quaternaire et 7,8 cm/s (0,078 m/s) pour les grés Barrémien.

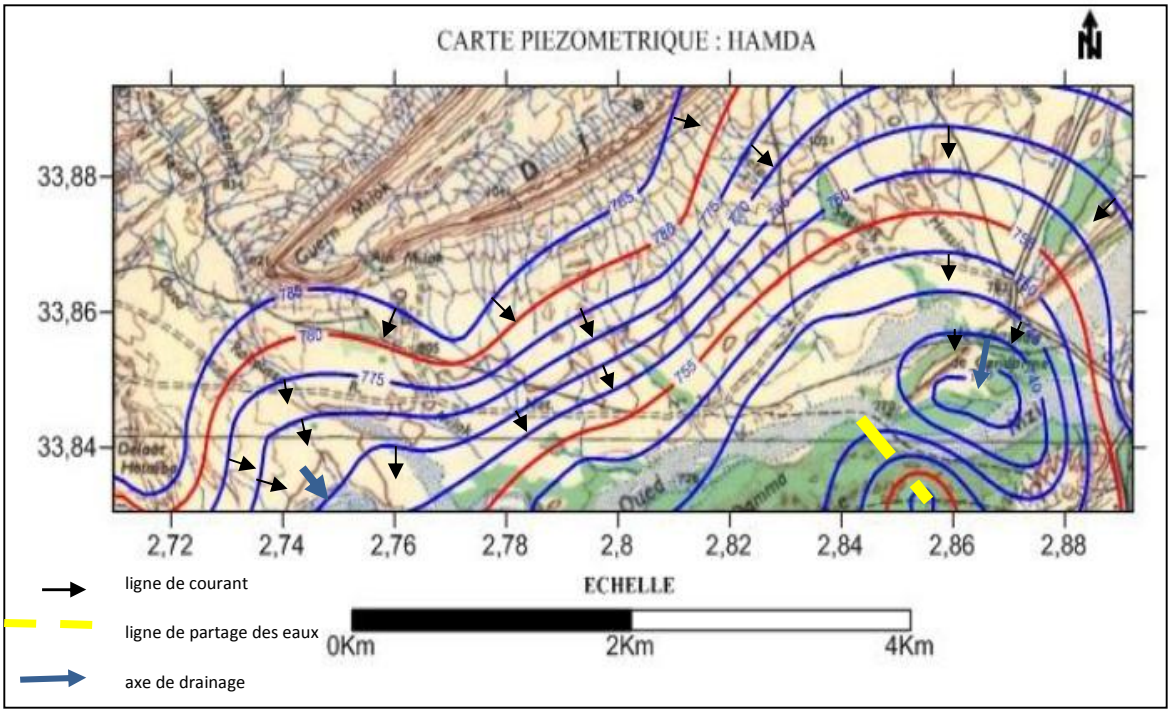


Fig. 71 : Carte piézométrique de la région de Hamda. (*in*, Chenafi 2013).

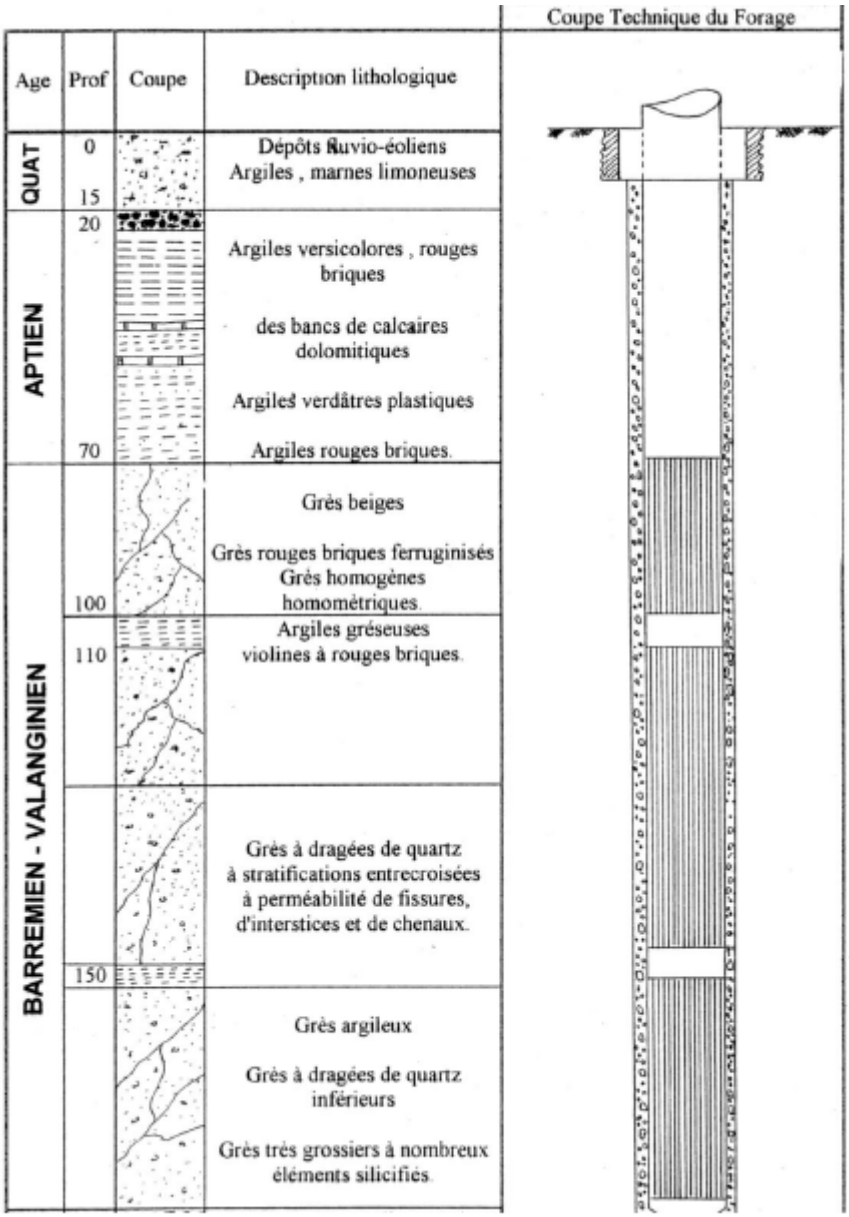


Fig. 72: coupe lithologique et technique du forage Fh1 Hamda

d. Au nord : La cuvette d'Aflou : limitée :

Au Nord et au Sud par les formations du Portlandien.
A l'Ouest par les formations Triasiques.
A l'Est par les formations du Jurassiques et du Mio – Plio – Quaternaire.
Le réservoir est constitué par l'épaisse série des grés d'Aflou. Les variations de granulométrie et la présence des quelques niveaux argileux rompent la monotonie de la série et ont permis la mise en place d'un aquifère multicouches.

d1.Piézométrie : L'examen des courbes isopièzes montre une surface piézométrique irrégulière avec une ligne de partage des eaux de direction Sud-ouest vers le Nord- est d'Aflou en passant par Daiet El Malha (Il est important de signaler l'existence d'une remonté triasique au niveau de cet endroit) jusqu'au Djebel Gourou ou les lignes de courant se convergent vers

l'Est et le Sud-est en direction de la région d'Oued Morra, au Nord les eaux se dirigent vers la région de Skhouna. .

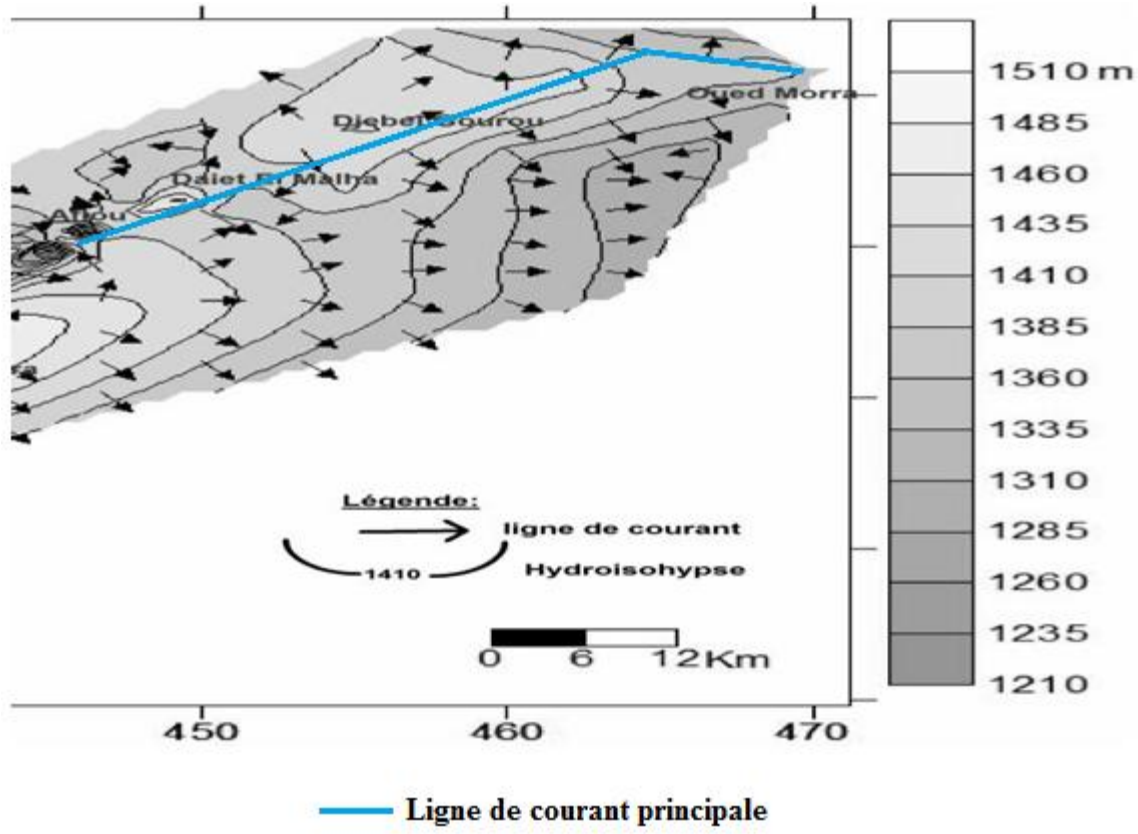


Fig. 73 : Carte piézométrique de la région nord -est de la cuvette d'Aflou.
(In Guenoune)

d2. Caractéristiques hydrodynamiques :

Le pompage d'essai a pour but principal de calculer les paramètres hydrodynamiques : la transmissivité (T), le coefficient d'emmagasinement (S) sous réserve qu'il existe un ou plusieurs piézomètres de référence et la perméabilité (K).

Pompage d'essai forage AFIII :

Un pompage à débit constant (20l/s) a été exécuté pendant 12 heures sur le forages AF III à l'aide d'une pompe immergée pour une hauteur manométrique de 150 mètres.
La remontée des niveaux doit être observée pendant une durée telle que le niveau statique soit atteint. L'exécution et l'interprétation des données mesurées, rabattement et temps, reposent sur l'emploi des expressions d'hydrodynamique en régime transitoire, le pompage d'essai a pour but principal de calculer les paramètres hydrodynamiques : la transmissivité « T », le coefficient
d'emmagasinement « S » sous réserve qu'il existe un ou plusieurs piézométres de référence et la perméabilité « K ».

- Caractéristiques de l'ouvrages :

160 m pour la colonne d'exploitation établies en 13'' 3/8 (340 mm).

140 m pour la colonne de captage qui comporte des crépines de 9'' 5/8 (240 mm) à nervures repoussées de 2 mm.

Un massif de graviers a été établi avec des éléments de 2 à 3 mm de diamètre. Le développement a été effectué par air lift à débit variable. Le pompage a été poursuivi pendant 80 heures jusqu'à clarification des eaux.

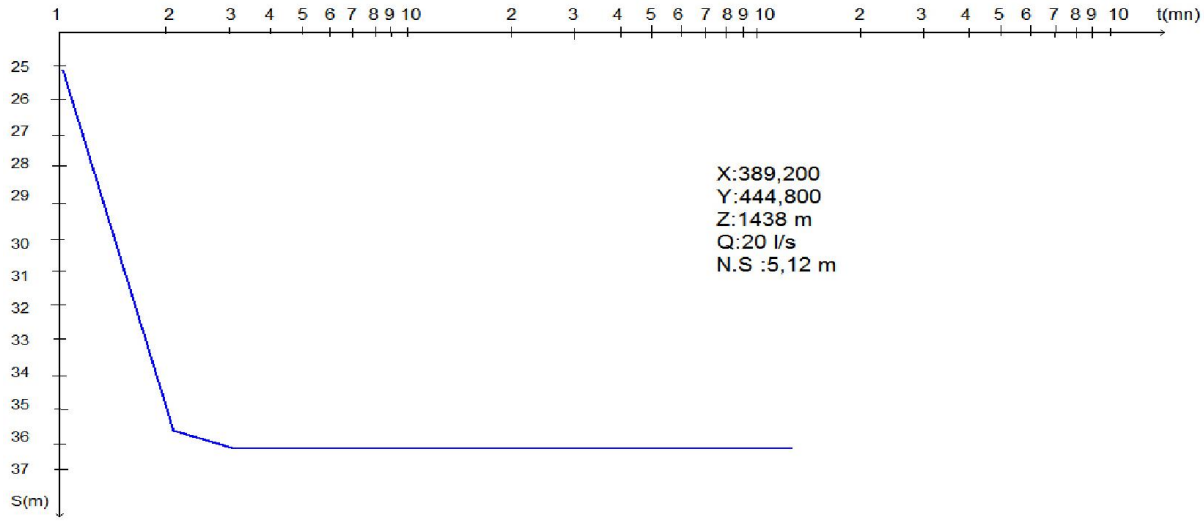


Fig. 74 : Courbe de descente du forage AF III

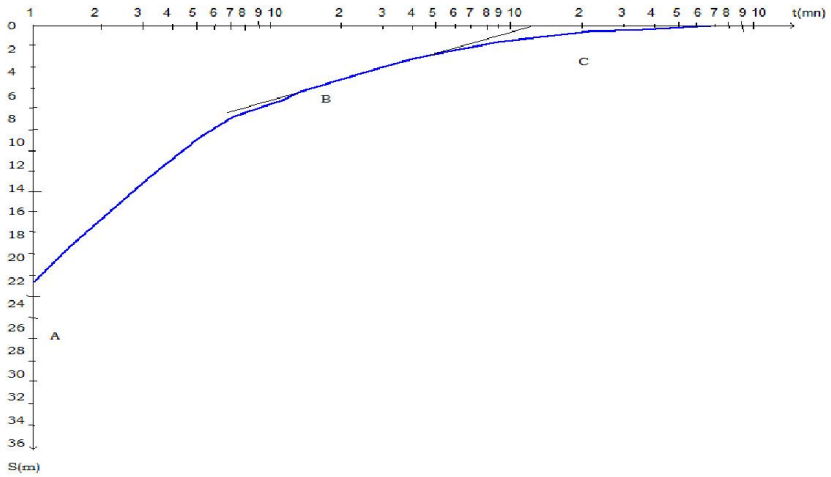


Fig. 75 : Courbe de remonté du forage AF III

Quelque soit la méthode utilisées, nous avons obtenus donc pour la transmissivité des valeurs proches les unes des autres que nous pouvons résumer dans le tableau suivant :

0,675 x 10-3 m2 / s	Logan.
0,546 x 10-3 m2 / s	Theis et Jacob.
0,550 x 10-3 m2 / s	Jacob.

V- Prospection hydrogéologique avec système d'information géographique (SIG) du bassin de Oued M'zi :

Le Système d'Informations Géographiques (S.I.G.) est un outil très utilisé actuellement

dans les différents domaines car il permet l'utilisation des informations disponibles afin d'obtenir de nouveaux résultats qui peuvent servir comme un outil d'aide pour prendre des décision, comme il permet de généraliser l'information spatialement. Les points d'eau dans le bassin versant d'Oued M'zi, présente une répartition qui n'est pas homogène dans l'espace. Le logiciel utilisé (Arc Gis) qui est un S.I.G va nous permettre de généraliser l'information sur tous le secteur d'étude.

La méthodologie proposée est basée sur une approche d'évaluation puis de cartographie des eaux souterraines, en utilisant les facteurs majeurs intervenant sur la potentialité des aquifères dans ces zones. Cette dernière s'est réalisée par l'utilisation d'un Système d'Informations Géographiques dans lequel nous avons introduit différentes couches d'informations sous forme de carte décrivant les différents paramètres (le réseau hydrographique superficiel, le MNT, la fracturation et la géologie).

