

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
جامعة مولود معمري
+٠٧٠:٤٢٤ ٤:١١:٧ •+ ٤.٤.٠
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉOLOGIQUES



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Filière : Géologie

Option : Hydrogéologie

Par : AYADI Abdelwahab
et
BENBAIT Ismail

Thème :

**Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de l'Oued
M'zi (Laghouat)**

Soutenu publiquement le 02 /10/ 2022 devant le Jury composé de :

M. HAMIS A.
M. KARDACHE R.
M. ZAZA S.
M. DROUCHE A.

M.C.B. (UMMTO)
M.C.A. (UMMTO)
Ing. (DRE, Laghouat)
M.C.B. (UMMTO)

Président
Promoteur
Co-promoteur
Examineur

Remerciements

Au terme de ce travail, et avant tout, nous remercions Allah qui nous a donné la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.

*Nous remercions **M. KARDACHE R.** pour tout son dévouement lors de notre encadrement, pour tout, son aide et ses précieux conseils et ses encouragements incessants, et surtout pour sa patience et sa compréhension.*

*Nous remercions les membres de jury **M. DROUCHE A.** et **M. HAMIS A.** d'avoir accepté de lire et juger ce travail.*

*Nous remercions également **M. ZAZA S.** qui nous a aidé dans notre humble travail.*

*Nous remercions **M. HENICHE A.** et ses collègues pour nous avoir mis à notre disposition les données nécessaires à la réalisation de notre travail.*

A tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes parents,
Pour leurs affections, pour les valeurs qu'ils m'ont
Inculquées
Et leurs accompagnements tout au long de mes
Études, pour mon frère et ma sœur
Leurs patiences, leurs soutiens quotidiens et leurs amours
Je leurs souhaite du bonheur.
Pour les fillettes Sirine et Maroua je vous aime.
À tous les membres de ma famille sans exception.
À tous mes amis
Et à mon binôme benbait Ismail et sa famille*

Wa Hab A.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail
A mes parents,
Pour leurs affections, pour les valeurs qu'ils m'ont
Inculquées
Et leurs accompagnements tout au long de mes
études,
Pour mes frères
Leurs patiences, leurs soutiens quotidiens et leurs
amours.
A tous les membres de ma famille sans exception ;
Et à mon binôme wahab ayadi et sa famille*

Ismail B.

RESUME :

Les nappes souterraines sont la source principale des eaux dans l'atlas Saharien, Le climat de notre région d'étude (Bassin versant de l'oued M'zi) aride à semi-aride avec des faibles précipitations, et des températures très élevées qui sont à l'origine de la rareté des eaux superficielles, d'où la nécessité d'exploiter les eaux des nappes souterraines. Notre travail consiste à l'étude hydrogéologique des aquifères du barrémien jusqu'au mio-plio-quadernaire. Une campagne de terrain a été effectuée pour déterminer les niveaux piézométriques et les sens d'écoulements de ces nappes, La réalisation et l'étude de la carte piézométrique montre que le sens d'écoulement est N-E et S-W. L'étude hydro chimique montre des bonnes caractéristiques, les eaux souterraines sont de plusieurs faciès chimiques (07), le plus dominant est le faciès Sulfaté calcique, secondairement Bicarbonaté calcique.

Mots-Clés : Bassin versant, Hydrogéologie, Aquifère, Barrémien, Quadernaire, Faciès chimique, Piézométrie, sens d'écoulement, Laghouat

ABSTRACT :

Groundwater is the main source of water in the Saharan atlas, the climate of our study area (Wadi M'zi watershed) arid to semi-arid with low rainfall, and very high temperatures is the reason for the scarcity of surface water, hence the need to exploit the water of groundwater. Our work consists in the hydrogeological study of the aquifers of the Barremian to me-plio-quadernary, a field company was carried out to determine the piezometric levels and the directions of flows of these aquifers, the realization and the study of the piezometric map shows that the direction of flow is N-E and S-W. The hydrochemical study shows good characteristics, the water table is composed of seven (07) chemical faciès the most dominant faciès Sulfate calcic, and secondarily Bicarbonate calcic.

Keywords : Watershed, Hydrogology, Aquifer, Barremian, Quadernary, chemical faciès, piezometry, flow direction, Laghouat

Liste des abréviations :

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrique.

AEP : Alimentation en eau potable.

BV : Bassin versant.

CE : Conductivité électrique.

CI : Continental Intercalaire.

CT : Complexe Terminal.

DRE : Direction des ressources en eau.

ETP : Evapotranspiration potentiel.

ETR : Evapotranspiration réelle.

Evap : Evaporation en (mm).

Hr : l'humidité relative (%).

Ins : Insolation en heure (h).

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

P : Précipitation en (mm).

P : Périmètre (Km).

PH : Potentiel d'Hydrogène.

S : Surface (Km²).

SAR : Sodium Absorption Ratio.

SASS : Système aquifère du sahara septentrional.

T°C : Température en (°C).

TH : Titre Hydrotimétrique.

V : Vitesse des vents en m/s.

Table des matières :

Remerciements	
Dédicaces	
Introduction générale :	1
CHAPITRE 1 : L'ETUDE DU BASSIN VERSANT	
1 Situation géographique et administrative :	5
2 Cadre socio-économique :	6
3 Réseau hydrographique :	7
4 Climat et végétation :	7
5 Présentation de la zone d'étude :	8
6 Limites du bassin versant de l'oued M'Zi :	8
7 Paramètres morpho métriques du B.V de l'oued M'Zi :	9
7.1 Paramètres géométriques : aire et périmètre	9
7.2 Les caractéristiques de forme :	10
7.2.1 Indice de compacité (de gravelius) :	10
7.2.2 Rectangle équivalent :	10
7.3 Etude de relief :	12
7.3.1 Hypsométrie du bassin :	12
7.3.2 Caractéristiques de courbe :	12
7.3.3 Les indices de pente :	13
7.3.4 Dénivelée spécifique :	14
7.3.5 Etude de profil en long :	15
8 Caractéristiques de réseau hydrographique :	15
8.1 Classification des talwegs :	15
8.2 Rapport de confluence (RC) :	16
8.3 Rapport de longueur (Rl) :	17
8.4 Densité de drainage :	18
8.5 Densité des thalwegs élémentaires :	18
8.6 Coefficients de torrentialité :	19
8.7 Temps de concentration :	19
8.8 Vitesse d'écoulement :	20
9 Géomorphologie :	20
9.1 Morphologie :	20
9.2 Topographie :	20

10	Récapitulatif de principale caractéristique morphométriques du bassin versant :	21
11	Conclusion :	22
CHAPITRE 2 : CADRE GEOLOGIQUE		
1	Cadre Géologie générale :	24
1.1	La chaîne Alpine :	25
1.2	Les Hautes Plaines :	25
1.3	L'Atlas Saharien :	25
1.4	La plateforme saharienne :	26
2	Cadre structural de la région de Laghouat :	26
2.1	Le domaine atlasique dans la région de Laghouat :	27
2.2	Le domaine saharien dans Laghouat :	27
3	Stratigraphie du l'atlas saharien :	28
3.1	Trias :	28
3.2	Jurassique :	29
3.2.1	Série d' El Bayadh :	29
3.2.2	La série du Brézina 900m (Kimméridgien Inférieur) :	30
3.2.3	La série de Laghouat 900m (Kimméridgien Supérieur) :	31
3.2.4	Série d' Ain Rich, 250 m Portlandien – Berriasien :	31
3.3	Crétacé Inférieur :	33
3.3.1	Barrémien :	33
3.3.2	L'Albien :	33
3.4	Crétacé Supérieur :	34
3.4.1	Le Cénomaniens :	35
3.4.2	Le Turonien :	35
3.4.3	Le Sénonien :	36
3.5	Tertiaire :	36
3.5.1	L'Eocène :	37
3.5.2	Le Miocène :	37
3.5.3	Plio - Pléistocène :	37
3.6	Le quaternaire :	38
4	Tectonique :	39
4.1	Les plis :	40
4.2	Les failles :	40
5	L'origine de la vallée d Oued M'Zi :	41

6	Conclusion :	41
CHAPITRE 3 : ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE		
1	Introduction :	44
2	Les paramètres climatiques :	45
2.1	Les précipitations :	45
2.1.1	Pluviométrie mensuelle :	45
2.1.2	Pluviométrie annuelle :	49
2.1.3	Etude de la pluviométrie saisonnière :	53
2.2	La Température :	54
2.2.1	Variations des températures moyennes mensuelles :	54
3	Régime climatique :	57
3.1	Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953) :	57
3.2	Diagramme d'Emberger :	58
4	L'humidité relative :	60
5	Les vents :	61
6	Etude d'évaporation, évapotranspiration et déficit d'écoulement.	62
6.1	Évaporation :	62
6.2	Calcul de l'évapotranspiration potentielle ETP :	63
6.2.1	Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite :	63
6.3	Evapotranspiration réelle ETR :	65
6.3.1	Méthode de Turc :	65
6.3.2	Méthode de M. Coutagne :	66
6.3.3	Méthode de Wundt (graphique) :	67
6.3.4	Méthode de Verdeil :	68
6.3.5	Calcul de l'ETR par la méthode du bilan simplifié de Thornthwaite :	69
7	Détermination de la lame d'eau ruisselée (R) par la formule tixeron :	71
8	Bilan hydrologique :	72
	Estimation de l'infiltration :	73
9	Conclusion :	74
CHAPITRE 4 : CADRE HYDROGEOLOGIQUE		
1	Introduction :	76
2	Présentation des aquifères de la région Laghouat :	76
2.1	Aquifères du kimméridgien :	77
2.2	Aquifère du Portlandien :	78