Cette étude a permis la classification de la région en quarts niveaux descriptifs. La zonéographie est établie sur la base d'informations géologiques ainsi que les données issues des images satellites, telles le réseau hydrographique superficiel, le MNT, et la fracturation.

a-Constitution d'une base de données pour la réalisation de la carte de potentialité des eaux souterraines.

La gestion de la ressource en eau qu'elle soit de surface ou souterraine suppose la connaissance de sa répartition spatiale. La constitution d'une base de données hydrogéologiques va nous faciliter la gestion et la protection de nos réserves en eau et de mettre à notre disposition une documentation très utile pour cette gestion

L'utilisation du logiciel ARCGIS nous a permis d'établir une base de données spatiales partant des données disponible; il offre l'avantage de pouvoir traiter et exploiter les données tant vectorielles que raster, au sein d'un même fichier, à la fois en tant que base de données relationnelles et en tant que système d'information géographique. Les nombreuses données spatiales disponibles, nous les avons intégrées dans la géodatabase développée, concernent les différents éléments caractérisant le milieu physique tels que :

- la topographie, avec notamment la réalisation d'un Modèle Numérique de Terrain (ou Digital Élévation Model - DEM) du bassin versant de oued M'zi avec une résolution de 30 m.
- le réseau hydrographique hiérarchisé et les limites du bassin versant.
- la fracturation issue de la carte géologique.
- la perméabilité à partir des formations géologiques rencontrées.

b-Réalisation des cartes thématiques de bases :

La carte de potentialité en eau pourra être utilisée comme un outil de décision pour les décideurs (les autorités des ressources hydrauliques…etc.) ou comme donnés pour effectuer d'autres études. (économiques, agricoles…etc.)

Pour établir cette carte on va faire intervenir d'autres cartes qui agissent sur le cheminement des eaux de surface vers les profondeurs. Donc

- Une carte de la perméabilité, de la nature du sol, donc de la connaissance du caractère lithologique.
- la densité de fracturation.
- la densité du réseau hydrographique qui nous donne une idée sur le ruissellement et l'infiltration des eaux car un réseau hydrographique complexe et développé conduit généralement à une faible infiltration contrairement au réseau limité dont l'infiltration est forte.
- Une carte des pentes; une forte pente favorise les écoulements superficiels au dépend de l'infiltration.

Donc après l'établissement de chaque carte thématique représentant un paramètres cité ci-dessus on va les intégrer et compiler par l'Arc Gis pour enfin obtenir les zones de recharge potentielle.

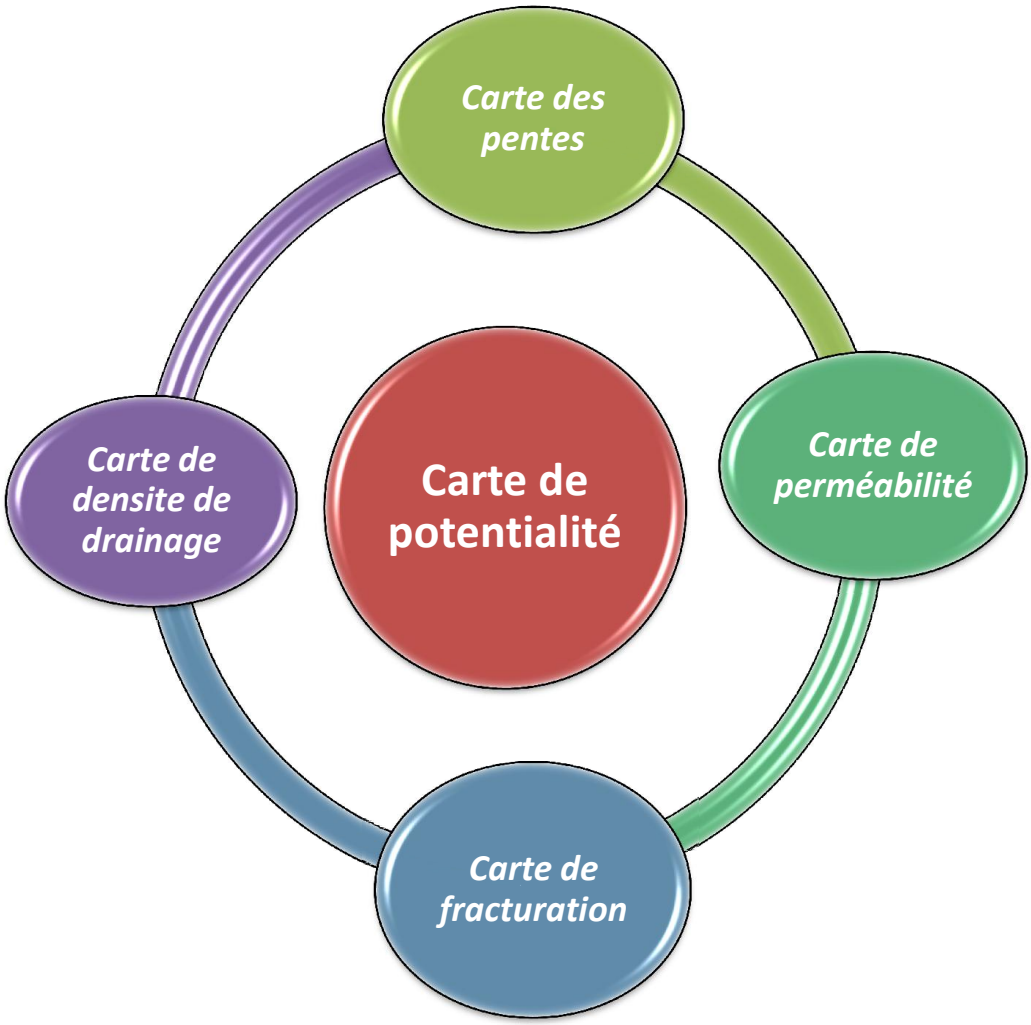


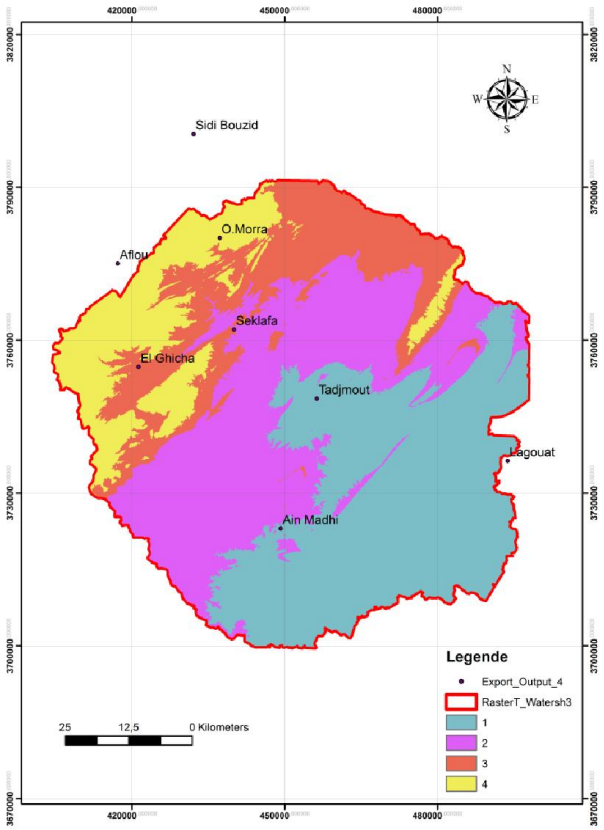
Fig. 76 : Schéma synoptique montrant les cartes intervenants

à la réalisation de la carte de potentialité

b-1 La carte des pentes :

L'inclinaison du terrain influence grandement la perméabilité et conditionne la vitesse du ruissellement et le rapport de l'écoulement sur l'infiltration (El morjani, 2002). La pente agit directement sur la durée de concentration des eaux de ruissellement dans les affluents et le cours principal, sa faiblesse favorise l'infiltration.

A partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) on a extrait la carte des pentes, qui contient quatre (04) classes (Voir fig.), (les pentes fortes, moyennes, faibles et très faibles).



1 :Tres faible, 2 :Faible , 3 :Moyenne ,4 :forte

Fig.77: Carte des pentes de la région d'étude.

Les pentes fortes, se localisent à l'amont, à partir de la région d'Aflou où le ruissellement est important (Djebel Amour) donc une infiltration très faible. Allant vers le Sud- Est les pentes deviennent plus faibles correspondent à la vallée de l'Oued M'zi ou les les pentes très faibles.

b-2 La carte de perméabilité :

La carte de perméabilité est produite à partir de la carte géologique en attribuant un coefficient de perméabilité pour chaque faciès lithologique figurant sur la carte géologique et cela nous a permis de classer le degré de perméabilité, selon quatre (04) classes, (Voir fig.78) :

- perméabilité Très faible.
- perméabilité Faible.
- perméabilité Moyenne.
- perméabilité forte.

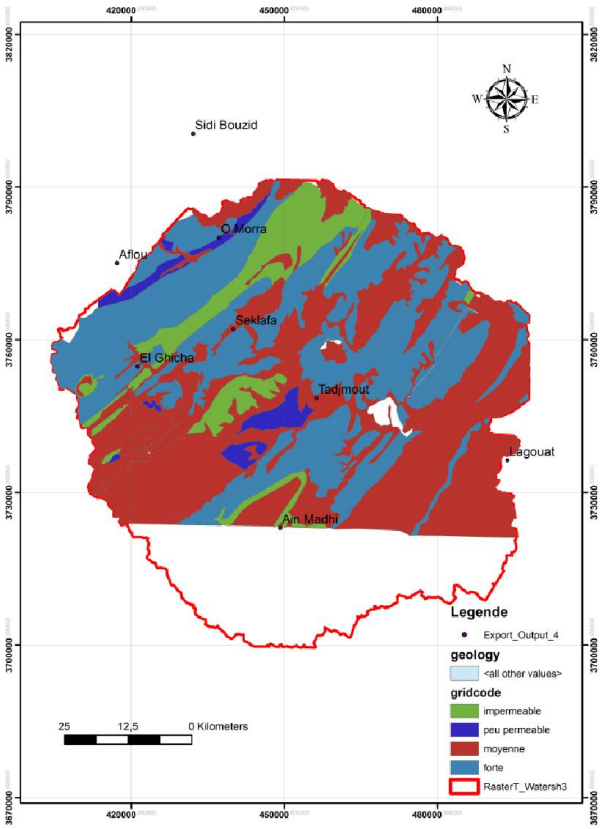


Fig. 78 : Carte de perméabilité de la région d'étude

b-3 La carte de densité de drainage :

la carte de densité de drainage a été établi par digitalisation de tous les cours d'eau et leur classement en fonction de leur ordre, à partir de l'image satellitaire, On distingue quatre (04) classes suivant la densité de drainage (Voir fig.79). Comme suite :

- densité de drainage très faible.
- densité de drainage faible.
- densité de drainage moyenne.

- densité de drainage forte.

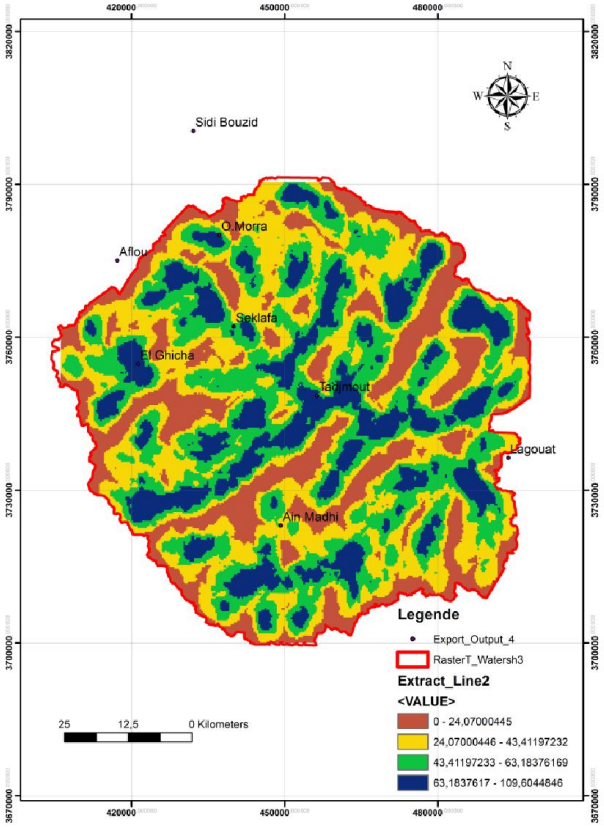


Fig. 79 : Carte de la densité de drainage de la région d'étude.

Le drainage est fortement lié à la densité du réseau hydrographique, les fortes densités du chevelu hydrographique caractérisent les parties amonts, vers l'aval cette densité s'affaiblie.

b-4 La carte de la densité de fracturation : Le cheminement des eaux de la surface vers les profondeurs, est beaucoup influencée par la fracturation, plus le terrain est fracturé plus il est perméable donc plus le potentiel en eau est important c'est pour cela que l'intervention de ce paramètre dans l'établissement de la carte de potentialité était indispensable, on a classé la densité de fracturation en quatre (04) classes (fig.80).

- densité de fracturation forte.
- densité de fracturation moyenne.
- densité de fracturation faible.
- densité de fracturation très faible.

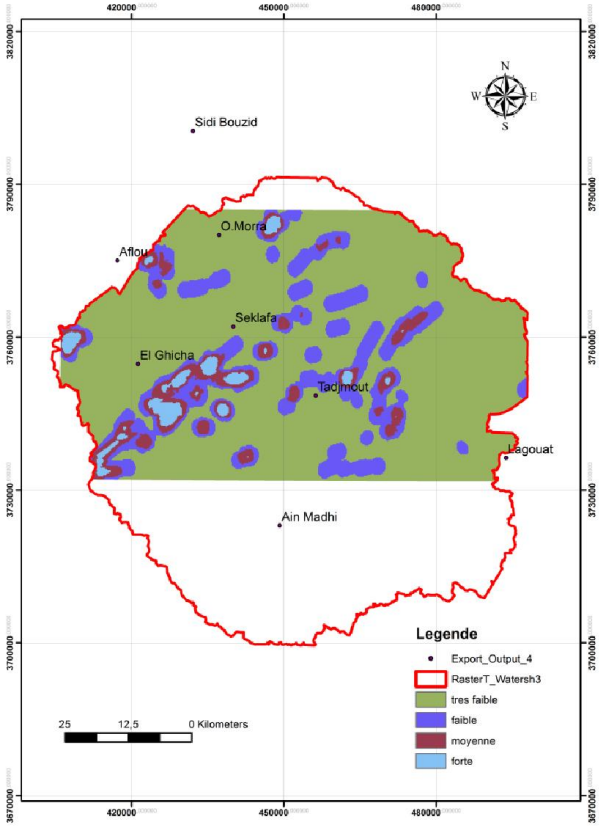


Fig. 80 : Carte de la densité de fracturation de la région d'étude

La densité de fracturation dans le secteur étudié varie généralement de très faible à faible sauf pour quelque parties de très petites superficies ou la densité est moyenne et forte dans le sud et sud- ouest du bassin.

b-5 Réalisation de la carte de potentialité des eaux souterraines du bassin versant de Oued M'zi :

Pour effectuer une cartographie des ressources en eau souterraine on s'est servi d'une base de données hydrogéologique du secteur d'étude. La méthodologie consiste à établir les différentes cartes thématiques des principaux paramètres qui influent sur les potentialités en eaux souterraines (La perméabilité, la fracturation, le réseau hydrographique et les pentes).

- La pente.
- Le réseau hydrographique.
- La fracturation.
- La perméabilité.

Chaque carte ou couche d'information a été classée (quatre classes), puis on a affecté des poids en fonction de la potentialité en eaux pour chaque classe. ». L'affectation de ces poids se fait selon l'importance que l'on donne à tel ou tel critère » (Savané, 1997; saley, 2003).

La méthode de pondération des critères, consiste à affecter un poids selon l'importance du critère, un poids élevé pour le critère fort et plus faible pour le critère d'importance, à condition que la somme de ces poids doit être égale à 1 (pour chaque critère) ce qui suppose que celui-ci est un chiffre compris entre 0 et 1. Le nombre de classe est fixé à quatre pour faciliter l'interprétation et la lisibilité des cartes thématiques ainsi que la carte résultante.

Pour établir la carte de potentialités en eau souterraine on doit fusionner toutes les cartes thématiques de tous les critères définis précédemment sous le logiciel ACGIS 9.3 afin d'obtenir une carte unique regroupant tous les paramètres hydrogéologiques en une seul carte, la potentialité elle-même a été partage en quatre (04) classes de potentialité en eaux souterraines (Voir fig. 86) :

- Potentialité forte.
- Potentialité moyenne.
- Potentialité faible.
- Potentialité très faible.

Tab.44 : Classification des critères de Potentialité aquifère

Carte de thématiques de bases	Critères	Descriptions des classes	Poids	Total
Perméabilité	Perméabilité	imperméable	0	1
		Peu perméable	0.1	
		perméable	0.3	
		Très perméable	0.6	
Réseau linéamentaire	Densité de fracturation	Très faible	0	1
		faible	0.2	
		moyenne	0.3	
		forte	0.5	
Réseau de drainage	Densité de drainage	Très faible	0.05	1
		faible	0.15	
		moyenne	0.3	
		forte	0.5	
Pente	pente	Très faible	0.05	1
		faible	0.15	
		moyenne	0.25	
		forte	0.55	

b-6 Résultats et discussions

La carte de potentialité réalisée nous a permis de cartographier la potentialité aquifère de la zone d'étude. Selon la carte obtenue le potentiel hydrogéologique important (classe forte) se localise à l'ouest et le nour-ouest du bassin versant au niveau des régions montagneuses tandis que la classe de potentialité très faible occupe l'est , la potentialité faible et moyenne est dominante et occupe tous le Sud-est du bassin versant de l'oued M'zi.

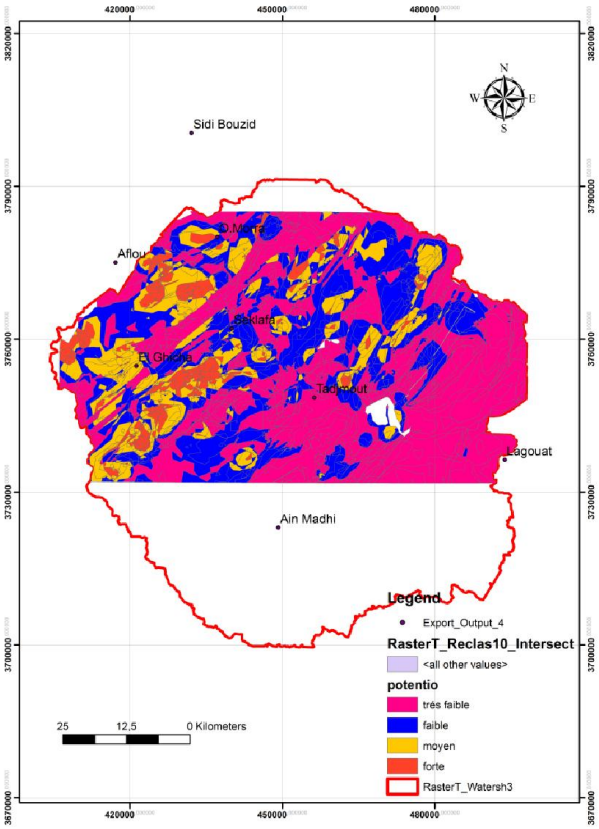


Fig. 81 : Carte des potentialités des eaux souterraines du Bassin versant de Oued M'zi

La carte du potentiel aquifère obtenue comme tout Système d'Information Géographique est un outil qui aide à prendre des décisions en favorisant les zones susceptibles de faire l'objet d'une prospection hydrogéologique. Ce document représente donc un outil complémentaire dans l'étude des eaux souterraines, il est destiné aux pouvoirs publics pour une meilleure gestion des eaux souterraines.

***Les zones d'alimentation :**

Les piémonts Sud des Monts des Djebel Amour constitue un vaste système hydrogéologique jouant le rôle de carrefour entre la chaine Atlasique au Nord et les terrains du *Complexe terminal*, sous jacents a la dalle Hamadienne au Sud.
Les infero flux drainant le versant méridional de l'Atlas, interviennent principalement par voie aérienne (crues de printemps) et écoulement hypodermique.
L'alimentation se fait a partir des piémonts Nord des Monts du Djebel Amour par :
- Voie hydrodynamique entre les formations greseuses Jurassico-Cretacees et les calcaires dolomitique de l'Aaleno-Bajocien.
- Ecoulement hypodermique

L'alimentation provient principalement des calcaires Turoniens

VI-CONCLUSION :

L'hydrogéologie de la région est influencée par la structure, les grands synclinaux des grés fissurés du Barrémien-Albien constituent les aquifères les plus important du Djebel Amour et les anticlinaux du Jurassique forment les lieux de séparation de ces aquifère.
L'étude piézométrique montre un écoulement principal de direction vers le sud et sud-est pour les du Barrémien-Albien, la transmissivité varie de 8,75. 10^{-4} m^2/s à 3,6 .10^{-3} m^2/s et un coefficient d'emmagasinement (estimé) de 0,33. 10-8 à 0,4. 10-6 indiquant un système captif en profondeur.

Pour les aquifères liés aux formations du Mio-Plio-Quaternaires l'écoulement se fait généralement vers le Sud-est, ils convergent vers l'affluant principal de l'Oued M'zi. Le gradient hydraulique de 0,28 au pont de Laghouat et 0,03 à l'est du bassin versant au niveau de Ksar El Hirane.

La carte de potentialité montre que le potentiel hydrogéologique important (classe forte) se localise à l'ouest du bassin versant.

Chapitre VI

Hydrochimie

I-Introduction :

Un réseau d'échantillonnage a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale de la qualité des eaux souterraines de la région d'étude. Ce réseau comporte 23 points d'eausitués entre Oued Morra à l'est et El-Ghichaà l'ouest.

Les différentes méthodes utilisées portent sur deux types de paramètres :

- Les paramètres physiques mesurés généralement sur terrain(le résidu sec et le pH)
- les paramètres chimiques, ce sont les ions : les cations (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+}, K^{+}) et les anions(Cl^{-}, $SO4^{-2}$, HCO_3^{-}, NO_3^{-}).

Les résultats physico-chimiquesobtenus seront la base de nos interprétations :

- Déterminer les faciès chimiques des eaux du bassin ;
- Dégager les zonalités regroupant les faciès hydro chimiques ;
- Donner une idée sur la potabilité et l'aptitude de ces eaux à l'irrigation selon les normes ;
- Evoluer dans l'espace la qualité des eaux au niveau de cette région.
- **II-Analyse statistique des paramètres et éléments chimiques :**

a-Analyse en Composantes principales « ACP » :

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physicochimiques et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité des eaux du bassin versant de oued M'Zi, un traitement statistique **ACP** (analyse des composantes principales) a été appliqué à l'ensemble des paramètres. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydro chimiques. Cette méthode statistique permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées appelées composantes principales (Davis, 1984).

L'ACP a été effectuée sur une matrice de donnée constituée de 23 prélèvements. Pour le traitement des données par l'analyse en composantes principales, nous avons utilisé onze variables : le pH, la conductivité électrique le résidu sec, les sulfates, les chlorures, les bicarbonates, les nitrates, le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium.

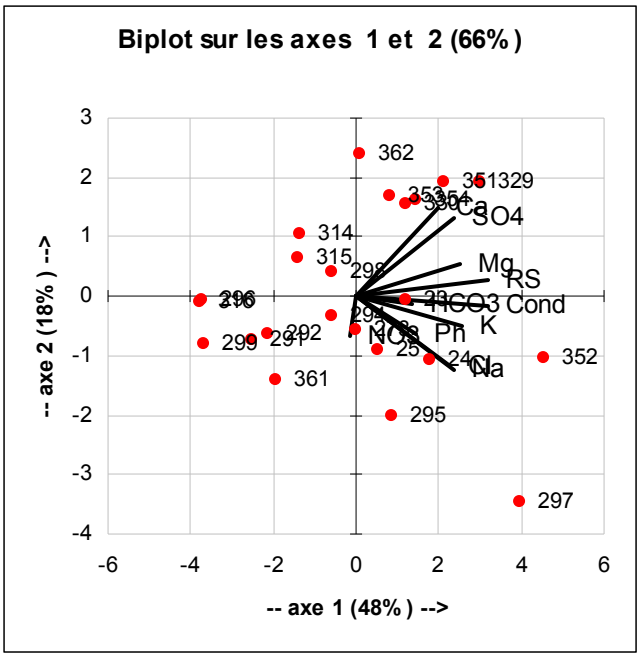
L'analyse du plans factoriel axe1 et axe2 montre que plus de 66% sont exprimés.
L'axe 1 possède une variance de 48%, il est exprimé par la conductivité électrique, résidu sec, les sulfates, et le calcium, l'axe 2 a une variance égale à 18% et est représenté par, le Ph, les nitrates, chlorures le magnésium, le potassium , bicarbonates et le sodium.

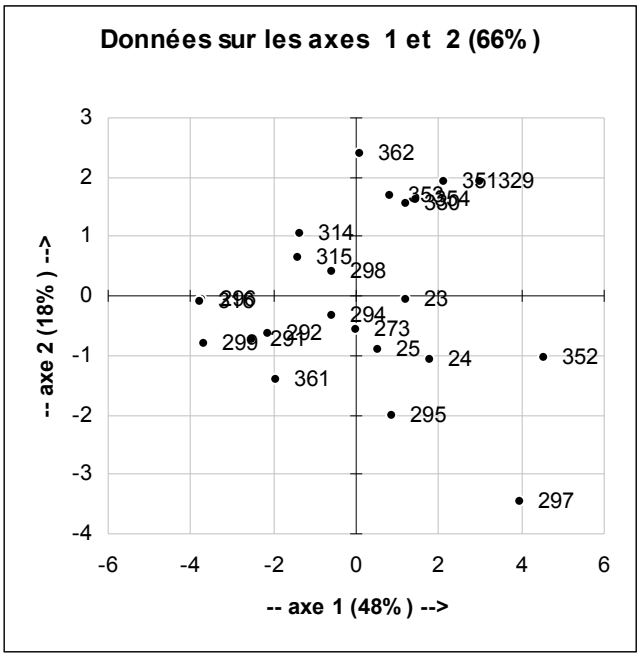
Dans l'espace des individus, les points 297 et 352 présentent une forte minéralisation caractérisée par les teneurs élevées en Na+, SO42- et Ca2+.

Tab. 45 : Paramètres physico-chimiques.

Nom	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	Cond	RS	Ph	Min	X	Y
23	200	133	220	12	305	838	239	7	32	2018	7,8	2009	483,65	403,6
24	173	136	268	14	235	1000	242	84	33	2150	8,1	2027	483,575	404,15
25	148	102	193	13	215	695	257	54	26	1742	7,9	1600	483,7	404,2
291	115	34	25	3	40	153	293	43	11	708	7,8	682	437,7	376,75
292	128	30	23	6	55	220	258	8	11	658	8	670	441,4	369,03
294	205	65	143	5	240	575	223	17	23	1498	8	1443	438,8	376,38
295	163	73	385	10	635	350	237	36	30	1999	8	1860	439,275	376,4
296	68	28	33	2	60	200	62	6	7	492	7,5	434	439,2	376,15
297	208	66	875	11	1525	525	187	3	54	3559	8	3348	440,45	376,3
298	330	78	138	5	310	383	114	18	27	2114	7,6	1699	450,05	369,45
299	48	9	10	3	30	45	121	8	4	293	7,9	248	446,45	373,05
361	143	16	78	10	145	222	167	73	13	926	7,9	806	470,95	401,7
362	575	16	30	5	40	1515	82	19	27	2448	7,9	1662	475,05	399,68
273	228	105	135	6	315	575	234	71	26	1743	7,9	1593	433,7	363,7
314	270	56	78	5	145	658	237	10	22	1423	7,2	1370	422,3	359,25
315	255	47	75	5	145	683	140	9	22	1343	7,6	1333	422,5	354,5
316	75	13	10	2	25	65	190	3	6	411	7,4	366	423,55	357,5
329	472	150	100	15	135	1575	350	5	32	2845	7,9	1996	424,35	359,75
330	470	102	45	10	200	1225	202	43	32	2534	7,7	1996	422,9	359,45
351	450	135	153	7	270	152	212	0	35	291	7,9	216	412,5	353,4

						7				7		4		5
352	372	100	640	17	950	1150	242	1	56	3502	7,8	3441	412,825	352,9
353	423	103	85	5	150	1190	220	4	29	2389	7,9	1767	406,3	347,1
354	418	145	138	5	330	1163	204	0	34	2484	7,8	2077	406	347,35





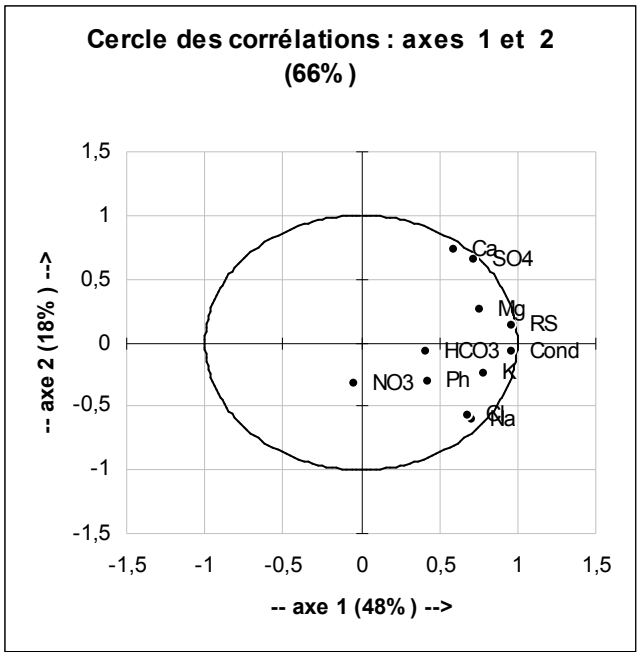


Fig. 82: Approche graphique de l'ACP des paramètres physico- Chimiques dans l'eau en selon le plan axe1 x axe2.

b. Corrélation :

L'examen du tableau de la matrice de corrélation permet de voir qu'Il existe une forte corrélation entre :

SO4++ / Ca++	0,899
Na+ / Cl-	0,977
Rs/ cond	0,960
Cond/Na^+	0.802

Tab.46: Matrice de corrélation des éléments physico-chimiques.

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	Cond	RS	Ph
Ca	1	0,4847	0,0209	0,2213	0,0638	0,8992	0,0492	-0,2398	0,5585	0,7320	0,0545
Mg	0,4847	1	0,2660	0,5829	0,2306	0,6861	0,5342	0,0452	0,6511	0,6846	0,2772
Na	0,0209	0,2660	1	0,5931	0,9772	0,1020	0,1527	-0,0824	0,8028	0,6613	0,3200
K	0,2213	0,5829	0,5931	1	0,4880	0,4450	0,5120	0,2570	0,6930	0,6350	0,4253
Cl	0,0638	0,2306	0,9772	0,4880	1	0,0742	0,0923	-0,1367	0,7891	0,6628	0,2683
SO4	0,8992	0,6861	0,1020	0,4450	0,0742	1	0,2289	-0,1493	0,6303	0,7711	0,2060
HCO3	0,0492	0,5342	0,1527	0,5120	0,0923	0,2289	1	0,1556	0,2672	0,2374	0,2810
NO3	-0,2398	0,0452	-0,0824	0,2570	-0,1367	-0,1493	0,1556	1	-0,1086	-0,1465	0,3262
Cond	0,5585	0,6511	0,8028	0,6930	0,7891	0,6303	0,2672	-0,1086	1	0,9607	0,3059
RS	0,7320	0,6846	0,6613	0,6350	0,6628	0,7711	0,2374	-0,1465	0,9607	1	0,3138
Ph	0,0545	0,2772	0,3200	0,4253	0,2683	0,2060	0,2810	0,3262	0,3059	0,3138	1

C'est une corrélation qui fait ressortir l'influence des roches évaporitiques : gypse et halitesur le chimisme de l'eau.

On a représenté les relations entre les éléments chimiques dont le coefficient de corrélation est supérieur à 0.8 forme de graphiques (**Figs.n° 83 à86**).