2.2.1	Aquifère des calcaires du Portlandien Inférieur (La base de la formation calcaire de Zeireg).	78
2.2.2	Aquifère des grès à chenaux du Portlandien Supérieur (formation de Tadmit inf.)	79
2.3	Aquifère des calcaires du Portlandien sommital. (Le sommet de la formation de Tadmit sup).	80
2.4	Aquifère des grès du Barrémien-Albien :	81
2.5	Aquifère du Mio-Pliocène :	82
2.6	Aquifère des alluvions quaternaires :	82
	3 Les essais de pompage :	83
3.1	Aquifère du barrémien :	83
3.2	La nappe du Mio-Plio-quaternaire :	83
3.3	La piézométrie :	84
4	Conclusion :	85

CHAPITRE 5 : ETUDE HYDROCHIMIQUE

1	Introduction :	87
2	Balance ionique :	87
3	Paramètres physicochimiques :	89
3.1	Paramètres physiques :	89
3.1.1	La température :	89
3.1.2	Le potentiel d'hydrogène :	90
3.1.3	Conductivité électrique :	90
3.1.4	Le résidu sec :	90
3.1.5	La turbidité :	91
3.2	Paramètres chimiques :	91
3.2.1	Les Cations :	91
3.2.2	Les anions :	95
4	Classification des eaux :	99
4.1	Classification de Stabler :	100
4.2	Classification de Piper :	101
4.3	Classification de Schoeller Berkloff :	102
4.4	Comparaison des faciès chimiques :	104
5	Potabilité des eaux (normes et qualité) :	104
5.1	Normes de potabilité selon le degré hydrotimétrique (DHT) :	105
6	L'aptitude des eaux à l'irrigation :	106
6.1	Diagramme de Riverside :	106

6.2	Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX) :	108
7	L'impact de la pollution :	109
8	Conclusion :	110
	Conclusion générale :.....	113
	Références bibliographiques :.....	116

Liste des figures :

CHAPITRE 1 : ETUDE DU BASSIN VERSANT

Figure 1: Situation géographique et administrative de Laghouat. 5

Figure 2 : découpage administrative de Laghouat 6

Figure 3: situation de la zone d'étude (DRE Laghouat modifier) 8

Figure 4: Carte de délimitation du bassin versant de l'Oued M'Zi et ses affluents. 9

Figure 5: Rectangle. 11

Figure 6: Courbe hypsométrique du bassin versant l'oued M'zi. 12

Figure 7: Profil en long de l'Oued M'zi (Aissaoui.2016). 15

Figure 8 : Hiérarchisation du chevelu hydrographique 16

CHAPITRE 2 : CADRE GEOLOGIQUE

Figure 9: Les différentes parties de l'Atlas saharien (Google Earth 2022). 25

Figure 10: Coupe structurale Nord-Sud de l'Algérie du Nord (Durand-Delga, 1969) 26

Figure 11: Situation et orientation des différents éléments morpho- structuraux de l'Atlas Saharien, et leurs équivalant dans les pays voisins (Durand-Delga, 1969)..... 27

Figure 12: coupe géologique à travers la région de Laghouat (in Hannachi,1981). 28

Figure 13 : Coupe schématique du Djebel El Aouidja. (D'après Abed S. 1982)..... 29

Figure 14 : Coupe synthétique de Djebel El Aouidja (d'après Nadji A. 1997). 30

Figure 15 : Coupe schématique de Djebel Seklafa (d'après Abed S. 1982)..... 31

Figure 16: Coupe synthétique d'ain rich (d'après Nadji A. 1997). 33

Figure 17: coupe schématique de oued bine el djebline (d'après Abed S. 1982)..... 33

Figure 18: Coupe Schématique du Djebel Milok. (D'après Abed S. 1982) 36

Figure 19: Découpage mégaséquentiel des formations Post-turoniennes (d'après Nadji.A 1997)..... 38

Figure 20 : les principales structures de l'atlas saharien (Wildi W., 1983)..... 41

CHAPITRE 3 : ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Figure 21: Carte de situation des stations pluviométriques. 45

Figure 22: précipitation moyennes mensuelle station en amont(1990-2011).	48
Figure 23: précipitation moyennes mensuelles station en avale(1990-2011).	48
Figure 24 a : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station oued morra (1990/2011)	49
Figure 24 b : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station elghicha (1990/2011).....	50
Figure 24 c : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station seklafa (1990/2011).	50
Figure 24 d : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station tadjmout (1990/2011).....	50
Figure 24 e : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station ksar elhirane (1990/2011).....	50
Figure 24 f : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station sidi mkhlouf (1990/2011).....	51
Figure 24 g : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station laghouat (1990/2011).....	51
Figure 24 h : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station aflou (1990/2011).....	51
Figure 24 i : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station sidi bouzid (1990/2011).....	51
Figure 25: Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles (stations en amont), période (1990-2011).....	52
Figure 26 : Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles (stations en aval), période (1990-2011).....	52
Figure 27: Variations saisonnières des précipitations stations en amont.	53
Figure 28: Variations saisonnières des précipitations aux stations en aval.....	54
Figure 29: courbes des variations températures station de Laghouat (1990-2011).....	55
Figure 30: courbe des variations températures station d'Aflou période (1990-2011).	56
Figure 31: Diagramme ombrothermique, station de Laghouat (1990-2011).	57
Figure 32: Diagramme ombrothermique de la station d'Aflou(1990-2011)	58
Figure 33: Classification de la station de Laghouat selon le diagramme d'Emberger.....	59
Figure 34: L'humidité dans la région de Laghouat période (1979 - 1980) et (1990-2011). ...	60
Figure 35: Différentes directions de vents à la station de Ain Madhi (1973-1984).....	62

Figure 36: Evaporation moyenne mensuelle Laghouat (1973-1980), Aflou (1999-2011). 63

Figure 37: l'abaque de Wundt pour déterminer le déficit d'écoulement (ETR) pour Laghouat et Aflou..... 67

Figure 38: Projection des stations pluviométriques sur l'abaque de VERDEIL.(Aissaoui, 2016)..... 68

Figure 39: Le bilan simplifié par la méthode de THORNWAITE station de Laghouat (1990-2011)..... 69

Figure 40 : Le bilan simplifié par la méthode de THORNWAITE Station d'Aflou (1990-2011)..... 70

CHAPITRE 4 : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Figure 41: 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). 78

Figure 42: Forage de coordonnées : X : 473,22 2 Y : 358,08 Z : 933 m.(Aissaoui2016) 79

Figure 43: Forage X:472,82 Y : 357,88 Z : 886 m.(Aissaoui2016)..... 80

Figure 44: Forage captant le Portlandien sommital 81

Figure 45: carte piézométrique de la région de Hamda . (in.chenafi.2013) 84

CHAPITRE 5 : ETUDE HYDROCHIMIQUE

Figure 46 : Concentrations de calcium (Ca^{2+}) dans le bassin de l'oued M'zi 92

Figure 47 : Concentrations de Magnésium (Mg^{2+}) dans le bassin de l'oued M'zi. 93

Figure 48: concentrations de Sodium (Na^{+}) dans le bassin de l'oued M'zi..... 94

Figure 49: concentrations de potassium (K^{+}) dans le bassin de l'oued M'zi 94

Figure 50 : Concentrations de Chlore (Cl^{-}) dans le bassin de l'oued M'zi..... 95

Figure 51 : Concentrations des Sulfates (SO_4^{2-}) dans le bassin de l'oued M'zi 96

Figure 52 : Concentrations des Bicarbonates (HCO_3^{-}) dans le bassin de l'oued M'zi 97

Figure 53 : Concentrations des Nitrates (NO_3^{-}) dans le bassin de l'oued M'zi..... 98

Figure 54: contribution des éléments chimiques..... 98

Figure 55 : Classification des eaux selon Stabler..... 100

Figure 56: Classification des eaux souterraines selon le diagramme de piper..... 102

Figure 57: Classification des eaux souterraine selon le diagramme de Schoëller- Berkaloff103

Figure 58: Classification des eaux de l'irrigation par diagramme de Riverside..... 107

Figure 59 : Classification des eaux pour l'irrigation selon le diagramme de wilcox. 109

Liste des tableaux :

CHAPITRE 1 : ETUDE DU BASSIN VERSANT

Tableau 1 : tableau de distribution hypsométrique (Aissaoui 2016) :	11
Tableau 2: Paramètre de calcul de l'indice de pente de Roche Ip	14
Tableau 3: Classification de relief selon la méthode de l'ORSTOM.	14
Tableau 4 : Calcul du rapport de confluence (Aissaoui 2016).....	17
Tableau 5: Calcul du Rapport des Longueurs (A. AISSAOUI, 2016).....	18
Tableau 6 : Caractéristiques du réseau hydrographique	19
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des résultats.....	21

CHAPITRE 3 : ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Tableau 8: coordonnées des stations pluviométriques.....	44
Tableau 9: précipitation moyennes mensuelle exprimées à la période (1990-2011).....	46
Tableau 10: Valeurs des précipitations annuelles des neuf stations (1990-2011).	49
Tableau 11: Précipitations saisonnières pour la période (1990/2011).	53
Tableau 12 : variations des température moyenne mensuelles station Laghouat Période (1990-2011).....	55
Tableau 13: variations des température moyennes mensuelles station d'Aflou Période (1990-2011).....	56
Tableau 14: L'humidité relative de la station de Laghouat des périodes (1979-1980) et (1990 - 2011).	60
Tableau 15: direction des vents et leurs fréquences en %. Station de Ain mahdi Laghouat (1973-1984).....	61
Tableau 16: Moyennes mensuelles de l'évaporation. Laghouat (1973-1980) et Aflou (1999-2011).(Aissaoui .A,2016)	63
Tableau 17: ETP calculée par la méthode de Thornthwaite à la station de Laghouat (1990-2011).....	64
Tableau 18: ETP calculée par la méthode de Thornthwaite à la station d'Aflou (1990-2011).	65