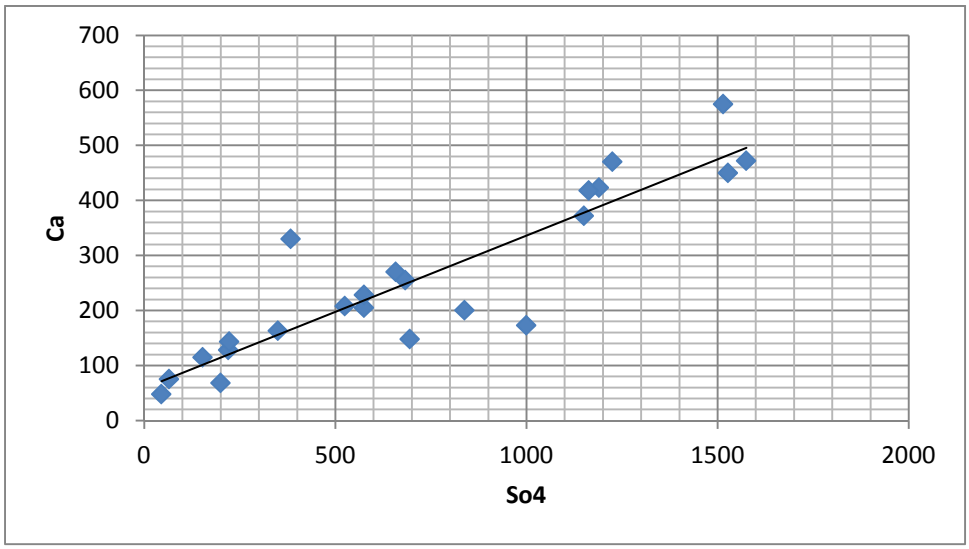


Fig. 83: Le Couple Ca – So_4

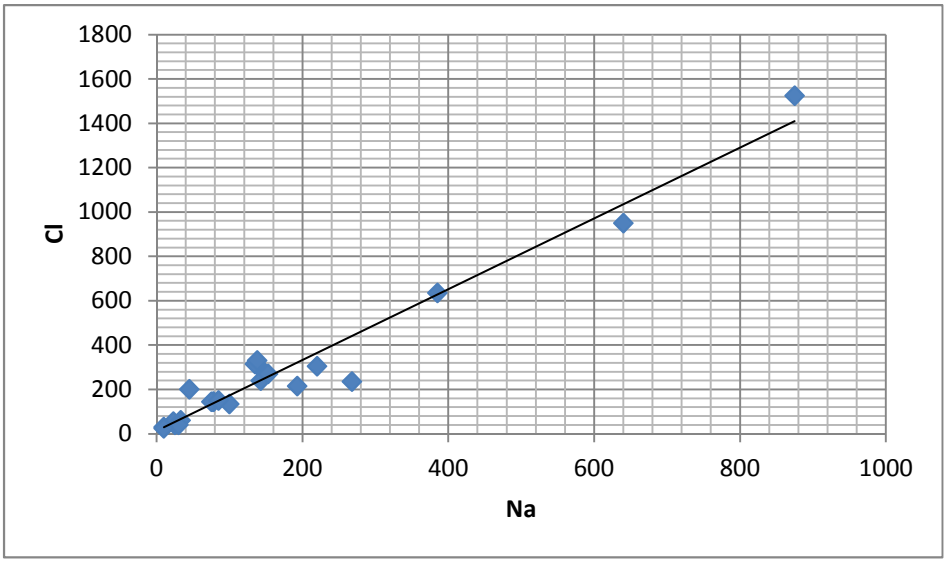


Fig. 84: Le Couple Cl – Na

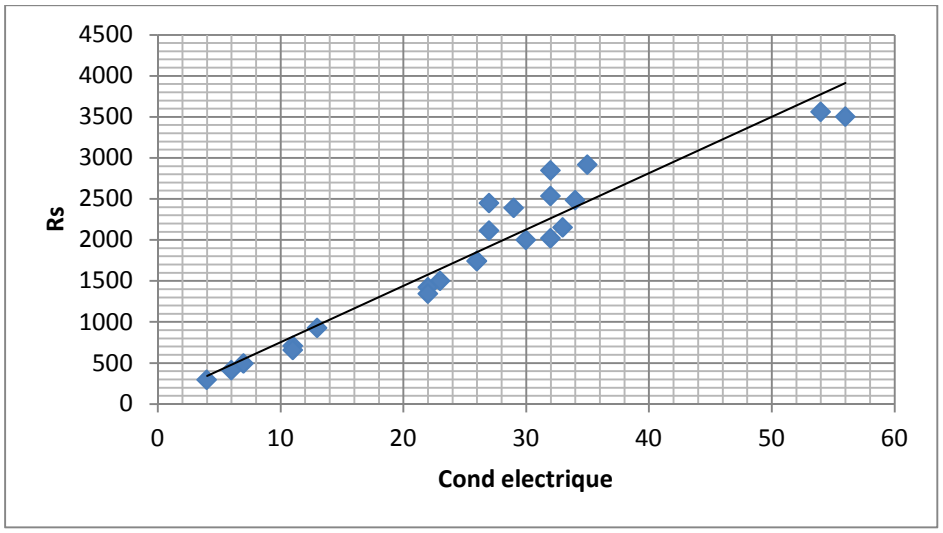


Fig. 85 : Le Couple Rs – Conductivité électrique

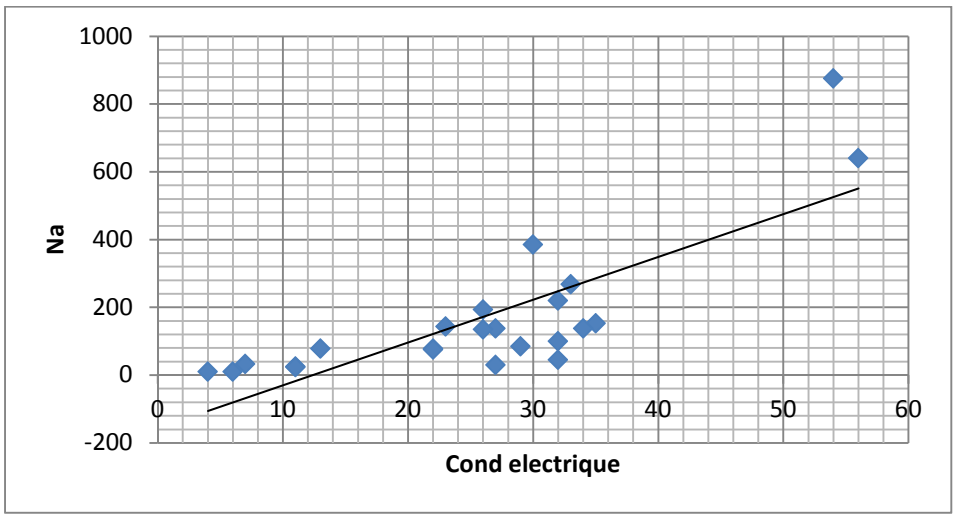


Fig. 86 : Le Couple Na – Conductivité électrique

III. LES PARAMETRES PHYSIQUES:

a- Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (Ezzaouaq, 1991 ; El Blidi et al, 2003 ; Himmi et al, 2003) La mesure a été effectuée sur terrain et confirmée au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre,il varie entre 7.2 et 8.1.

b-Lerésidu sec :

La minéralisation des eaux est assez forte supérieure à 1000 mg/l pour la majorité des eaux . Les valeurs du résidu sec variesentre 293 mg/l au point (299) et 3559 mg/l au point (297), avec une moyenne de1834.60mg/l.

Eneffet, les fortes minéralisations sont directement liées à la présence d'évaporites soit dans les marnes verdâtres (gypse: Portlandien, Aptien) ou la halite dans les formations triasiques : Kef Zlagh et le nord d'El-Ghicha (Chouabir).

c- La Conductivité électrique:

- elle est définie par la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm2 de surface espacées l'une de l'autre de 1 cm. L'unité de mesure est le ms/cm/cm2, la conductivité d'une eau augmente avec sa teneur en sels dissous ce qui permet donc une estimation de la minéralisation.
- Dans notre secteur, la conductivité varie de 4µS/cm (au point 299) à 56 (au point 352).

IV- LES PARAMETRES CHIMIQUES :

a- Les cations :

a-1 Le Calcium (Ca^{+2})

Le calcium est l'élément présent en quantité appréciable dans la quasi-totalité des eaux superficielles, c'est un élément alcalino-terreux et un composant majeur de la dureté des eaux, sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique, selon l'équation suivante : $CaCO_3$+ CO2+H_2O<=> Ca2++ 2HCO_3 Il provient également des formations gypseuses ($CaSO_4$(H2O)$_2$ qui sont facilement soluble (Dib, 2009).

Les concentrations du Ca^{+2} varient de 48 mg/l à 575mg/l *(Fig.)*Ces teneurs sont loin d'être compatible avec les normes établis par l'OMS et UE (100 mg/l). Doncles eaux échantillonnées(sauf trois points d'eau)du bassin versant de oued M'Zi sont riches en calcium.

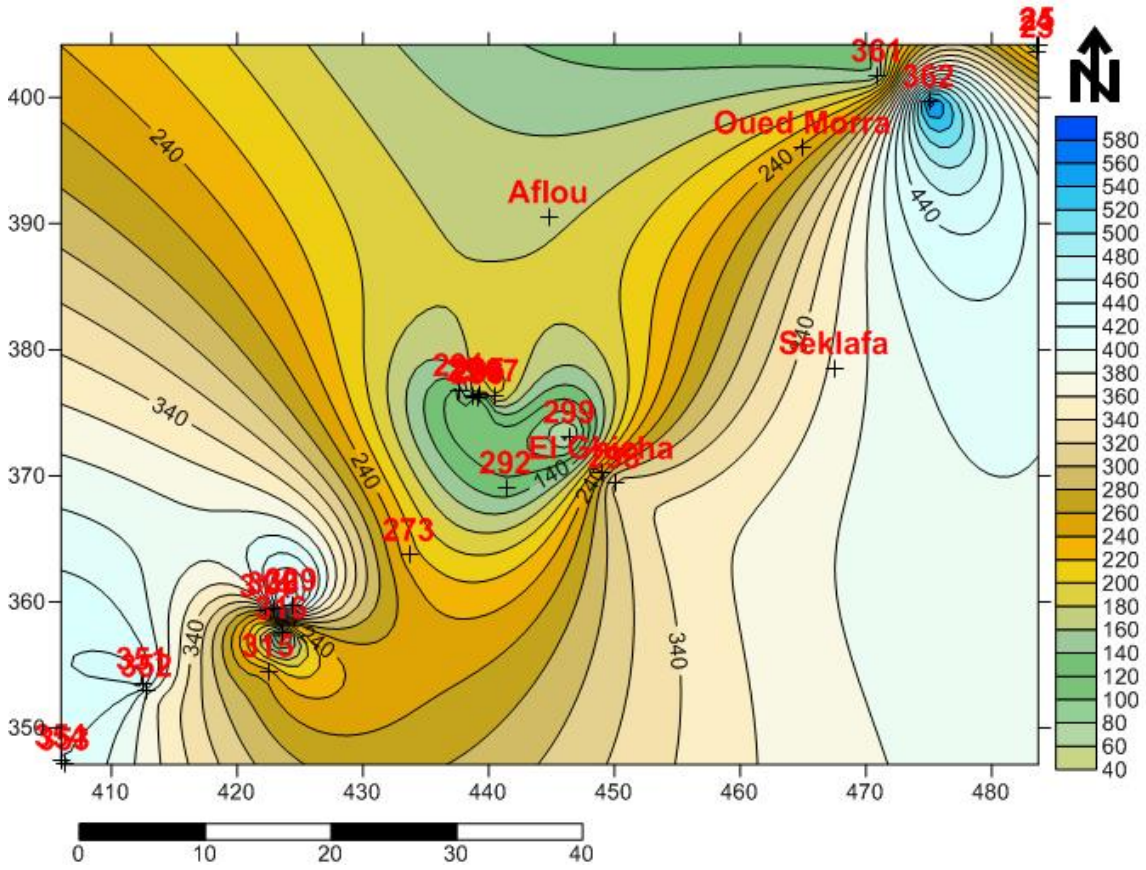


Fig. 87: Carte d'iso-concentration du calcium

La valeur la plus élevée est située au nord-estdu secteur avec des concentrationssupérieure à 500mg/l*(Fig.)(échantillons361 et 362)*, mais de façon générale la progression de la concentration est élevée sur les bordures du secteur et diminue au fur et à mesure en allant vers le centre. L'origine des teneurs élevées de Ca^{++},est probablement du aux intercalations d'évaporites (les formations gypseseuses).La concentration de calcium exprime de fortes variations d'un point à l'autre et montre que échantillons représentent des teneurs supérieures à 100mg/l.

a-2 Le Magnésium (Mg^{+2})

Toutes les eaux naturelles contiennent le magnésium, quiest un élément significatif de la dureté des eaux, la présence du magnésium dans les eaux souterraines est liée à la nature lithologique de l'encaissant. Il doit sa présence à la dissolution des formations carbonatées (les dolomies)ainsi que les formations salifèresqui sont riche en Mg^{++}.

Les teneurs en Mg^{+2} dans les différents points d'eaude ce secteur oscillent autour de 9mg/l comme valeur minimale enregistrée au point(299)et 150mg/l comme valeur maximale enregistrée au point (329),par rapport aux normes de potabilité des eaux recommandées par l'OMS (30mg/l) et l'UE (50mg/l) seulement huit(8) points sont dans les normes(inferieures à50mg/l).

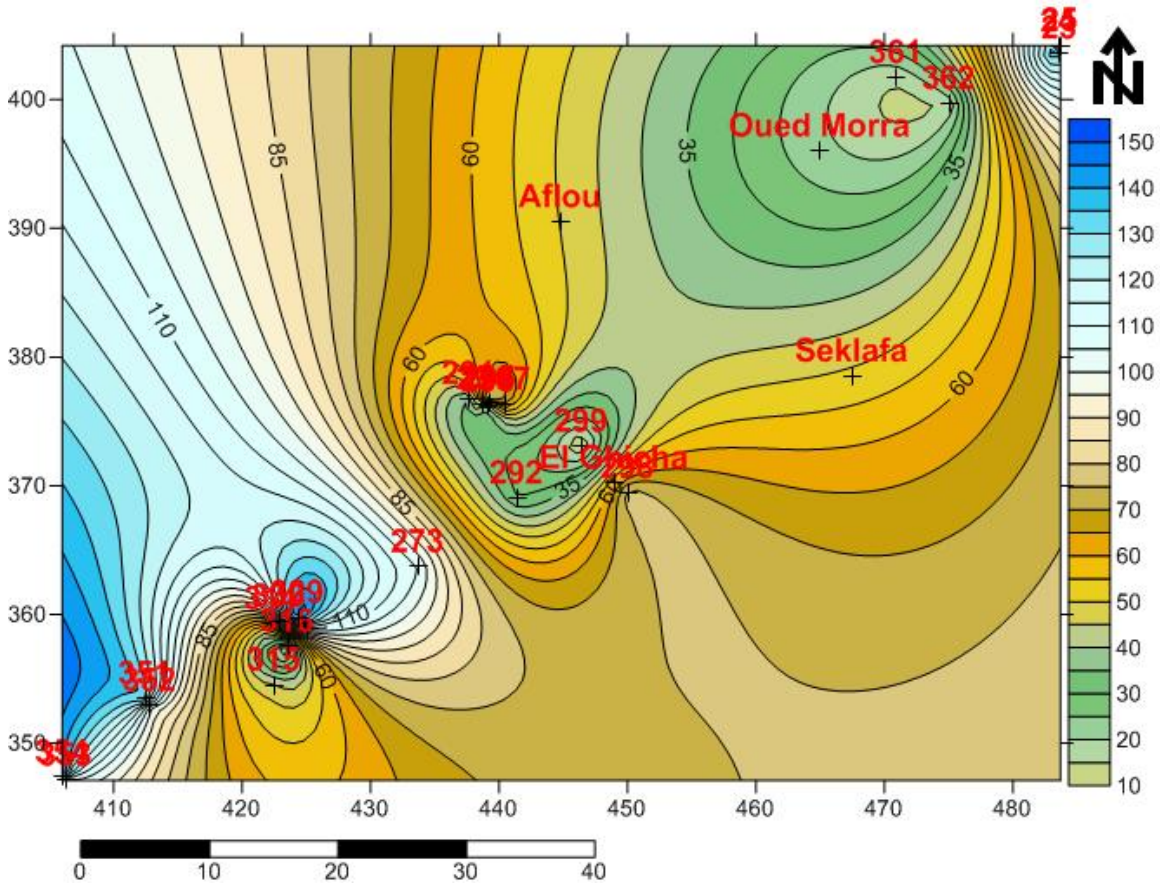


Fig.88 : Carte d'iso-concentration du magnésium

On remarque presque le même comportement que le calcium, la concentration se diminue en se dirigeant vers le centre du secteur (El Ghicha) et au nord-est (Oued Morra) .

a-3 Le Sodium (Na^+) :

La présence du Sodium dans les eaux souterraines est très variables,du à la dissolution des évaporites qui sont fréquent dans la région d'étude sous forme de Halite ou Sylvine.

Les concentrations du sodium (Na^+), sont variées d'un point à un autre, on marque 10mg/l comme valeur minimale mesurée au point(299) avec 875mg/l comme anomalie au point (297) donc une anomalie extrême qui a une relation directe avec la nature lithologique marquée par la présence d'évaporites englobant à la fois des niveaux gypsifères (CaSO4) et des intercalations salifères (NaCl et KCl).

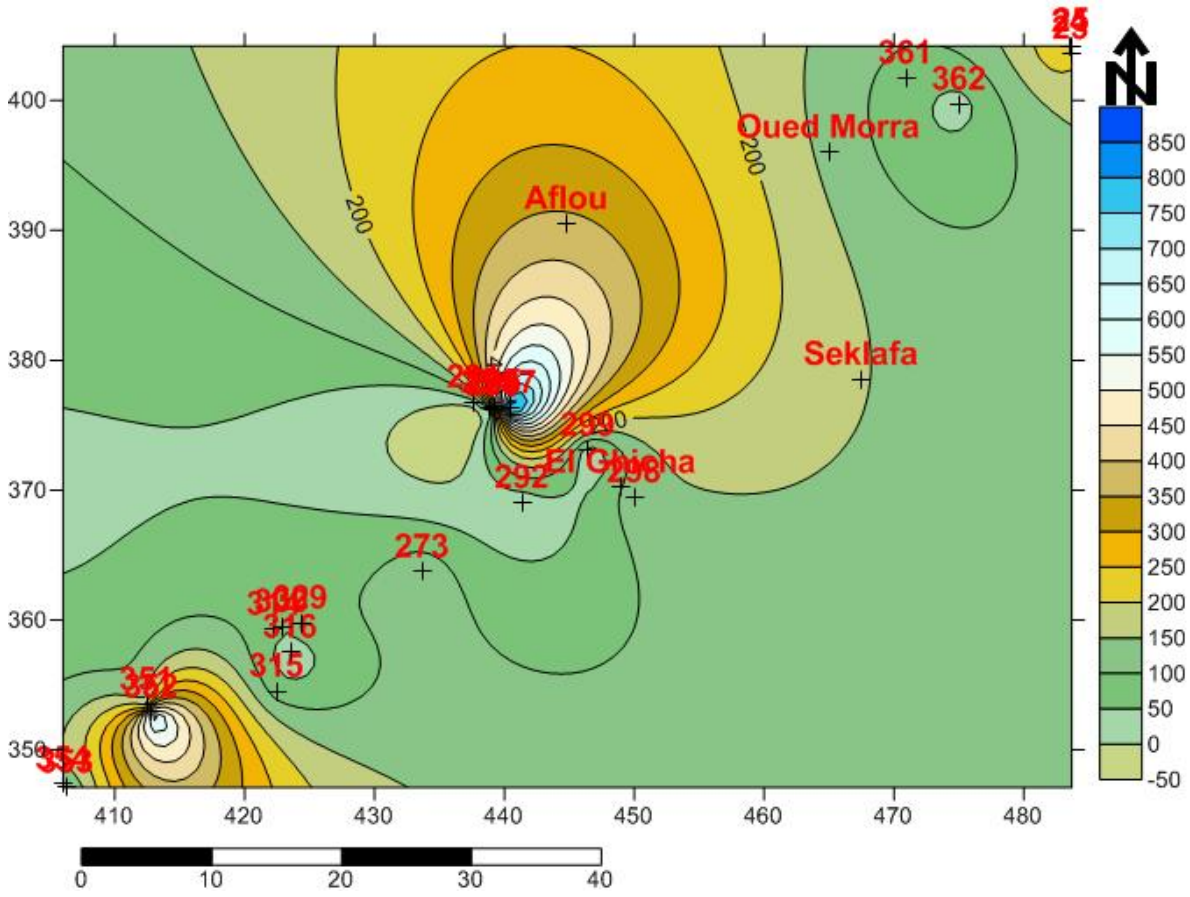


Fig.89 : Carte d'iso-concentration du sodium

D'après la carte d' iso-teneur du sodium les point d'eau n° 292 à 296 et 351 à 354 présentent des teneurs élevées, avec un maximum au niveau dupoint 297(800mg/l) liées à la dissolution des sels naturels par lessivage des évaporites, on remarque une diminution en s'éloignant de ces formation.

a-4 Le potassium (K^+) :

La présence du potassium dans les eaux est liée principalement à l'altération des argiles potassiques et au lessivage des évaporites, en l'occurrence la Sylvine (KCl).

Au niveau des eaux du bassin versant, la teneur en potassium varie de 2mg/l pour les points d'eau (316 et 296) à 17mg/l pour le point (352),19 points sont inférieures aunormes admises par l'OMS et l'UE (12mg/l) .

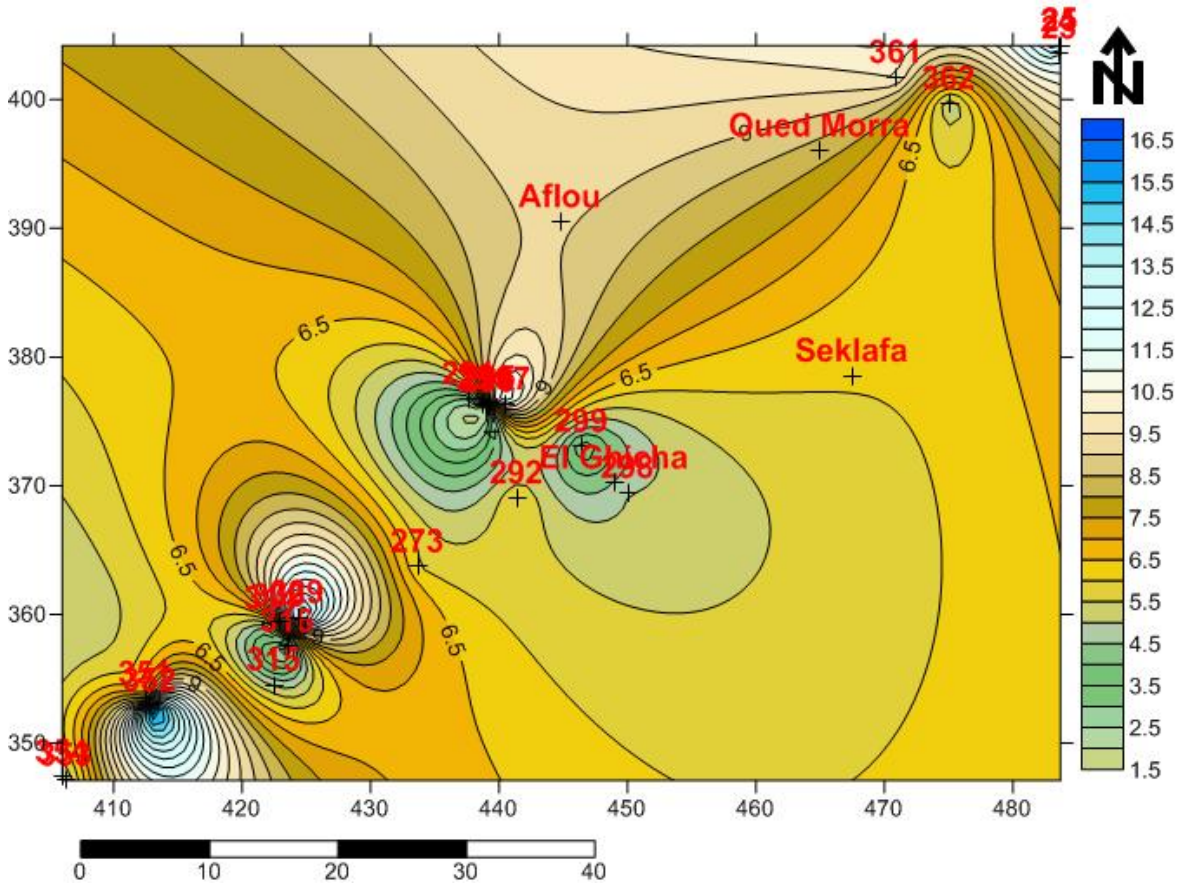


Fig.90 : Carte d'iso-concentration du potassium

L'interprétation de la carte d'iso-teneur du potassium, montre que les teneuresminimales (inferieur à 5mg/l)se localisent au centre du secteur d'étude(El Ghicha); en s'éloignant de ces formations on note une augmentation des teneurs du potassium au nordet au sud-ouest du secteur (existence des formations gypseuses).

b- Les anions :

b-1 Les Bicarbonates (HCO_3 ou hydrogénocarbonates) :

laprésence des bicarbonates dans les eaux souterraines est suite à l'équation suivante $CaCO_3 + H_2O + CO_2 = 2HCO_3 + Ca^{+2}$ qui montre la dissolution des formations carbonatées (Calcaire, dolomie) donc les bicarbonates sont le résultat d'unéquilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique». La solubilité des carbonates est principalement influencée par PCO_2, la température, la force ionique, la pression totale et le pH (Hoefs, 1969). dans les eaux de Madna, les bicarbonates varient de 62 mg/l(point296) à 350 mg/l (au point 329), elles sont supérieures aux seuils de 30mg/l fixé par les normes de potabilité des eaux.

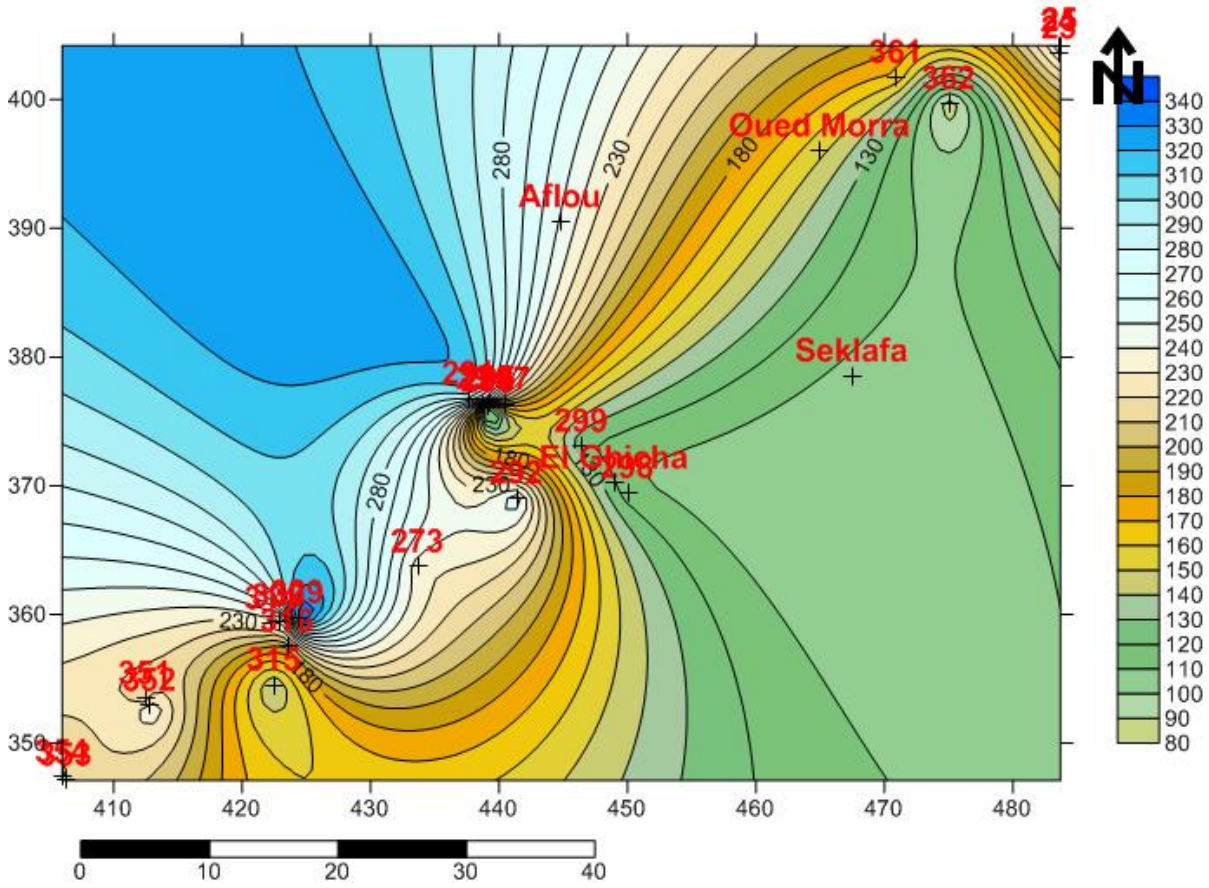


Fig.91 : Carte d'iso-concentration des bicarbonates

On remarque que les concentration minimales sont signalées au sud-ouest,au centre et au nord-est(Oued Morra,Seklafa,ElGhicha).

b-2 Les sulfates (SO_4^{-2})

Son origine est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation suivante : $CaSO_42H_2O = Ca^{+2} + SO_4^{-2} + 2H_2O$, l'OMS et l'UE, exigent des concentrations en sulfates inferieur à250mg/l pour une eau potable.

Les concentrations des sulfates obtenues des eaux étudiées sont très variables et oscillent entre 45 au point (299) et 1575 mg/l au point(329).

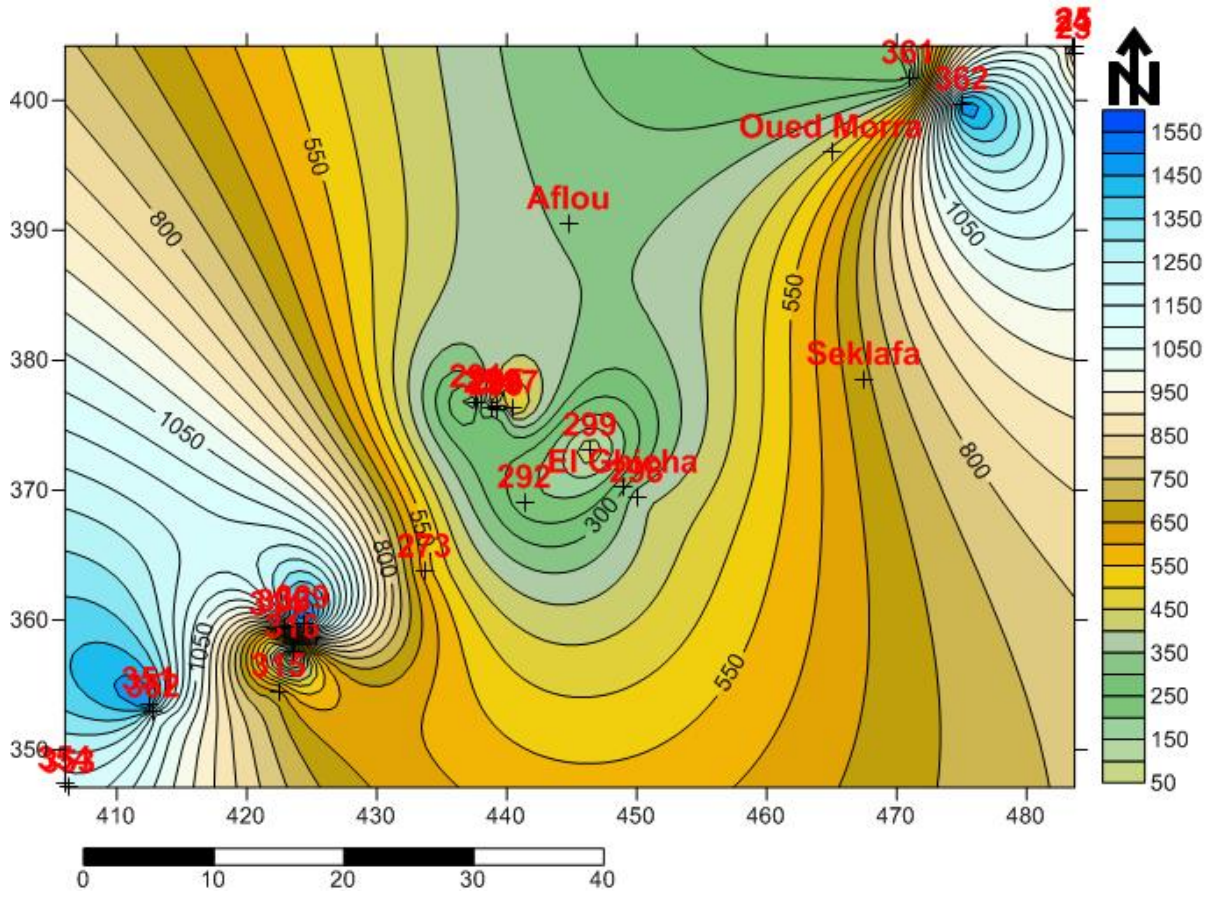


Fig.92 : Carte d'iso-concentration des sulfates

La concentration faible sont situé au centre du secteur d'étude (Aflou et El Ghicha), les plus forte sont concentré au sud-ouest et nord-est. L'origine est les argiles du moi-pliocène.

b-3Le Chlore (Cl^-)

Le chlore, est presque toujours présente dans l'eau avec des proportions variables, son origine est liée principalement à la dissolution de l'halite (Na Cl) et des évaporites qui sont présent particulièrement dans les intercalations marneuses ou peut être à l'utilisation des engrais agricoles. Dans les eaux du bassin versant de l'Oued M'Zi les teneurs en Chlore enregistrées, sont extrêmement variées. Le minimum de Cl^- est de 25mg/l au puits(316), un maximum de 1525 mg/l au puits(297). Les normes internationales des valeurs maximales admissibles (250 mg/l pour l'OMS et l'UE.). Dans les eaux échantillonnées, une moyenne de 282.60mg/l, le diagramme de répartition spatiale fait ressortir.