Tableau 19: Résultats des calculs de l'évapotranspiration réelle par la méthode de Turc pour les stations de Laghouat et Aflou (1990/2011).	66
Tableau 20: Bilan hydrologique moyen (1990-2011) à la station de Laghouat, par la méthode de Thornthwaite.....	69
Tableau 21: Bilan hydrologique moyen (1990-2011) à la station d'Aflou, par la méthode de Thornthwaite.	70
Tableau 22: différentes méthodes de calcul de l'ETR.....	71
Tableau 23 : ruissellement superficiel pour la station de Laghouat et Aflou (1990-2011). ...	72
Tableau 24: Entrées et sorties d'eau annuelle de la région de Laghouat	73
Tableau 25: Entrées et sorties d'eau annuelle de la région de Aflou.....	73

CHAPITRE 4 : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Tableau 26: Log hydrogéologique synthétique (Chennafi 2013).	77
Tableau 27 : Caractéristiques hydrodynamique (région de Ain Madhi).....	83

CHAPITRE 5 : ETUDE HYDROCHIMIQUE

Tableau 28 : Pourcentage d'erreur calculé pour les différents points d'eau	88
Tableau 29 : Paramètres physiques des eaux du bassin oued M'zi	89
Tableau 30: les paramètres chimiques des eaux du bassin de l'oued M'zi.	91
Tableau 31 : Faciès chimique des eaux.....	101
Tableau 32 : Normes algérienne et l'OMS pour la potabilité.....	105
Tableau 33: Classification des eaux selon le degré hydrométrique	105
Tableau 34 : Dureté des eaux du bassin oued M'zi.	106
Tableau 35 : classification des eaux selon la potabilité.	106
Tableau 36: Répartition de la qualité des eaux d'après le diagramme de Richards.	107

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable. Il devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques. La région de Laghouat, comme la plupart des régions du Sahara et de l'Atlas saharien, utilise les eaux souterraines, contenues dans son sous-sol, comme principale source pour l'alimentation en eau potable (AEP), et les besoins industriels et l'irrigation agricole. Ce qui donne une forte importance à l'étude quantitative et qualitative de ces eaux de la nappe souterraine.

Le Sahara algérien peut être considéré parmi les plus grands déserts du monde, il recèle d'énormes réserves d'eaux souterraines. Ces eaux se trouvent dans des nappes aquifères contenues dans des horizons géologiques de différentes profondeurs et épaisseurs. Cet ensemble est dénommé Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) et renferme plusieurs nappes d'eaux superposées les unes sur les autres :

- Une nappe phréatique de faible profondeur ;
- La nappe du Complexe Terminal (CT), moins profonde ;
- La nappe du Continental Intercalaire (CI) très profonde dans le bassin Nord Oriental, et contenant des eaux chaudes et souvent très minéralisées.

L'objectif de cette étude est de :

- Regrouper et exploiter les données des différentes études géologiques et hydrogéologiques réalisés à l'échelle de la région ;
- Caractériser le bassin versant de l'Oued M'zi par l'analyse de quelques facteurs en particulier physiques, géologiques et climatiques ;
- Faire une description des différents aquifères disponibles dans la zone d'étude ;
- Déterminer et interpréter les caractéristiques physicochimiques de ces nappes et les faciès dominants ;
- Qualifier les eaux de la nappe pour la potabilité et pour l'irrigation.

Pour aborder cette thématique, ce travail est subdivisé en cinq chapitres :

Chapitre I : Etude du bassin versant

Dans ce chapitre, on donne des généralités sur la zone d'étude, situation géographique et administrative, cadre socioéconomique, réseau hydrographique, climat et végétation,

L'étude faite est en relation avec les caractéristiques de forme, hydrographie, géomorphologie. Cette étude sera un outil pour mieux comprendre le fonctionnement du bassin versant en précisant les différentes parties de ces derniers

Chapitre II : Cadre géologique

On a exposé dans ce chapitre, la synthèse des travaux antérieurs portant sur les caractéristiques géologiques et lithologiques des aquifères et du sous-sol de la région d'étude (Nord du Sahara septentrional), afin de déterminer l'existence ou non d'une relation entre la lithologie et la composition chimique des eaux souterraines.

Chapitre III : Etude hydroclimatologique

L'étude hydro climatologique permet de mieux comprendre le fonctionnement du climat en se basant essentiellement sur les données des précipitations, et des températures ainsi qu'aux autres paramètres climatiques (vents, nébulosité...etc.) et aussi d'établir le bilan hydrologique, afin de déterminer la loi d'ajustement de la distribution des précipitations. Les paramètres climatiques sont calculés, sur la base de 22 ans d'observation.

Chapitre IV : Cadre hydrogéologique

Dans le chapitre hydrogéologie, on a défini le système aquifère du Sahara septentrional (SASS), son prolongement, et ses caractéristiques.

Abordés séparément à la description des aquifères existants dans notre zone d'étude (aquifère du kimméridgien, aquifère du portlandien etc...). Nous nous intéresserons spécialement à la zone de l'oued M'zi. La plupart des données provienne des forages. Importantes dans cette zone, Les résultats de ces forages nous permettent de connaître : la nature et la géométrie du réservoir.

Chapitre V : Etude hydrochimique

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 et puis déterminé les faciès chimiques.

Nous terminons notre travail par une Conclusion générale.

CHAPITRE 1 :

L'étude du bassin versant

Chapitre 1 : l'étude du bassin versant :**1 Situation géographique et administrative :**

La wilaya de Laghouat située au centre du pays à 400 km au Sud de la capitale Alger, s'étend sur 25 000 km². C'est une région pastorale de l'Algérie. à plus de 750 mètres d'altitude sur les Hauts Plateaux, elle est traversée par la chaîne de l'Atlas saharien avec des sommets qui dépassent les 2 000 mètres ("Djebel Amour" 2 200 mètres), ses coordonnées géographique sont :

- Latitude 33° 48' Nord. - Longitude 2° 53' Est

Elle est délimitée

- au Nord par la Wilaya Tiaret (278 km) ;
- à l'Est par la Wilaya de Djelfa (110 Km) ;
- au Sud par la Wilaya de Ghardaïa (194 Km) ;
- à l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (204 Km).

La wilaya comporte actuellement 24 communes regroupées en 10 Daïras pour une population de 455 602 (2008 Wikipédia) habitants, soit une densité de 19 habitants/ km²



Figure 1: Situation géographique et administrative de Laghouat.

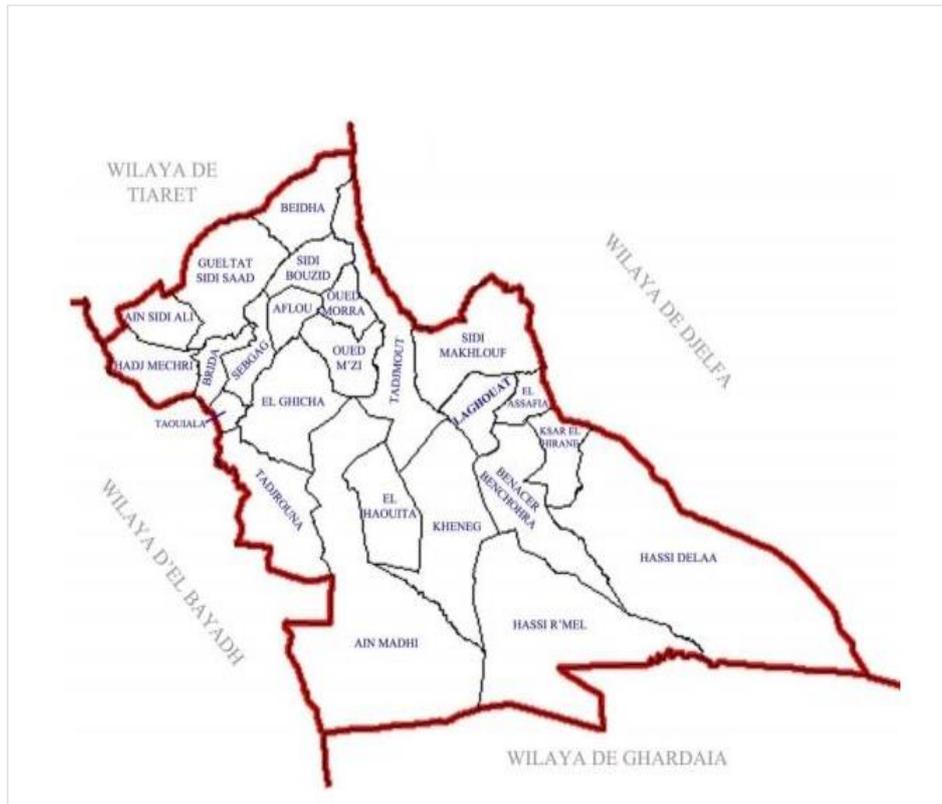


Figure 2 : découpage administrative de Laghouat

2 Cadre socio-économique :

Laghouat, parmi les régions des hauts plateaux, occupant 89 % du totale de la superficie de la wilaya par le domaine agricole qui représente la principale activité, est cela revient à sa situation géographique. La diminution du nombre de la population active dans le domaine de l'agriculture observée à la fin des années 1990 peut s'expliquer par la régression de la couverture végétale, aussi l'élevage constitue une source fondamentale dans l'économie de la région, pratiqué par la population nomade résidente, généralement les Ovins et Caprins.