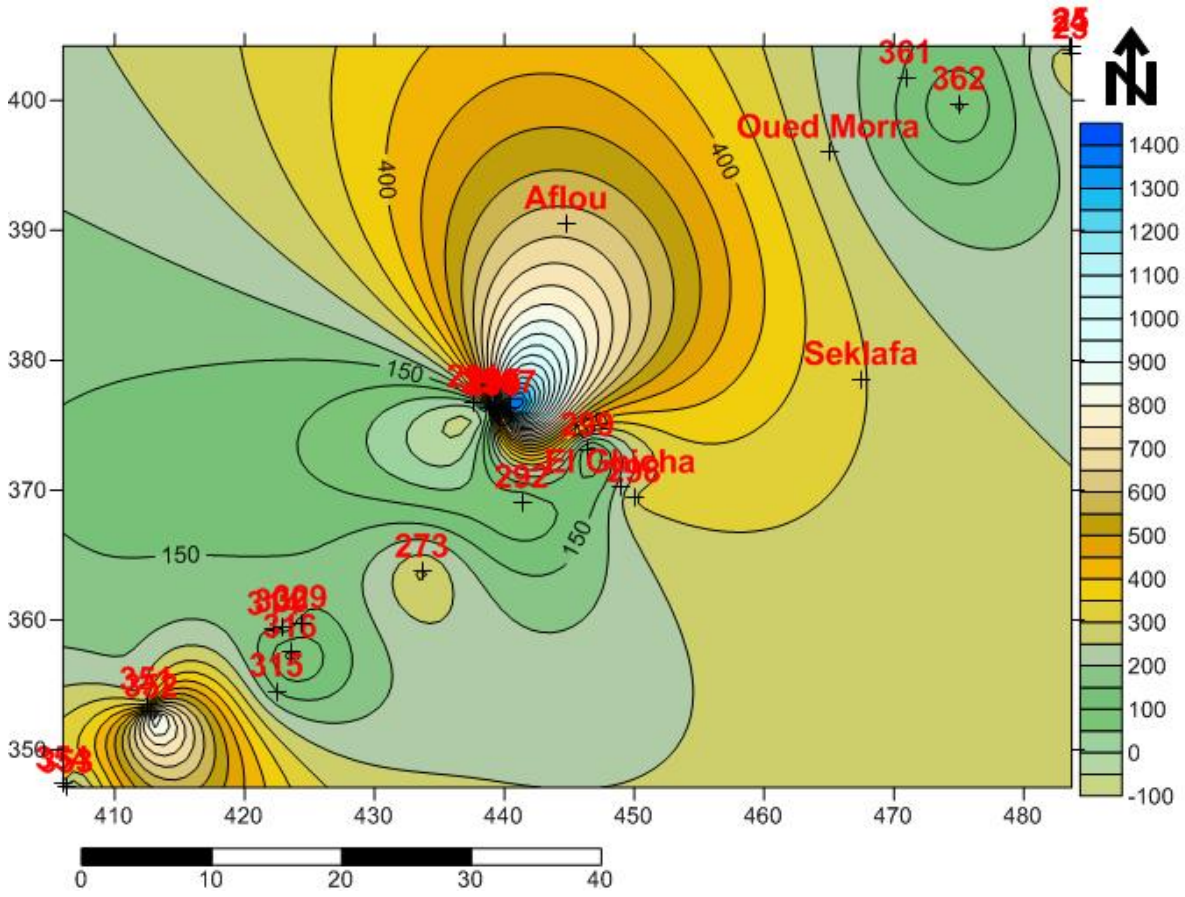


Fig.93 : Carte d'iso-concentration du Chlore

Les concentration supérieures à 400 mg/l, sont attribuées à l'influence des formations gypsifères et sont localisées au sud-ouest et au centre du secteur

- Le reste des points d'eaux analysés montrent des valeurs inférieures à 400mg/l.

b-4Les nitrates (NO^{-3}) :

Les nitrates représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau, ils proviennent naturellement des formations marno – gypseuses ou par effet humain en utilisant les engrais pour l'agriculture.

Pour les eaux du bassin versant de l'OuedM'Zi,la moyenne est de 22.69 mg/l avec des extrêmes de 0 et 84mg/l ont été enregistrés respectivement au points (351,354,24)les teneurs élevée peuvent être due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles de ces régions*(Fig.94)*.

Les teneurs en nitrates enregistrées dans les eauxdu secteur d'étude sont généralementinferieur à la teneur suggérée par les normes internationales (50mg/l) à l'exception de quatrepoints(puits :24,25,361,et 273) dont le taux de nitrate est élevé et ou on peut avoir affaire à un risque de pollution par les nitrates.

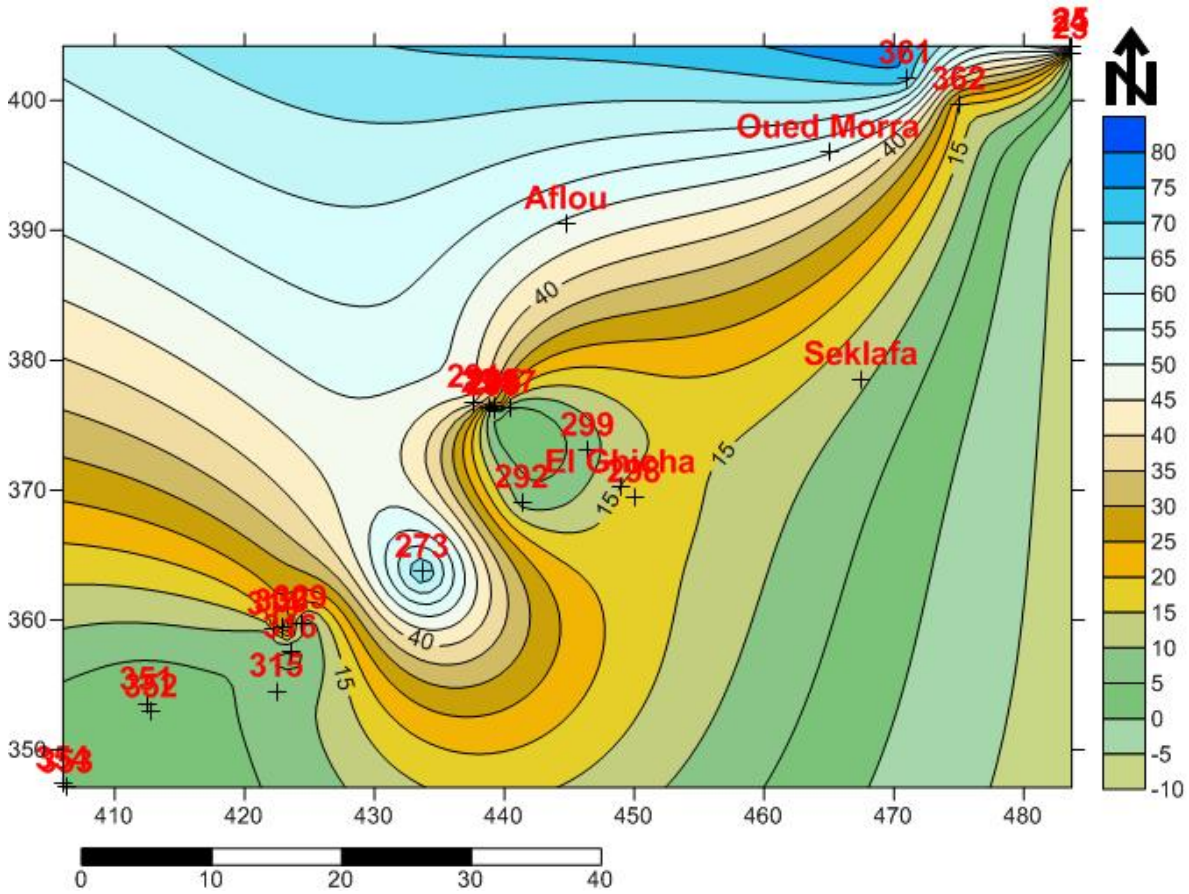


Fig.94 : Carte d'iso-concentration des Nitrates.

La concentration les plus élevées se localisent à l'ouest, et au nord et les plus faible à l'est (Seklafa) et au Sud ouest du secteur d'étude.

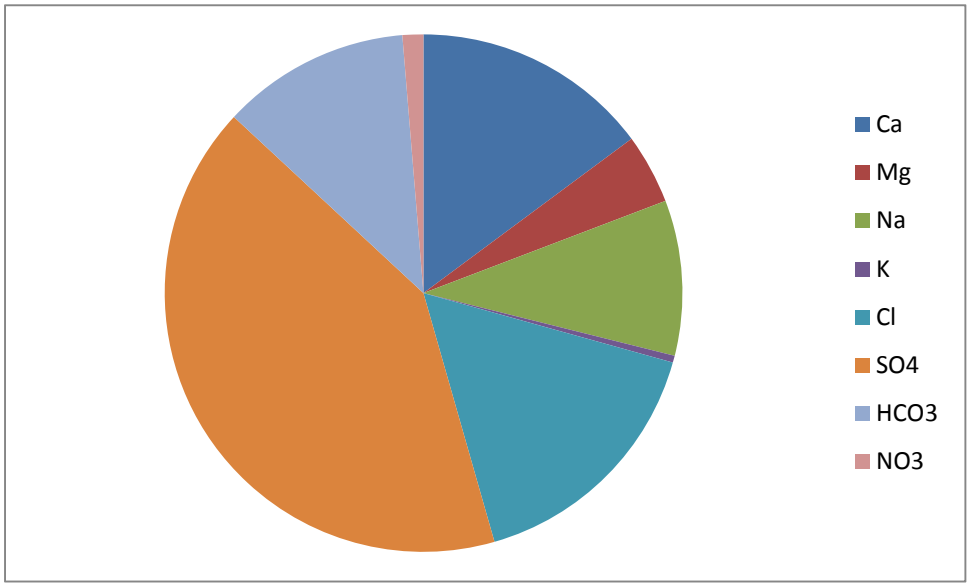


Fig.95 : Contribution des différents éléments chimiques.

V- LES FACIES CHIMIQUES :

Parmi les méthodes de classification des eaux naturelles on va élaborer la méthode de Schöeller-Berkaloffet la classification de Piper

Classification de Piper :

Pour effectuer cette classification, on va représenter les résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui est formé par un losange ABCD 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 à des ions de même signe). Ainsi dans chaque triangle, on obtient un point représentatif. Les deux parallèles supportant ces deux points s'entrecroisent en un seul point dans le losange ABCD, indiquant la nature du faciès chimique des eauxqui vont nous permettre de classer et comparer les eaux naturelles du bassin.

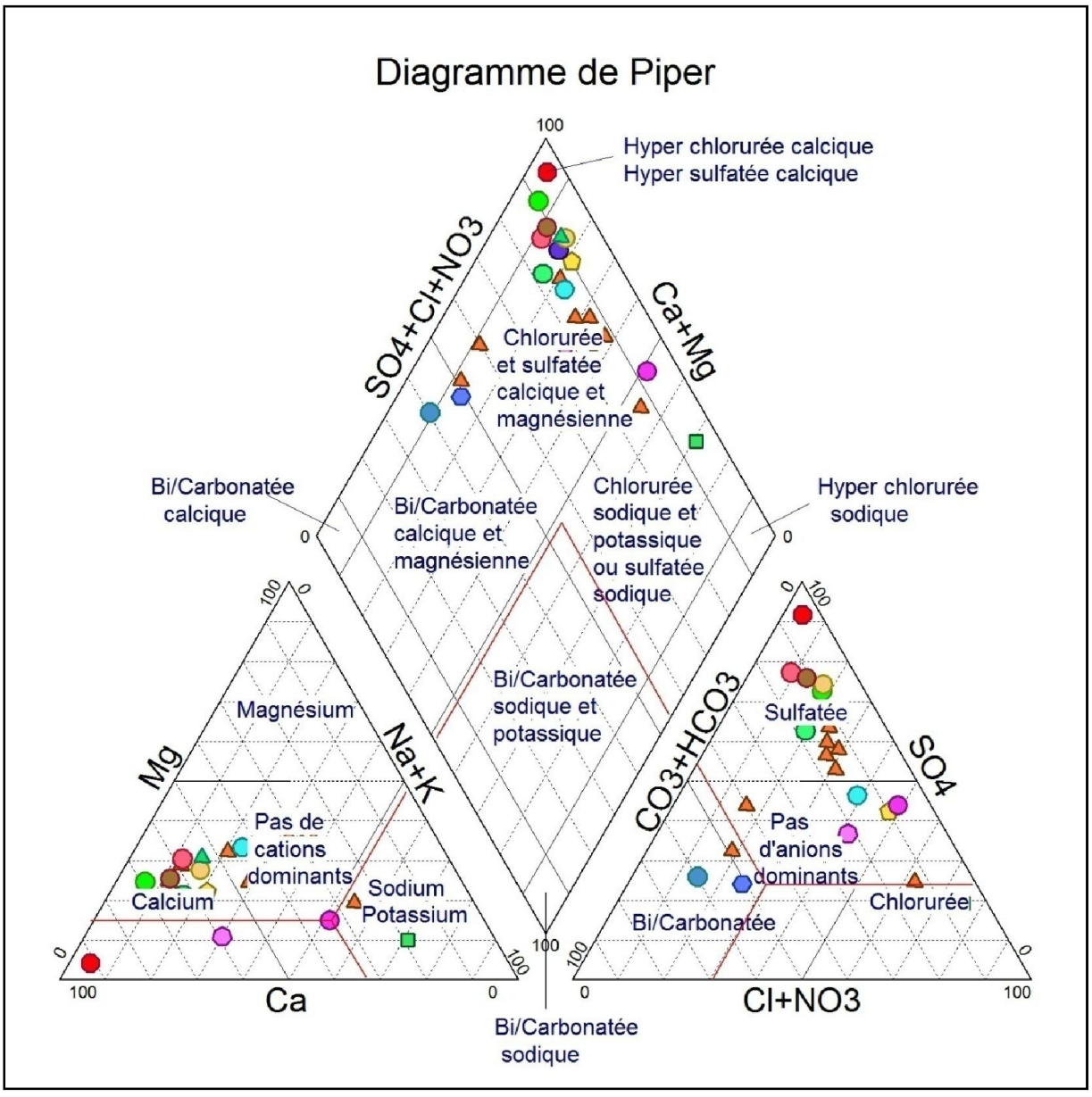


Fig.96: Diagramme triangulaire de Piper

La représentation graphique de Piper montre que les eaux prélevées dans les différents points d'eau de la nappe de Madnaappartiennent aux familles des eaux :

- Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (18échantillons).
- Sulfaté sodique(2échantillons).
- Bicarbonatée calcique et magnésienne (3échantillons).

En reportant les résultats des analyses chimiques des eaux de l'Oued M'Zi sur le diagramme triangulaire de piper *(Fig.103),* on remarque l'impact des formations aquifères sur la qualité des eaux.

Diagramme de Schöeller-Berkaloff :

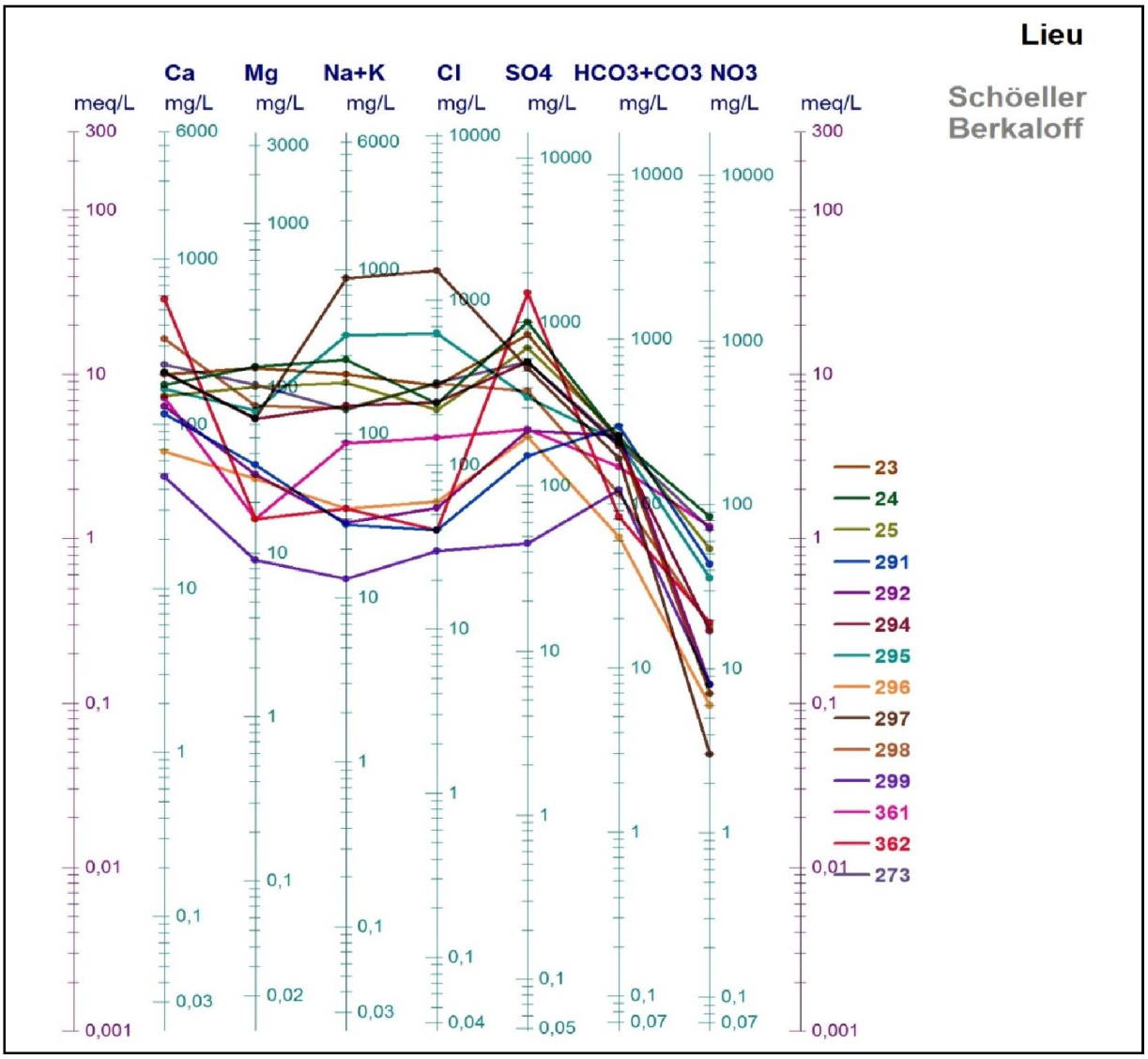


Fig.97: Diagramme de Schöeller-Berkaloff.

Le report des valeurs sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de distinguer que le faciès chimiques dominant est chloruré sulfatée sodique et potassique avec :
$Cl > So_4 > Hco_3$ et $Na+K > Ca > Mg$;ce que reflète la nature de l'encaissant (calcaire, grés, alluvions, argiles et gypse)

VI-POTABILITE DES EAUX (NORME ET QUALITE) :

Le butpréalable d'uneétude chimique des eaux souterraines est de voir sa potabilité pour la consommation humaine. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les services de la santé publique. Ont établies des normes de potabilités à ne pas dépasser pour que l'eau puisse être consommable,la méthode la plus utilisée est celle du degré hydrométrique**.**

a- Normes de potabilité selon le degré hydrométrique :

Le degré hydrométrique ou dureté de l'eau, correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium : DHT= rCa^{+2} +rMg^{+2} (en méq/l) où 1 méq/l = 5°F.

Tab.47: normes de potabilité des eaux

DHT (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Qualification	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

le tableau si dessous représente les 23 échantillons d'eaux analysés.

Tab.48 : Dureté etClassification des eaux selon la potabilité

Point d'eau	DHT(°F)	Dureté
23	104,73	Très dure
24	99,22	Très dure
25	78,98	Très dure
291	42,74	Dure
292	44,35	Dure
294	78,00	Très dure
295	70,79	Très dure
296	28,52	assez douce
297	79,16	Très dure
298	114,60	Très dure
299	15,70	modérément douce
361	42,33	Dure
362	150,33	Très dure
273	100,21	Très dure
314	90,55	Très dure
315	83,09	Très dure
316	24,10	assez douce
329	179,73	Très dure
330	159,48	Très dure
351	168,06	Très dure
352	134,15	Très dure
353	148,14	Très dure
354	164,17	Très dure

Tab. 49: Classification des eaux selon la potabilité

Qualification	DOUCE	Modérément douce	Assez douce	DURE	Très dure
nombre d'échantillons	0	1	2	3	17

Donc les eaux sont qualifiées en général :très dures selon ces échantillons.

b-APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION :

La composition chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles, parmi ces éléments

Le sodium qui sa présence dans l'eau d'irrigation cause un problème car le taux élevé du sodium agit sur la perméabilité etl'infiltration de l'eau la concentration en sodium pour une eau destiné à l'irrigation doit êtreinferieur à184 mg/l. pour déterminer La qualité de l'eau pour l'irrigation du bassin versant de l'Oued M'Zi. On a utilisé la méthode de Sodium Absorption Ratio (SAR).

Le SAR est défini comme étant une mesure du pouvoir de remplacement des ions Ca^{+2}, Mg^{+2} par Na+ dans les argiles et les colloïdes. Il peut être estimé par la relation de Richard (1954) :

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

les classes d'eaux d'irrigation sont

- Eau à faible danger d'alcalinisation des sols (eau excellente) : S.A.R<10
- Danger d'alcalinisation assez appréciable (eau bonne) : 10<S.A.R<18
- Danger d'alcalinisation important (Eau convenable) : 18<S.A.R<26
- Eau médiocre : S.A.R>26.

Ca^{+2}, Na^{+} et Mg^{+2} sont des concentrations exprimées en méq/l. Le Rapport d'Absorption du Sodium enregistré au niveau des eaux du bassin versant de l'Oued M'Zi est compris entre 0,28 et 13,52 avec une moyenne de 1,88*(**Tableau**)*. Tous les prélèvements ont un rapport d'adsorption de sodium inférieur à 10(sauf pour le point 297,SAR=13.52) donc il n'ya pas de risque d'accumulation du sodium dans le bassin versant de l'Oued M'Zi.

Tab. 50 : Valeurs du SAR pour les eaux d'irrigation

Point d'eau	r Ca (méq/l)	r Mg (méq/l)	rNa (méq/l)	SAR
23	10	10,95	9,57	2,96
24	8,65	11,19	11,65	3,70
25	7,4	8,40	8,39	2,99
291	5,75	2,80	1,09	0,53
292	6,4	2,47	1,00	0,47
294	10,25	5,35	6,22	2,23
295	8,15	6,01	16,74	6,29
296	3,4	2,30	1,43	0,85
297	10,4	5,43	38,04	13,52
298	16,5	6,42	6,00	1,77
299	2,4	0,74	0,43	0,35
361	7,15	1,32	3,39	1,65
362	28,75	1,32	1,30	0,34
273	11,4	8,64	5,87	1,85
314	13,5	4,61	3,39	1,13
315	12,75	3,87	3,26	1,13
316	3,75	1,07	0,43	0,28
329	23,6	12,35	4,35	1,03
330	23,5	8,40	1,96	0,49
351	22,5	11,11	6,65	1,62
352	18,6	8,23	27,83	7,60
353	21,15	8,48	3,70	0,96
354	20,9	11,93	6,00	1,48

VII.CONCLUSION :

La représentation graphique de Piper montre que la majorité des eaux prélevées dans les différents points d'eaux sont caractérisées par un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien (18échantillons),à l'exception de deuxéchantillons)qui sont sulfatés sodique et trois échantillons Bicarbonatée calcique et magnésienne.

Les points d'eau analysés ou la minéralisation est importante se localisent généralement au centre du bassin dans les formations du Jurassique ou l'eau circule en majeure partie dans des calcaires à intercalation de marnes gypseuses d' où l'influence des minéraux évaporitiques sur le chimisme de l'eau.

Les teneurs anormales en sulfates sont liés directement à la lithologie c'est-à-dire aux formations triasiques.

Le Rapport d'Adsorption du Sodium « SAR » à montré que tous les points d'eaux sont classés à faible danger d'alcalinisation des sols donc une eau excellente pour l'irrigation.

Pour la potabilité, les eaux de oued M'Zi sont généralement très

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de cette étude était d'effectuer une étude globale du bassin versant de l'Oued M'zi. Les données de divers paramètres (morphométriques, hydroclimatologiques, géologiques, hydrogéologiques, hydrodynamiques et hydrochimiques), nous ont permis de valoriser les ressources en eaux de la zones d'étude et d'apprécier ses qualités physico-chimiques.

La géologie du bassin versant se présente comme une synthèse des travaux réalisés par plusieurs auteurs à coté des observations de surface et de corrélation de nombreux forages.
Le bassin versant de l'Oued M'zi présente globalement deux ensembles séparés par la flexure sud atlasique et qui sont :
- Le domaine atlasique Composé par des unités anticlinales à cœur continentale intercalaire séparées par des aires synclinaux généralement de direction SW-NE ;

- Le domaine saharien à la lisière nord du Sahara, au niveau de la flexure, les couches crétacées plongent à la verticale pour réapparaitre au sud et forme le Chebka du Mzab.

La description litho stratigraphique montre que les terrains affleurant ont une nature silico-clastique ce qui favorise le développement des systèmes phréatique à plusieurs niveau : superficiel pour les importantes alluvions Quaternaire, et profond pour les terrains du continental intercalaire.

Sur le plan hydro climatologique, Le climat de la région d'étude qui a été déterminé par différentes méthodes, varie de semi-aride à hyper-aride, prédominé par des Influences sahariennes. Caractérisé par des précipitations faibles et irrégulières ,la moyenne annuelle sur l'ensemble du bassin versant est de 207 mm pour la période de (1990-2011) ;et des températures élevées surtouts pendant la période estivale pour la période (1990-2011), avec une moyenne de l'ordre de 18.87°C,et un maximum de 40,48 °C au mois de juillet à la station de Laghouat et une moyenne de 13.63°C et maximum de 24.75°C à la station d'Aflou pour la même période. Le régime thermique surtout à la station de Laghouat est caractérisé par des amplitudes annuelles assez fortes qui permettent d'accentuer le phénomène de l'évapotranspiration.
L'évapotranspiration réelle calculée par les différentes méthodes donne des valeurs comparables, celle calculée par la formule de Thornthwaite nous donne 152.33 mm pour la station de Laghouat et pour la station d'Aflou l'évapotranspiration réelle est de 274.53mm pour la même période l (1990-2011), Le ruissellement superficiel est de l'ordre de 1,09 mm soit 0,73 % des précipitations à Laghouat et 11.73mm soit 4.27 % à Aflou.

L'étude morphométrique : nous a permis de caractériser la forme, les altitudes moyennes et les altitudes les plus fréquentes de notre bassin. La superficie et le périmètre stylisé, a permis de quantifier des paramètres tels que : le coefficient de compacité, la densité de drainage etc….
L'étude hydrologique : reflète un régime d'écoulement irrégulier lié à l'irrégularité du régime pluvial aussi cette étude a permis d'apprécier l'évolution des lames d'eau écoulées au niveau de la stations de Seklafa .

L'étude hydrogéologique nous a permis de situer les niveaux perméables susceptibles de constituer des aquifères.
L'interprétation des résultats géophysiques obtenues montre une bonne corrélation avec la géologie.
L'étude géophysique montre aussi que les deux région (Aflou et Laghouat) possèdent des capacités en eaux souterraines :la région d'Aflou montre l'existence d'un aquifère multicouche (Valanginien-Barrémien) constitué par une alternance de couches assez épaisses des grés, argiles et grés argileux et

un aquifère Albo-Aptien constitué de calcaires et grés d'épaisseur appréciable localisée au Nord-Est d' Aflou et les grands synclinaux des grés fissurés du Barrémien-Albien constituent les aquifères les plus important du Djebel Amour .
A Aflou ,la carte piézométrique montre des zones dépressives au niveau de cette ville,et une crête piézométrique au Nord d'Aflou.

La piézométrie au niveau de la vallée de Oued M'zi montre un écoulement principal vers le sud- est avec un gradient hydraulique de 0,28 au pont de Laghouat et 0,03 à Ksar El Hirane. La carte piezometrique de Ksar El Hirane montre que la nappe alimente Oued M'zi sur l'une de ses rives ,ce debit souterrain affluant est fourni par la nappe des gres Barremien.
La transmissivité varie de 8,75. 10^{-4} m2/s à 3,6 .10^{-3} m2/s et le coefficient d'emmagasinement (estimé) de 0,33. 10-8 à 0,4. 10-6 indiquant un système captif en profondeur.
L'étude géophysique de la région d'Aflou précise l'existence des aquifères : (Valanginien- Barrémien) constitué par une alternance d'épaisses couches des grés, argiles et grés argileux
et l'aquifère Albo-Aptien de calcaires et grés, au Nord-Est d' Aflou et au niveau de la vallée de l'oued M'zi.l'aquifère est formé par des alluvions argilo-sableuses,des galets emballés dans du sables qui s'étendent sur la dépression de la plaine de Ksar El Hirane-Kabeg.

La carte de potentialité montre que le potentiel hydrogéologique important (classe forte) se localise à l'ouest du bassin versant.

L'étude hydrochimique des eaux nous a permis d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux notons que le faciès dominant est chloruré et sulfaté calcique et magnésien avec d'autres sous facies : sulfatés sodique et Bicarbonaté calcique et magnésien selon la nature de l'encaissant et les formations traversées.
L'examen des cartes en isoteneurs montrent que la composition des eaux est influencée par la nature lithologique des différentes formations en particulier l'influence des minéraux évaporitiques largement disséminés au niveau des formations du Jurassique.

Le Rapport d'Adsorption du Sodium « SAR » à montré que tous les points d'eaux sont classés à faible danger d'alcalinisation des sols donc une eau excellente pour l'irrigation.

Pour la potabilité, les eaux de oued M'Zi sont généralement très dure.