Le domaine de l'industrie occupe une grande place dans la répartition de la population active, dispose de deux zones industrielles l'une grâce à son immense gisement de gaz naturel exploité depuis 1956, Hassi R'Mel est l'un des plus grands pôles industriels du pays aussi bien pour le nombre d'emplois qu'elle génère que par l'importance des infrastructures industrielles installées sur son sol.

3 Réseau hydrographique :

Le bassin versant de l'Oued Djedi couvre une superficie de 24200 Km², est fortement ramifié par de nombreux affluents. Le parcours des cours d'eau est conditionné par la structure du bassin. L'Oued M'Zi constitue l'un des plus importants cours d'eau dans la région de Laghouat, 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'où il prend le nom de l'Oued Djedi qui débouche dans le Chott Melrhir au Sud de Biskra après un parcours de 450 km formant ainsi un système endoréique typique des régions arides et semi-arides.

4 Climat et végétation :

Le climat joue un grand rôle important dans étude hydrogéologique caractérisé par l'influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères. Notre région d'étude, sur le plan météorologique, constitue une zone de transition entre plusieurs phénomènes climatiques, Le relief caractérisé par les derniers chaînons de l'Atlas Saharien et formant une barrière, notamment la partie nord de la wilaya dans la zone climatique méditerranéenne et la partie sud dans la zone climatique désertique. Sa température caniculaire et aride en été, frisquet et venteux en hiver, au cours de l'année varie généralement de 2 °C à 39 °C et est rarement inférieur à -1 °C ou supérieur à 42 °C .Les précipitations sont faibles et irrégulières pendant toute l'année , le plus grand nombres de jours de précipitation est en octobre et la saison la plus sèche dur du 27 mai ou 22 août. L'humidité relative mensuelle est très faible en été et elle atteint son maximum en hiver.

La vitesse horaire moyenne du vent connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année, généralement accompagné par du sable (sirocco),

Les espèces saharienne ou sub-saharienne qui dominant dans la région de Laghouat sont celles qui adaptées à la sécheresse ainsi qu'aux température élevée, Les deux principaux facteurs influençant la répartition des espèces végétales dans le site, ont été l'ensablement et les pratiques agricoles. Après 6 années de suivi le milieu a demeuré peu diversifié et perturbé. Le taux du sable a diminué par rapport au recouvrement végétal. L'Astragalus armatus, plante non palatable a proliféré largement dans le milieu.

Les labours et les tempêtes de sable ont provoqué la formation des micro-dunes de sable qui ont été fixées naturellement par des vrai psammophiles et autres plantes à faibles valeurs pastorales.

5 Présentation de la zone d'étude :

Le bassin versant d'Oued M'Zi, appartenant au grand bassin versant de Chott Melrhir (Figure 03), 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 Melrhir occupe une superficie de 68 750 km², 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 d'Oued Djedi.

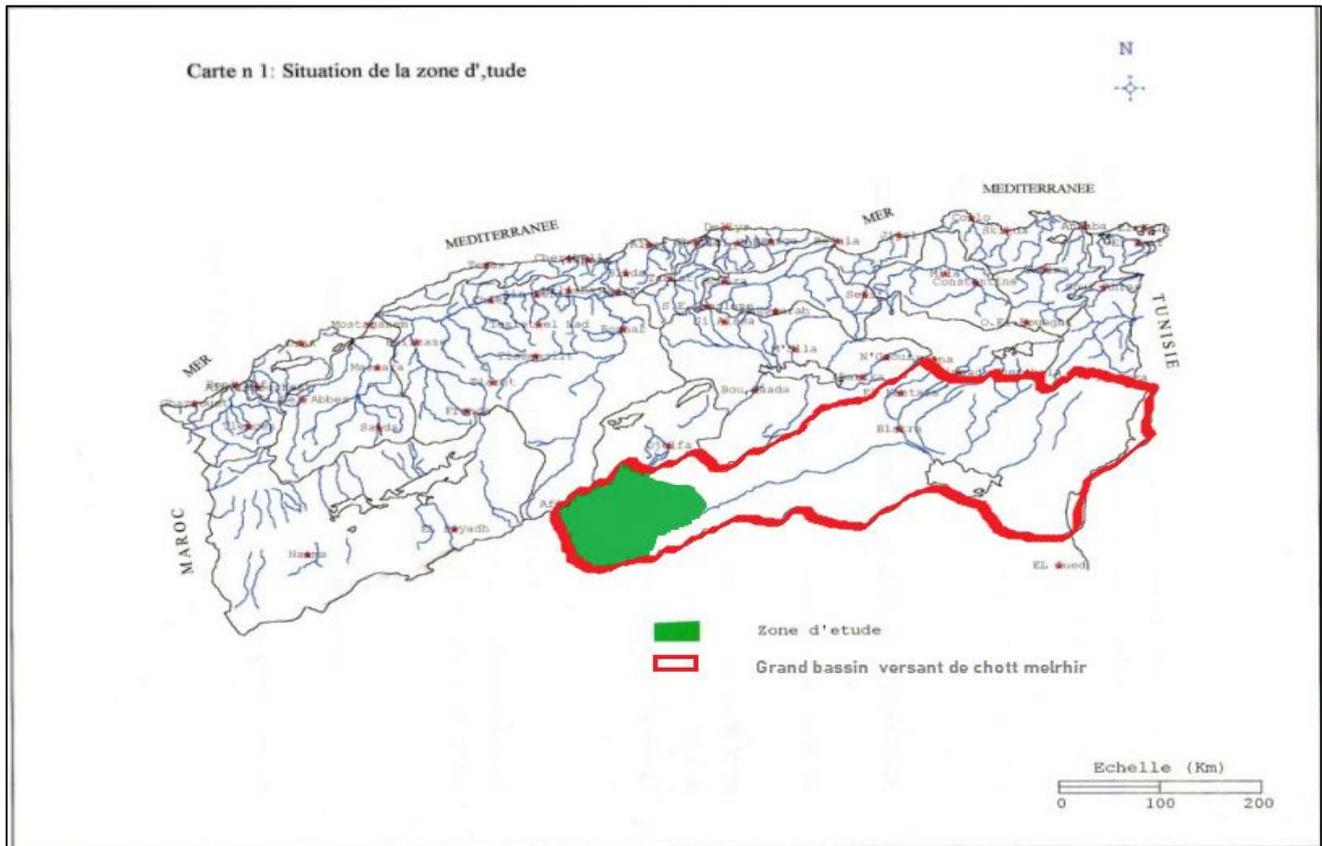


Figure 3: situation de la zone d'étude (DRE Laghouat modifier) .

6 Limites du bassin versant de l'oued M'Zi :

Le bassin versant de L'Oued M'Zi d'orientation E-W (fig.02) chevauche deux domaines géologiques assez différents avec au Nord les reliefs escarpés de l'Atlas saharien central et au Sud la plate- forme saharienne, il est limité :

- A l'Est et à l'Ouest respectivement par les longitudes 3°20'Est et 1°58'Est.
- Au Nord et au Sud par les latitudes Nord 34 °18' et 33°24'.

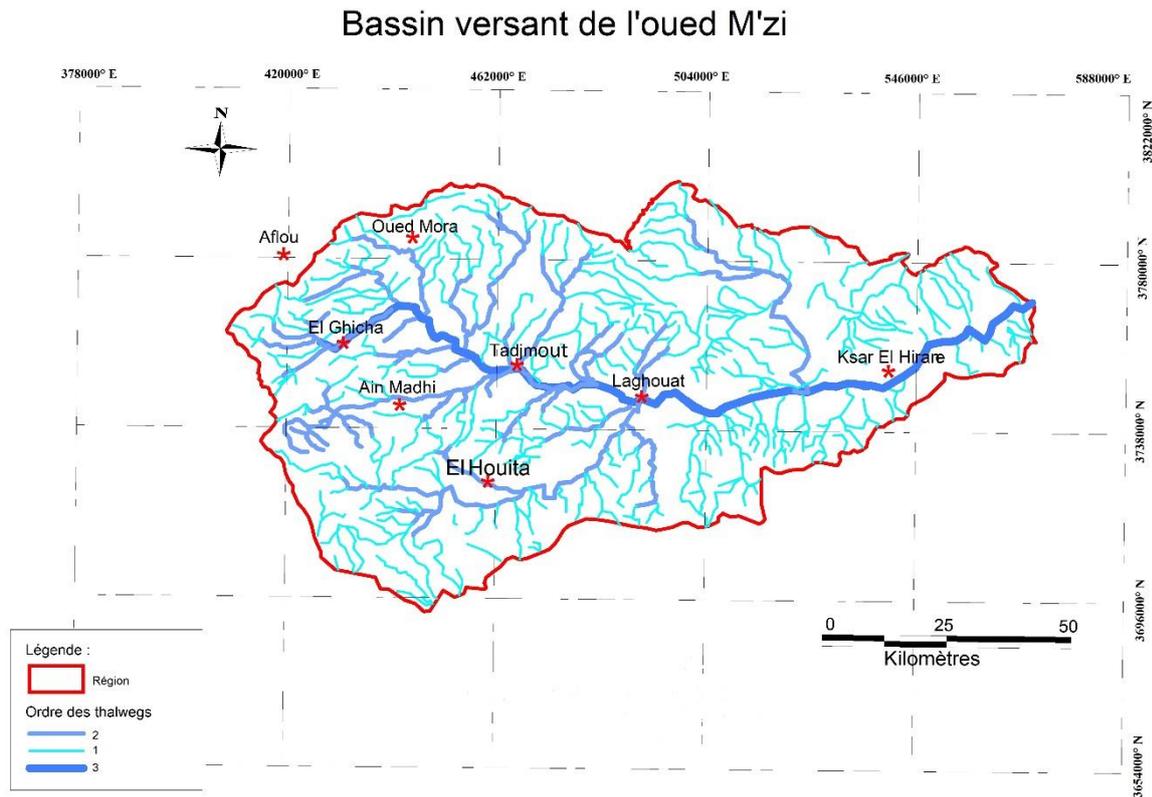


Figure 4: Carte de délimitation du bassin versant de l'Oued M'Zi et ses affluents.