LISTE DES FIGURES

Fig.1 carte géographique générale de l'Atlas saharien 1

Fig.2 Situation géographique du bassin versant de Oued M'zi 2

Fig.3 Carte du bassin versant d'Oued Djeddi et ses affluents (Ould Baba, 2008). 3

Fig.4 Lithostratigraphie du Jurrassique du Djebel Amour (Abed, 1982) 4

Fig.5 Colonne stratigraphique de l'Atlas Saharien (Guillemot et al.1974 non publiée) 7

Fig.6 Cadre structural du Nord de l'Algérie, montrant les principales structures de l'Atlas saharien (d'après Wec Algérie, 2007) 10

Fig.7 Coupe géologique a travers la région de Laghouat (in Hannachi, 1981). 16

Fig.8 cadre structurale de la région de Laghouat. (notice explicative de la carte de Laghouat). 18

Fig.9 Carte de situation des stations pluviométriques 19

Fig.10 Carte des précipitations en Algérie situation des Dubief 1960 20

Fig.11 Précipitations moyennes mensuelles pour les 09 stations (1990-2011) 22

Fig.12 l'évolution des Précipitations annuelles pour toutes les stations ,période (1990-2011) 25

Fig.13 Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles pour toutes les stations ,période (1990-2011) 26

Fig.14 Ajustement graphique des précipitations moyennes annuelles à la loi normale 29-31

Fig.15 Variation des températures moyennes monsuelles à la station d'Aflou et Laghouat (1913-1938) 33

Fig.16 Variation des températures moyennes mensuelles à la station d'Aflou et Laghouat (1913-1938) 34

Fig.17 Variation mensuelle de température à la station d'Aflou 35

Fig.18 courbes des températures station de Laghouat (1990-2011). 36

Fig.19 L'humidité dans la région de Laghouat période (1979 - 1980) et (1990-2011). 37

Fig.20 Fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984). 38

Fig.21 Diagramme ombro-thermique , station de Laghouat 38

Fig.22 Diagramme ombro-thermique de la station d'Aflou. 39

Fig.23 Diagramme d'Euverte station de Laghouat 39

Fig.24 Diagramme d'Euverte station d'Aflou 40

Fig.25 Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne 41

Fig.26 Représentation de la station de Laghouat sur le Climagramme d'Emberger. 42

Fig.27 La carte mondiale des terres arides Source: UNEP/GRID 1991 dans WRI. 43

Fig.28 Evaporation moyenne mensuelle Laghouat (1973-1980), Aflou (1999-2011). 44

Fig.29 ETP moyenne cumulée Penman et Turc (1990-2011) Laghouat (source Bneder 2012 45

Fig.30 Localisation de la station de Laghouat et Aflou sur l'abaque de Wundt 47

Fig.31 Projection des stations pluviométriques sur l'abaque de VERDEIL 48

Fig.32 "Graphe représentant le bilan hydrique par la méthode de THORNWAITEStation de Laghouat (1990-2011) 50

Fig.33 "Graphe représentant le bilan hydrique par la méthode de THORNWAITE Station d'Aflou (1990-2011) 51

Fig.34 Rectangle équivalent du bassin versant de Oued M'zi. 54

Fig.35 Carte des bassins versants de l'Algérie du Nord (ABH, 2012). 55

Fig.36 Profil de l'Oued Djeddi (Ouald Baba, 2012). 56

Fig.37 Réseau hydrographique d'Oued M'zi 56

Fig.38 Classification du chevelu hydrographique du bassin versant de Oued M'zi. 57

Fig.39 Droite représentative du nombre de Thalwegs en fonction de l'ordre. 59

Fig.40 Le rapport des longueurs. 62

Fig.41 Courbe hypsométrique du bassin versant de Oued M'zi. 63

Fig.42 Carte hypsométrique du bassin versant d'Oued M' zi 63

Fig.43 Histogramme des fréquences altimétriques 64

Fig.44 Profil en long de l'Oued M'zi. 66

Fig.45 Carte des pentes du bassin versant de l'Oued M'zi 67

Fig.46 Ajustement graphique à la loi de Gumbel des Débits max annuels 72

Fig.47 Histogramme des débits moyens mensuels Oued Seklafa (1971-1986) 73

Fig.48 Débits minima mensuels Oued Seklafa (1975-1986) 74

Fig.49 Débits maxima mensuels Oued Seklafa (1975-1986) 74

Fig.50 Coefficient mensuel du débit 75

Fig.51 Variation saisonniere des débits moyens 76

Fig.52 COURBE DE TARAGE 76

Fig.53 Crue du 3 octobre 1976 : 77

Fig.54 Crue du 7 septembre 1980 77

Fig.55 Méthode de Thiessen 79

Fig.56 Schéma structurale de la zone d'étude 89

Fig.57 Conditions d'émergence de la source d'Ain Tlélis (0,5 l/s) et d'Ain Madhi (4 à 5 l/s 91

Fig.58 Forage de coordonnées : X : 473,22 y : 358,08 Z : 933 m. (in Stamboul.Med, 2012). 92

Fig.59 Fig :Forage(X:472,82 Y : 357,88 Z : 886 m). (in, Stamboul2012). 93

Fig. 63: Forage captant le Portlandien sommital 94

Fig .61 Conditions d'émergence de la source d'Ain El M'zabi. 96

Fig. 65 : Le forage F2. 97

Fig. 66 : Le forage F4 98

Fig. 67 : Courbe de descente forage (F4) 100

Fig. 68: Courbe de descente forage (F2). 101

Fig. 69 : Courbe de descente du forage 101

Fig. 70 : Courbe de descente du forage (F2) 101

Fig.71 Carte piézométrique de la région de Hamda. . 102

Fig.72: coupe lithologique et technique du forage Fh1 Hamda 103

Fig.73 Carte piézométrique de la région d'Aflou 104

Fig. 74 : Courbe de descente du forage AF III 105

Fig. 75 : Courbe de remonté du forage AF III 105

Fig.76 Schéma synoptique montrant les cartes intervenants à la réalisation 107

Fig.77 Carte des pentes de la région d'étude. 108

Fig.78 Carte de perméabilité de la région d'étude 109

Fig.79 Carte de la densité de drainage de la région d'étude 110

Fig.80 Carte de la densité de fracturation de la région d'étude 111

Fig.81 Carte des potentialités des eaux souterraines du Bassin versant de Oued M'Zi. 113

Fig.82 Approche graphique de l'ACP des paramètres physico- Chimiques dans l'eau en selon le plan axe1 x axe2. 117

Fig.83 Le Couple Ca – So4 118

Fig.84 Le Couple Cl – Na 119

Fig.85 Le Couple Rs – Conductivité électrique 119

Fig.86 Le Couple Na – Conductivité électrique 119

Fig.87 Carte d'iso-concentration du calcium 121

Fig.88 Carte d'iso-concentration du magnésium 122

Fig.89 Carte d'iso-concentration du sodium 123

Fig.90 Carte d'iso-concentration du potassium 124

Fig.91 Carte d'iso-concentration des bicarbonates 125

Fig.92 Carte d'iso-concentration des sulfates 126

Fig.93Carte d'iso-concentration du Chlore 127

Fig.94Carte d'iso-concentration des Nitrates 128

Fig.95contribution des différents éléments chimiques . 128

Fig.96 Diagramme triangulaire de Piper 129

Fig.97 Diagramme de Schöeller-Berkaloff. 130

Tab. 1	coordonnées des stations pluviométriques.	19
Tab. 2	Précipitations moyennes mensuelles (1990-2011)	21
Tab. 3	Valeurs des précipitations annuelles des neuf stations (1990-2011).	24
Tab. 4	Le coefficient pluviométrique	28
Tab. 5	tableau représentant les années déficitaires et excédentaires	29
Tab. 6	les paramètres statistiques	30
Tab. 7	Valeurs de x^2 tabulé et x^2 calculé des neuf stations	33
Tab. 8	Précipitations saisonnières pour la période (1990/2011)	34
Tab. 9	Températures moyennes mensuelles et annuelles Aflou (1990-2011).	36
Tab. 10	Tableau de l'humidité relative de la station de Laghouat.	38
Tab. 11	Fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984)	39
Tab. 12	Fréquence des différentes directions de vents station Ain Madhi (1973-1984).	39
Tab. 13	Moyennes mensuelles de l'évaporation Lagouat (1973-1980) et Aflou (1999-2011).	45
Tab. 14	ETP calculée par la méthode de Thornthwaite à la station de Laghouat (1990-2011).	47
Tab. 15	Calcul de l'ETP selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Aflou. Période(1990-2011).	48
Tab. 16	Evapotranspiration réelle par la méthode de Turc	51
Tab. 17	Bilan hydrique moyen (1990-2011) à la station de Laghouat, par la méthode de Thornthwaite	52
Tab. 18	ETR de la station de Laghouat par différentes méthodes	53
Tab. 19	Bilan hydrique moyen (1990-2011) à la station d'Aflou, par la méthode de Thornthwaite.	51
Tab. 20	Ruissellement superficiel pour la station de Laghouat (1990-2011)	54
Tab. 21	ETR de la station de Laghouat par différentes méthodes	55
Tab. 22	ETR de la station d'Aflou par différentes méthodes	55
Tab. 23	Calcul du rapport de confluence	60
Tab. 24	Calcul du Rapport des Longueurs	61

Tab. 25 Répartition altimétrique du BV 66

Tab. 26 Paramètre de calcul de l'indice du pente de Roche Ip. 69

Tab. 27 Classification d'ORSTOM. 69

Tab. 28 caractéristique de la station hydrométrique de SEKLAFA 75

Tab. 29 Débits max (1982-2007) 75

Tab. 30 Déterminations des débits décennale, centenaire et millénaire 76

Tab. 31 Calcul du *x*2 76

Tab. 32 Débits moyens annuels 77

Tab. 33 Déterminations des débits décennale, centenaire et millénaire 78

Tab. 34 Débits moyens mensuels 79

Tab. 35 Débits minima mensuels (1975-1986). 80

Tab. 36Débits maxima mensuels (1975-1986). 81

Tab. 37valeurs des coefficients mensuels des débits. 81

Tab. 38 variation saisonnière des débits 82

Tab. 39 Méthode de la moyenne arithmétique 85

Tab. 40 Volume d'eau par la méthode de Theissen. 86

Tab. 41 Volume d'eau par la méthode des isohyètes 87

Tab. 42 log hydrogéologique synthétique (in Chenafi 2013). 90

Tab. 43 Caractéristiques hydrodynamique (région de Ain Madhi). 100

Tab. 44 Classification des critères de Potentialité aquifère 112

Tab. 45 Paramètres physico-chimiques. 116

Tab. 46 Matrice de corrélation des éléments physico-chimiques. 118

Tab. 47 normes de potabilité des eaux 131

Tab. 48 Dureté et Classification des eaux selon la potabilité 131

Tab. 49 Classification des eaux selon la potabilité 132

Tab. 50 Valeurs du SAR pour les eaux d'irrigation 133

A.N.R.H : Données climatologiques des stations de Oued M'zi.

.

A.N.R.H : Données hydrométriques de Oued Seklafa .

Abed S. (1982). Litho stratigraphie et sédimentologie du Jurassique moyen et supérieur du Dj. Amour (Atlas saharien). Thèse 3ème cycle, Univ. de Pau. 242 p.

Ait Ouali et *al,(* 1982) :Etude des stades dia génétiques des séries carbonatées du Jurassiqe terminal des monts des Aurès et des Ouled Nail.

Aricha M et Si Merabet M.A (1990) : Etude hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Morra (Atlas Saharien Central), daira d'Aflou. Mém. d'ing. IST (Unversité d'Oran), 245 p.

B.N.E.H : Alger, barrage de Seklafa dans la wilaya de Laghouat, Etude de faisabilité. C - Hydrogéologie2, Annexes du rapport. Secrétariat d' Etat à l'Hydraulique, Alger.

Boukhachba S. et Ouali B.E (1992) : Etude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued El - Mallah (Djebel Amour), Atlas Saharien central. Mém. ding. IST Caractérisation du bassin d'alimentation des sources de l'Oued Touil 4eme séminaire des sciences de la terre, Alger 5/6/7 Juin 1982.

Castany G. (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod Edit., 237 p.

Chaumont M., Paquin C., (1971) : Carte pluviométrique de l'Algerie au 1/ 500.000. Moyennes 1913-1963.

Chaumont M: (1968) : Les influences des régimes climatiques en France, en Espagne et en Afrique du Nord et leurs conséquences hydrologiques. Thèse de Doctorat d'Etat Es. Sc. Nat. Fac.Sc. Paris.

Chennafi A (2013) : Cartograpie et protection calitative des eaux soterraines en zones arides,cas de Milok,Metlili Atlas saarien central(Lagouat,Algerie) mém. de Magister, IST (Oran), 185p.

Cornet A. (1952) : Carte géologique détaillée au 1 / 200.000, feuille de Geryville (El-Bayadh). Publ. Serv. carte géol. Algérie, feuille N° 66.

Cornet A. (1952) : L'Atlas Saharien Sud oranais. Publ.XIX congr. géol.Intern. Alger.

Dubief J. (1953) : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Direction du Service de la Colonisation et de l'Hydraulique, Sc des études scientifiques, Clairbois, Birmandreis (Alger), 457 p.

DUBIEF J. (1963) : Le climat du Sahara. Mém. Hors série. Ins. Rech. Sahar, 2275p.

Dubief J.(1960) : Le climat du Sahara, tome I , Univ. d'Alger. Inst. Rech. Sahar., publ. C.N.R.S - paris .

E.N.A.G.E.O et Hydraulique de Laghouat (2002) : Etude géophysique du synclinal de Sidi Ali Tidjani (Tadjemout).

Flandrin J. (1952) : Les chaînes Atlasiques et la bordure Nord du Sahara

G. de Marsily (.2004) : Cours d'hydrogéologie. Université P. et M. Curie.

Guenoun, K .(2015) : Etude hydrochimique du synclina d'Aflou, mém. de Magister.

Guillemot J et Yapaudjian(1991) : Notice explicative de la carte geologique de Laghouat au 1/200000,serv.géol.de l'Algerie.

Hannachi A. (1981) : Relation entre aquifères profonds et superficiels. Hydrogéologie de la vallée de l'Oued M'Zi, à l'Est de Laghouat, thèse 3 ième cycle, Grenoble, 227 p.

Herrekat M.(1986) : La sedimentation de auts niveaux marrins d Cretace superieur de l'Atlas Saarien orientale et des Aures :Stratigrapie seqentielle ,analyse quantitatives des bicsenoses,evolution paleogeograpiques et cotexte geodynamiqe .Tese, Doct,Univ Alger

Kamen M. et Isri R (1989) : Etude hydrogéologique de la région du Djebel Milok (Wilaya de Laghouat) et du forage Hamda. Mém. d'ing, IST (Oran), 128 p.

Kazi-Tani.(1986) : Evolution geodynamique de la bordure africaine :Le domaine intraplaque Nord Algerien. Approche megaséquenielle. Thèse doct. Es, Sc, Univ. De Pau, 871p.

Mahboubi M. (1983) : Etude géologique du crétace post Aptient et du Tertiaire Continental de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas Saharien Central). Tèse 3em cycle, IST, Univ. d'Oran. 161p.

Mansour H. (2007) : Hydrogéologie du continental intercalaire et du complexe terminal en domaine aride.Exemple des monts des ksour (Atlas saharien occidental) Tèse doct d'etat, Univ. d'Oran. 445p.

O.M.S (1972) : Normes internationales pour l'eau de boisson. Genève.
Ould Baba, (2012).

Remenieras G. (1980) : L'hydrologie de l'ingénieur. Edit. Eyrolles.
Ritter E. (1902) : Le Djebel Amour et les monts des Ouled Nail. Bult. N° 43, publ. sc. géol. de l'Algerie.
Roche M(1963) :Hydrologie de surface .O.R.S.T.O.M .Edit.Gautier Villars

Roche M.A. (1973) : Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara Nord Occidentale). Publ. serv. géol. Alger, bull. N° 43, 91 p et edit. CNRS, Paris, publ. N°18.
Savané, (1997); saley, (2003).
Sonatrach et Schlumberger (2007). La géologie pétrolière de l'Algérie. In : WEC Algérie 2007, pp.2-93.

SRTM Données MNT, site internet : ttp://e0srp01.ecs.nasa.gov/srtm/version2/srtm3/Africa.

Stamboul M. (1983) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la haute vallée du Sebgag (Djebel Amour, Atlas Saharien Central, Algérie). Thèse de magister, IST (Oran).

Stamboul M. (1984) : Essai d'analyse corrélatoires et spectrales des sources de Sebgag et comparaison avec les sources Aliou, Bajet et Fontestrobes, colloque international L'eau clé de développement du Maghreb, Oran Oct 1984.

Stamboul M. (1986) : Hydrologie de la haute vallée de l'Oued Sebgag, Séminaire des sciences de la terre, Alger Dec 1986.

Stamboul M. (2005) : Contribution à l'étude hydrogéologique de l'Atlas Saharien. L'ensemple du Djebel Amour Institut des sciences de la terre et d'aménagement du territoire, Université d'Oran.

Stamboul M. et Rouquet L. (1984) : Résultats préliminaires sur l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Sebgag, Djebel Amour, Atlas Saharien central, Algérie.

Stamboul M^{ed}. (2013) : Contribution à l'etude hydrogeologique de la cuvette de« SIDI ALI TIDJANI » (MONTS DU DJEBEL AMOUR – Atlas saharien centrale) Institut des sciences de la terre et d'aménagement du territoire, Université d'Oran.

Thornthwait CW.(1948): An approche toward a rational classification of climate.geograpical Review,pp 55-94

Turc L.(1961): Evaluation des besoins en eau d'irrigation,evapotranspiration potentiel.Annagronomiqe,Vol.12N°1 I.N.R.A.

Verdeil (1989) :Abaque pour le calcul du deficit d'ecoulement en Algerie.Seminnaire des science de la terre.Alger

Verdeil P(1961) :utilisation pratiqe de la methode de Tornthwait dans l'etude d bilan hydrique des bassins.Congrés National d'Hydrogeologie.-Journées H.SHOLLER-Bordeaux.13p,6Tableaux.

Wildi W. (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. - Rev. Géol. dyn. Géogr. phys. vol. 24/3, 201-297.