7 Paramètres morpho métriques du B.V de l'oued M'Zi :

Les paramètres physiographiques et morphométriques jouent un rôle prépondérant dans les partages multiples et successifs des eaux superficielles et dans le temps de concentration de celles-ci à l'exutoire du bassin versant et permettent d'apprécier l'importance des crues.

7.1 Paramètres géométriques : aire et périmètre

La superficie, le périmètre et la longueur des talwegs du bassin versant de l'oued M'zi sont obtenues automatiquement à l'aide du logiciel Arc gis « mémoire Aissaoui » :

Superficie du bassin versant : $S = 6153 \text{ km}^2$

Périmètre du bassin versant : $P = 390 \text{ km}$

Longueur du thalweg le plus long : $L_p = 93 \text{ km}$

7.2 Les caractéristiques de forme :

7.2.1 Indice de compacité (de gravelius) :

Le contour d'un bassin versant enferme une superficie S, qui a une certaine forme, laquelle va avoir une influence sur l'écoulement global et sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée. Un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée.

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Si (S) est la surface du bassin en et (P) son périmètre en km, le coefficient est calculé selon l'expression suivante :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} = \frac{0.28 \times 390}{\sqrt{6153}} = 1.39$$

Cet indice nous permettra de préjuger de la forme du bassin :

- $K_c = 1$: bassin ramassé

- $K_c > 1$: bassin allongé

Le bassin est allongé le coefficient est supérieur à 1 et un peu loin de cette valeur, ce qui implique un temps de concentration relativement important.

7.2.2 Rectangle équivalent :

Le bassin est assimilé à un rectangle de longueur « L » et de largeur « l » qui a la même surface, le même périmètre, le même coefficient de compacité que notre bassin

$$\text{- Longueur du rectangle « L » : } L = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right]$$

$$L = 1.39 \frac{\sqrt{6153}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.39} \right)^2} \right] = \mathbf{153.14 \text{ Km}}$$

$$\text{- Largeur du rectangle « l » : } l = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right]$$

$$l = 1.39 \frac{\sqrt{6153}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.39} \right)^2} \right] = \mathbf{40.18 \text{ Km}}$$

$$\text{Ou } A = L * l \implies l = A/L \quad 6153/153.14 = 40.18 \text{ Km}$$

Tableau 1 : tableau de distribution hypsométrique (Aissaoui 2016) :

Tranches d'altitudes (m)		Altitudes moyenne (m)	Surface partielle (km ²)	Surface partielle (%)	Surface cumulé (%)
740	800	770	847	13,765	100
800	900	850	1084	17,617	94,779
900	1000	950	993	16,138	87,011
1000	1100	1050	846	13,749	79,048
1100	1200	1150	589	9,572	70,841
1200	1300	1250	505	8,207	61,269
1300	1400	1350	490	7,963	47,520
1400	1500	1450	470	7,638	31,382
1500	1593	1546.5	329	5,346	13,765

Les valeurs des surfaces partielles en pourcentages dans le tableau 01.

$$l_1 = L * \frac{A1\%}{100} = 21.07 \text{ Km} \quad l_4 = L * \frac{A4\%}{100} = 21.05 \text{ Km} \quad l_7 = L * \frac{A7\%}{100} = 12.19 \text{ Km}$$

$$L * \frac{A2\%}{100} = 26.97 \text{ Km} \quad l_5 = L * \frac{A5\%}{100} = 14.65 \text{ Km} \quad l_8 = L * \frac{A8\%}{100} = 11.69 \text{ Km}$$

$$l_3 = L * \frac{A3\%}{100} = 24.71 \text{ Km} \quad l_6 = L * \frac{A6\%}{100} = 12.65 \text{ Km} \quad l_9 = L * \frac{A9\%}{100} = 8.18 \text{ Km}$$

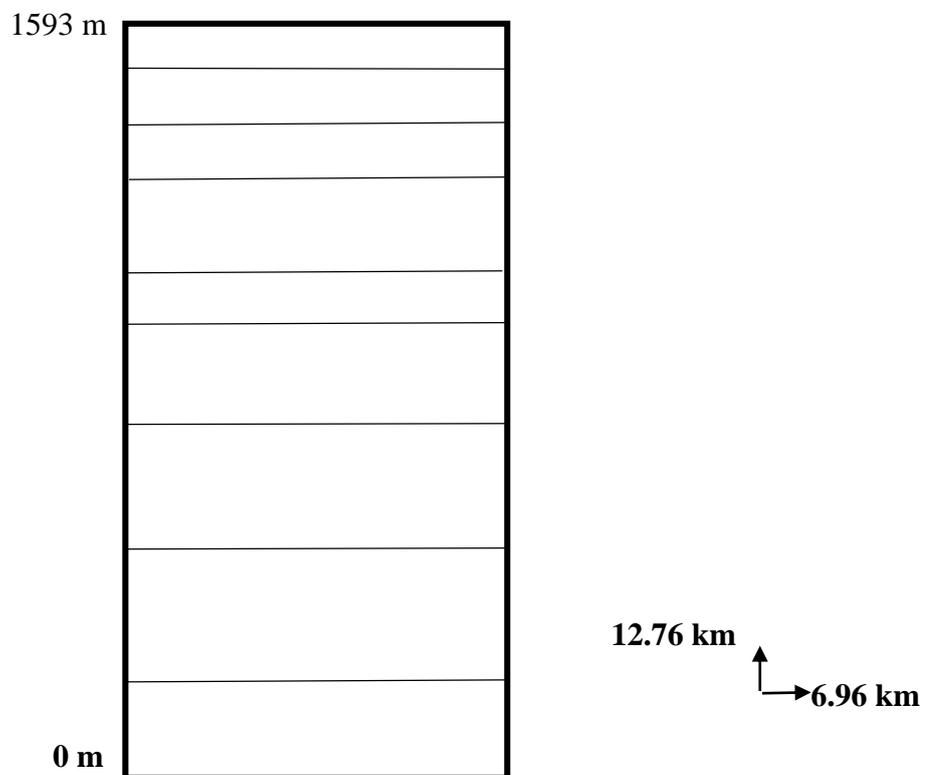


Figure 5: Rectangle.

7.3 Etude de relief :

7.3.1 Hypsométrie du bassin :

Les caractéristiques les plus significatives d'un bassin versant est la nature du relief ; Nous renseignons sur le taux de surface supérieure ou inférieure à une altitude donnée sur l'aptitude des terrains à l'infiltration et l'évaporation. On trace la courbe hypsométrique (Figure 06) en utilisant les données consignées au tableau 01.

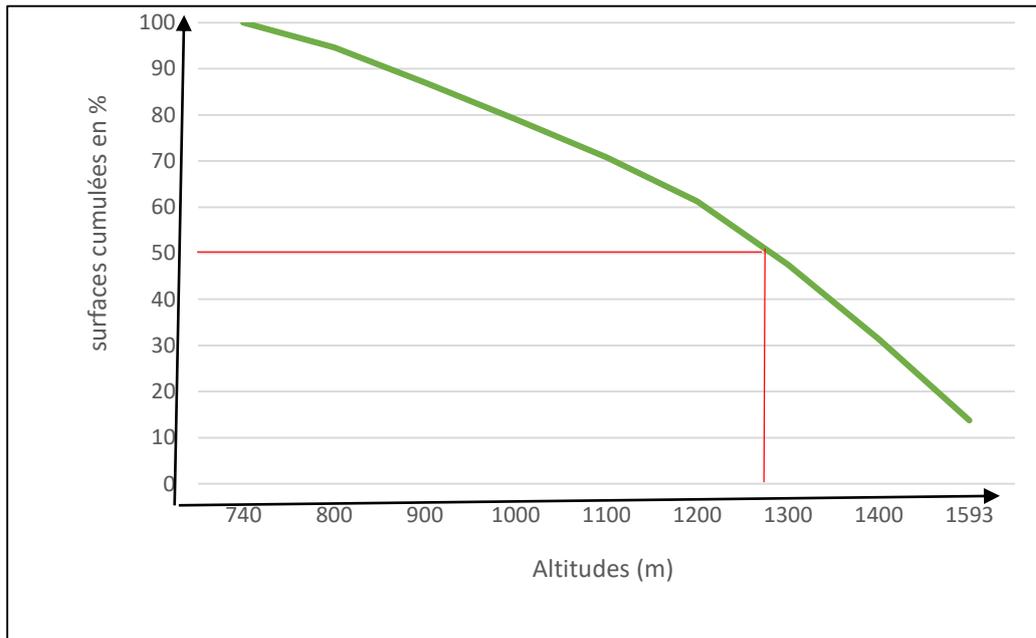


Figure 6: Courbe hypsométrique du bassin versant l'oued M'zi.

7.3.2 Caractéristiques de courbe :

- H5% : **1568 m**
- H50% : **1375 m**
- H95% : **790 m**
- H_{max} : **1593 m**
- H_{min} : **740 m**
- Dénivelée simple « **D** » : $D = H_{5\%} - H_{95\%} \iff 1568 - 790 = \mathbf{778\ m}$

Altitude moyenne : l'altitude moyenne est déduite directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique, on peut définir comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum S_i H_i}{S}$$

Avec :

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin (m)

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km^2),

S : Aire du bassin versant (Km^2),

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau successive (m)

L'altitude moyenne de notre bassin est : **1067.06 m**

Altitude médiane : l'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale de bassin, sur la courbe hypsométrique.

On a trouvé que l'altitude médiane à partir de courbe hypsométrique est $H_{50\%}$: **1375 m**.

7.3.3 Les indices de pente :

a. **Indice de pente global « I_g »** : déterminé par la formule suivante : $I_g = \frac{D}{L}$

$$I_g = 5.08 \text{ m / Km}$$

D : dénivellation ($H_{95\%}-H_{5\%}$), $D = 778 \text{ m}$.

L : la longueur du rectangle équivalent, $L = 153.14 \text{ Km}$.

Le résultat obtenu est 0,0508 %. Selon la classification de l'ORSTOM (tableau,03)

($0.05 < I_g < 0.5$) notre bassin d'étude présente un relief à pente forte.

b. **Pente moyenne du bassin** : on peut calculer par la formule suivante :

$$I_{\text{moy}} = \frac{\Delta H}{L} = \frac{(H_{\text{max}} - H_{\text{min}})}{L} = \frac{1593 - 740}{153144} = 0.0055 = 0.55\%$$

c. **Indice de pente de M. Roche « I_p »** : il est calculé par la méthode suivantes :

$$I_p = \sqrt{\frac{I_g}{0.8}}$$

$$I_p = 2.519$$

Tableau 2: Paramètre de calcul de l'indice de pente de Roche Ip

Tranches d'altitudes (m)		Surface partielle (Si) (km ²)	Surface partielle (%)	Différence d'altitudes Hi	a _i * d _i	$\sqrt{a_i * d_i}$
740	800	847	13,765	60	825.93	28.73
800	900	1084	17,617	100	1761.7	41.97
900	1000	993	16,138	100	1613.8	40.17
1000	1100	846	13,749	100	1374.9	37.07
1100	1200	589	9,572	100	957.2	30.93
1200	1300	505	8,207	100	820.7	28.64
1300	1400	490	7.963	100	796.3	28.21
1400	1500	470	7,638	100	763.8	27.63
1500	1593	329	5,346	93	497.2	22.29

7.3.4 Dénivelée spécifique :

Sa détermination permet de définir les différents types de reliefs des bassins versants indépendamment de leurs superficies.

La dénivelée spécifique s'obtient en appliquant la formule :

$$D_s = I_g \sqrt{S} = 5.08 \sqrt{6153} = 398.48 \text{ m}$$

En fonction de la dénivelée spécifique l'orstrom a défini sept types de relief (Tableau 03) :

Tableau 3: Classification de relief selon la méthode de l'ORSTOM.

Classes	Type de Relief	D _s	I _g
1	Relief très faible	D _s < 10	I _g < 0.002
2	Relief faible	10 < D _s < 25	0.002 < I _g < 0.005
3	Relief assez faible	25 < D _s < 50	0.005 < I _g < 0.01
4	Relief modéré	50 < D _s < 100	0.01 < I _g < 0.02
5	Relief assez fort	100 < D _s < 250	0.02 < I _g < 0.05
6	Relief fort	250 < D _s < 500	0.05 < I _g < 0.5
7	Relief très fort	D _s > 500	0.5 > I _g

A partir de la classification de l'ORSTOM (tableau.03), on déduit que notre bassin d'étude présente un relief **FORT**.

7.3.5 Etude de profil en long :

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

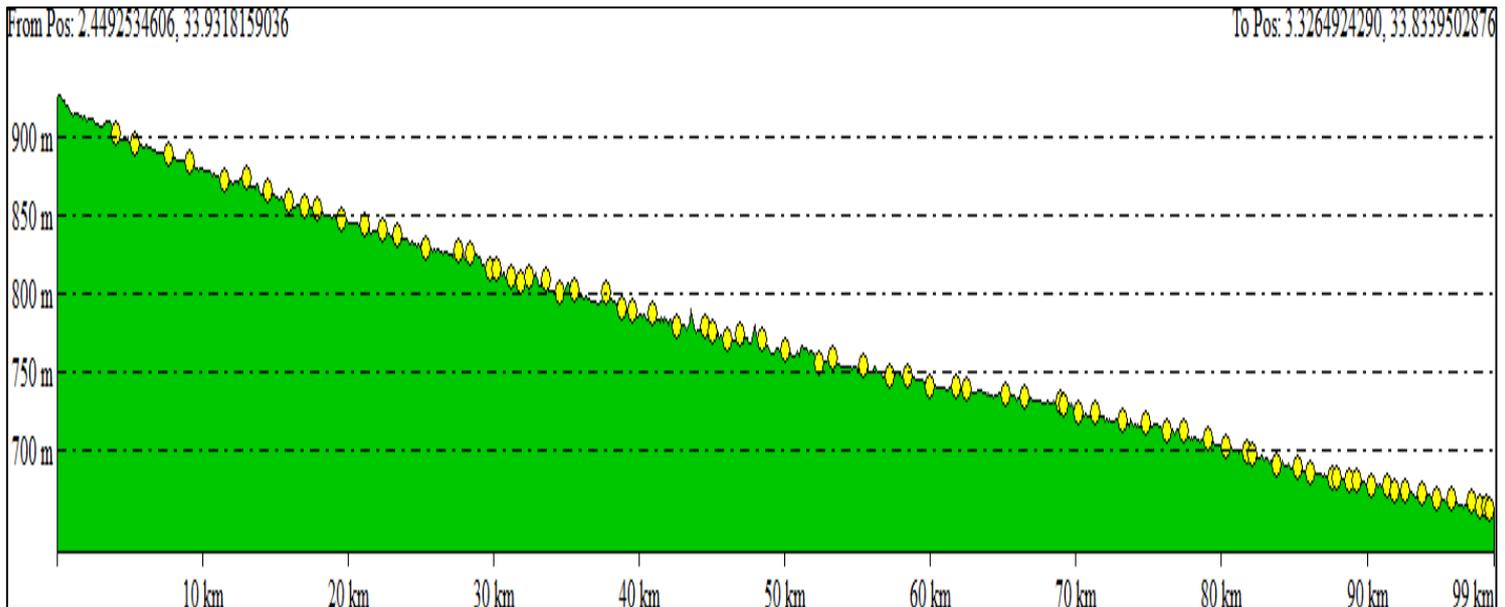


Figure 7: Profil en long de l'Oued M'zi (Aissaoui.2016).

8 Caractéristiques de réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin.

8.1 Classification des talwegs :

Il existe deux méthodes pour classer les réseaux hydrographiques

Classification de Shumm-Strahler (1952)

Parmi les méthodes de numérotation élaborées, on a adopté celle de Shumm-Strahler (1952) basée sur trois règles :

- Tout thalweg sans affluent est dit d'ordre 1
- Au confluent de deux thalwegs d'ordre n, le résultant est d'ordre n+1
- Un thalweg recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre

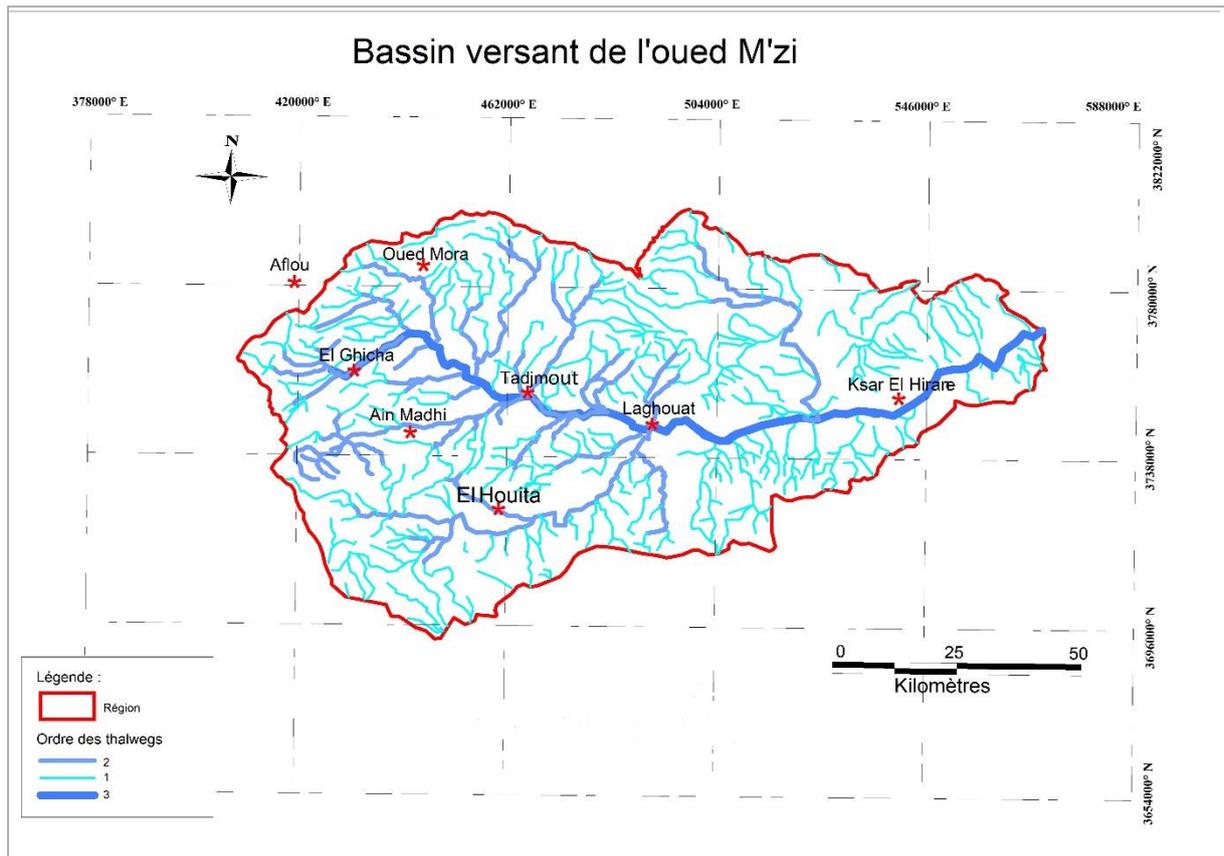


Figure 8 : Hiérarchisation du chevelu hydrographique

Classification de Horton :

On classe de façon rationnelles différents cours d'eau selon leur importance

1. Ordre 1 : talweg qui n'a pas de tributaire (ou d'affluent)
2. Ordre 2 talwegs qui a au moins un affluent d'ordre 1
3. Ordre 3 oued qui a des tributaires du 2eme ordre et même du premier ordre

8.2 Rapport de confluence (RC) :

C'est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Il varie suivant l'ordre considéré. C'est un élément important à considérer pour établir des corrélations d'une région à une autre. Selon Strahler (1964). Ce rapport varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence.

Pour le calcul de R_C , nous avons utilisé la classification de Schumm, selon laquelle, tout tronçon d'un cours d'eau formé par la réunion de deux cours d'eaux d'ordre (x) est d'ordre (x+1). Les calculs ont donné les résultats suivants :

Tableau 4 : Calcul du rapport de confluence (Aissaoui 2016)

Ordre	nombre de talweg (N _x)	R _c
1	623	5,88
2	106	3,93
3	27	4,5
4	6	3
5	2	2
6	1	

C'est le rapport du nombre de thalwegs d'ordre (x) par celui des thalwegs d'ordre supérieur (x+1) :

$$R_c = \frac{N_x}{N_{x+1}}$$

$$R_c = \frac{N_x}{N_{x+1}} \Rightarrow \text{Log } R_c = \text{Log } \frac{N_x}{N_{x+1}}$$

Donc : **R_c : 5.87**

Avec :

R_c : rapport de confluence.

N_x : nombre de cours d'eau d'ordre n.

N_{x+1} : nombre de cours d'eau d'ordre n+1.

8.3 Rapport de longueur (RI) :

Le rapport de longueur RL est le quotient de la longueur moyenne des cours d'eau, d'ordre (x + 1) par celle des cours d'eau d'ordre (x) :

$$RL = \frac{L_{n+1}}{L_n}$$

Avec :

L_N : longueur de cours d'eau d'ordre n.

L_{N+1} : longueur de cours d'eau d'ordre n+1.

Donc le résultat obtenu de **RI** est : **0.51**

Tableau 5: Calcul du Rapport des Longueurs (A. AISSAOUI, 2016)

Ordre	Longueurs des de 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

8.4 Densité de drainage :

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau (L_x) à la superficie (S) du bassin versant.

La densité de drainage exprimé la longueur moyenne de réseau hydrographique par unité de surface de B.V. elle donnée par l'équation :

$$D_d = \frac{\sum Lx}{S} = \frac{2581}{6153} = 0.41 \text{ km / km}^2$$

Avec :

D_d : densité de drainage en km/km^2

L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km. (Tab 5)

A : aire du bassin en km^2

La densité de drainage de Bassin versant d'oued M'zi est de 0.41 Km/Km^2 , ce qui signifie que l'écoulement est à développement limité.

8.5 Densité des thalwegs élémentaires :

Elle se définit par le rapport du nombre des thalwegs d'ordre 1 (N_1) à la surface totale (S) du bassin versant.

$$F_1 = \frac{N_1}{S}$$

Avec

N_1 : nombre des thalwegs d'ordre 1

S : surface totale du bassin versant.

La densité des thalwegs élémentaires calculée pour le bassin versant du l'oued M'zi nous donne :

$$F_1 = 0.10 \text{ thalwegs/km}^2.$$

Ce résultat confirme le faible drainage des surfaces du bassin.

8.6 Coefficients de torrentialité :

Il se définit comme le produit de la densité des thalwegs élémentaires (F_1) d'un bassin versant par sa densité de drainage (D_d).

$$C_t = F_1 * D_d \Rightarrow 0.10 * 0.41 = 0.041$$

Le résultat du calcul nous donne pour le bassin versant du M'zi un coefficient de torrentialité très faible de l'ordre de **0.041**.

Tableau 6 : Caractéristiques du réseau hydrographique

Bassin versant	Dd km/ Km ²	Fréquence F1	Coefficient de Torrentialité Ct
Oued M'zi	0,41	0,1	Ct = 0,041.

Les résultats présentés au tableau ci-dessus montrent que le bassin versant de l'oued M'Zi est caractérisé par un réseau hydrographique mal organisé et par conséquent un faible drainage par les eaux superficielles.

8.7 Temps de concentration :

Le temps de concentration (T_c) des eaux sur un BV, se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau, pour parcourir le chemin hydrologique entre un point élevé du bassin et l'exutoire de ce dernier il se calcule par la formule de GIONDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.50 L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec

T_c : temps de concentration (heures) ;

A : superficie du bassin (6153 km²) ;

L : longueur du talweg principal (93 km) ;

H_{moy} : altitude moyenne (1067.06 m) ; H_{min} : altitude minimale (740 m)

$T_c = 31.32$ heures

Le temps de concentration est grand (31,32 h) car notre bassin versant est de forme

allongée.

8.8 Vitesse d'écoulement :

Elle se définit par la longueur du talweg principale sur le temps de concentration.

$$V_c = \frac{L}{TC} \implies V_c = 2.96 \text{ km / h}$$

Avec

L : longueur du talweg principale

9 Géomorphologie :

9.1 Morphologie :

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

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

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

9.2 Topographie :

La topographie générale de la région d'étude est relativement plane car les classes de pentes inférieures 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%

10 Récapitulatif de principale caractéristique morphométriques du bassin versant :

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des résultats.

Caractéristique	Symbole	Unité	Valeur
Superficie	A	Km ²	6153
Périmètre	P	Km	390
Indice de compacité	Kc	/	1.39
Longueur de rectangle équivalent	L	Km	153.14
Largeur de rectangle équivalent	l	Km	40.18
Altitude maximal	Alt _{max}	m	1593
Altitude minimal	Alt _{min}	m	740
Altitude moyenne	Alt _{moy}	m	1067.06
Indice de pente de M,roche	I _p	/	2.519
Indice de pente global	I _g	m/Km	5.08
La dénivelée spécifique	Ds	Km	398.48
La densité de drainage	Dd	Km//Km ²	0.41
Le coefficient de torrentialité	Ct	/	0.041
Rapport de confluence	Rc	/	5.87
Rapport de longueur	Rl	/	0.51
Le temps de concentration	Tc	Heur	31.32
La vitesse d'écoulement	Ve	Km/h	2.96

11 Conclusion :

Les résultats obtenus des différents paramètres physiques et morphologiques montrent que le bassin versant d'oued M'zi couvrant une superficie de 6153 km² et un périmètre de 390 km, est de forme allongée (indice de compacité $K_c = 1.39$).

Sur un plan topographique, le bassin versant est caractérisé par une zone montagneuse d'altitude maximale de 1593 m, et la vallée de l'oued d'altitude moyenne de 800 m.

Le relief est représenté par une pente élevée vers les hautes altitudes et faible au niveau de la vallée, ce qui offre une condition favorable à l'épandage des eaux en périodes de crues sur un impluvium de bonne perméabilité. Cette situation contribue largement à la réalimentation des nappes.

Le développement du réseau hydrographique montre une organisation faible des thalwegs et par conséquent un drainage superficiel rudimentaire, avec un temps de concentration long favorisant l'infiltration des eaux, au niveau des formations géologiques perméables.

CHAPITRE 2 :

Cadre géologique

Chapitre 2 : Cadre géologique

1 Cadre Géologie générale :

L'Algérie est subdivisée en deux domaines qui s'opposent par leur histoire et leur structure géologique :

- Un domaine septentrional faisant partie de la chaîne alpine, édifié au cours du Tertiaire et qui demeure encore instable aujourd'hui.

- Un Domaine saharien, relativement stable, constitué d'un socle ancien, d'une couverture tabulaire structuré au paléozoïque. La frontière entre ces deux domaines est délimitée par l'accident sud-atlasique qui suit le revers sud de l'Atlas saharien.

L'Algérie du Nord est structurée en trois domaines qui sont du Nord au Sud (fig.11)

- la chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides constituée d'unités allochtones charriées sur la marge africaine

- la zone tabulaire des Hautes Plaines, constituée de terrains méso-cénozoïques qui reposent sur un socle paléozoïque plissé et métamorphisé ;

- l'Atlas saharien

- plateforme saharienne

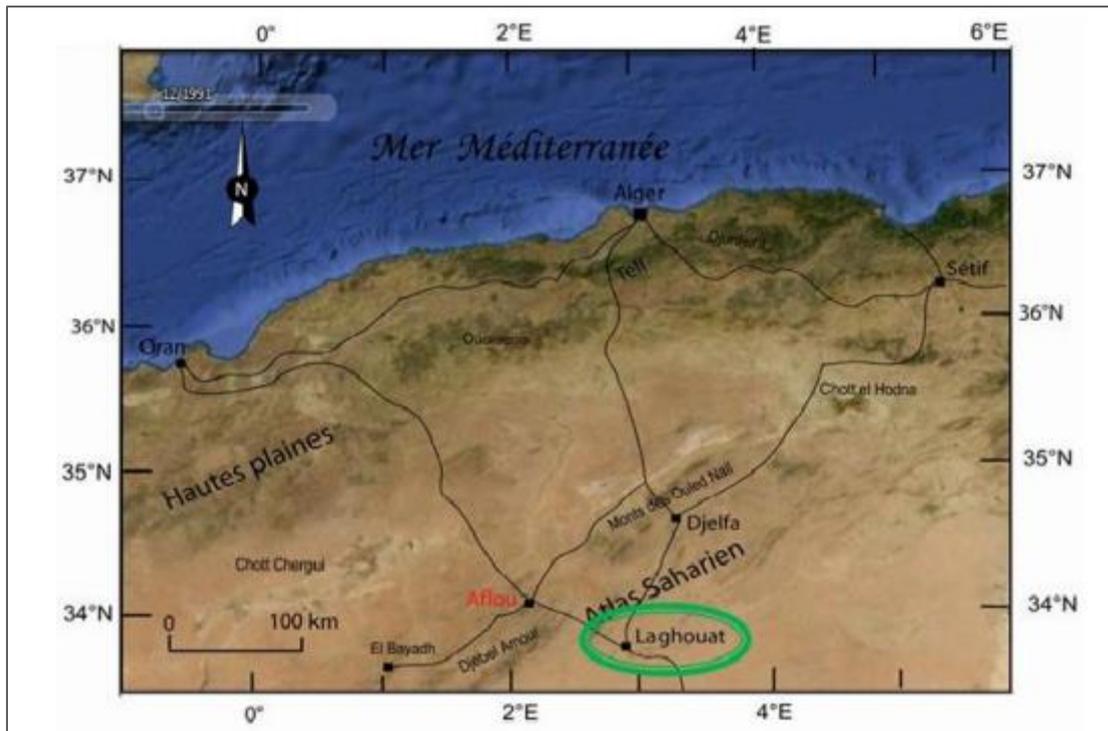


Figure 9: Les différentes parties de l'Atlas saharien (Google Earth 2022).

1.1 La chaîne Alpine :

La chaîne alpine fait partie de l'orogénèse alpine périméditerranéenne (Durand- Delga, 1969) d'âge Tertiaire qui s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km, du Rif à la Sicile. On distingue les zones internes (Kabylie), représentées par différents massifs, dispersés le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie. Les zones internes sont représentées par des « massifs anciens » littoraux, bordés au Sud par une « dorsale calcaire ». Les zones externes résultent du décollement au Miocène de la couverture sédimentaire mésozoïque déposée sur la marge nord de la plaque Afrique.

1.2 Les Hautes Plaines :

Entre l'Atlas saharien et la chaîne des Maghrébides s'étend le domaine des Hautes Plaines constitué d'une plate-forme cratonique recouverte de sédiments méso- cénozoïque d'épaisseur relativement faible.(chenafi A.,2013)

1.3 L'Atlas Saharien :

Compose par les monts des ksour, le Djebel amour et les monts des ouled nail à l'ouest par les zibans au centre et les Aurès à l'Est.

Il s'agit d'une chaîne intracratonique d'âge tertiaire orienté Nord –Est -Sud-Est, délimitée par deux lignes de fractures : l'accident nord atlasique et l'accident sud atlasique la chaîne atlasique est l'héritage d'un sillon subsident à sédimentation mésozoïque.

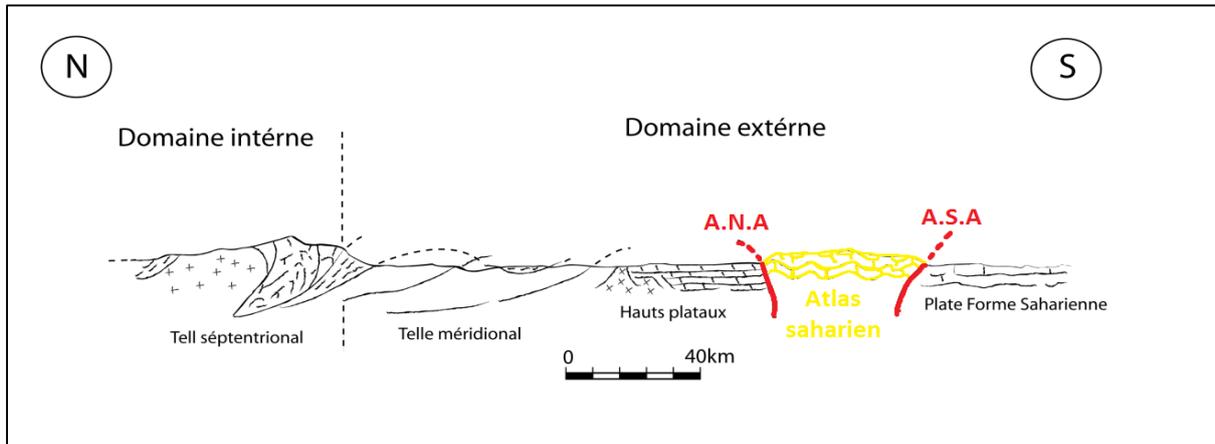


Figure 10: Coupe structurale Nord-Sud de l'Algérie du Nord (Durand-Delga, 1969)

1.4 La plateforme saharienne :

Le Sahara est un ensemble de plateaux subtalaires (que l'on désigne sous le nom arabe de hamadas) et d'args. Ces plateaux sont diversifiés suivant leur position, leur structure et la nature des roches qui les constituent.

Dans la région de Laghouat, ces plateaux sont modelés dans les atterrissements mio-pliocènes, qui ont comblé le sillon subsident parallèle à l'atlas saharien.

2 Cadre structural de la région de Laghouat :

La chaîne de l'Atlas Saharien est une chaîne intracratonique encadrée par deux accidents majeurs appelés 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 grand rayon de courbure avec des flancs sub-verticaux. La région de Laghouat se compose de deux domaines structuraux : au Nord le domaine Atlasique, et au Sud le domaine saharien, ces deux domaines sont séparés par la Flexure Sud Atlasique.

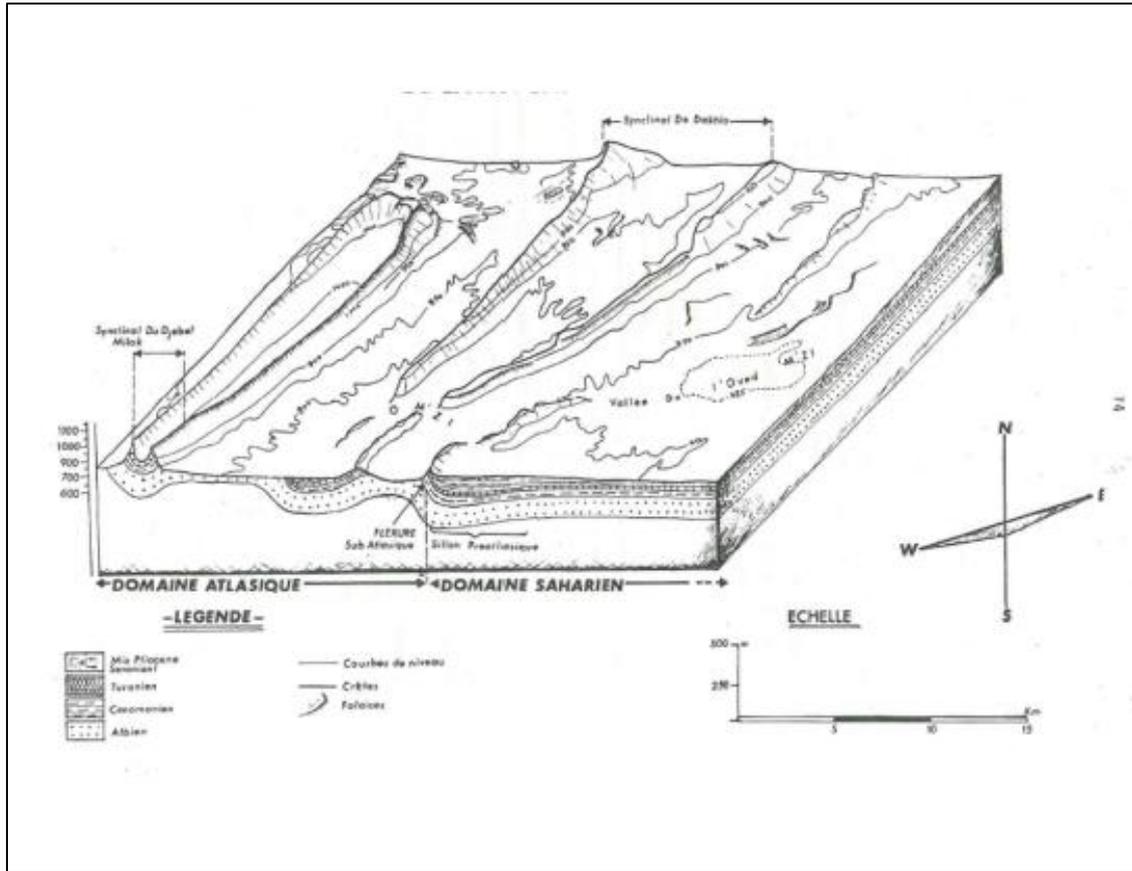


Figure 12: coupe géologique à travers la région de Laghouat (in Hannachi,1981).

3 Stratigraphie du l’atlas saharien :

Plusieurs travaux d’ordre stratigraphique et sédimentologie ont retracé l’histoire de remplissage du sillon atlasique depuis le Mésozoïque à l’actuel. Les affleurements secondaires sont très développés (Ritter 1901, Delfaut 1980, Ait Ouali, 1980, Mahboubi M. 1983, Mekahli 1986, Kazi-Tani 1986 et Herekat 1986).

3.1 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, dolomies cargneules souvent accompagnées 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 Ouled Nail). -
 Les pointements : Guelb El Tir, Oued El Melah et Sidi Rahoul au niveau de Laghouat (Djebel Amour).

3.2 Jurassique :

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 variée du Dogger daté Callovien par des Ammonites, le toit est daté Portlandien - Berriasien par des Calpionels.

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

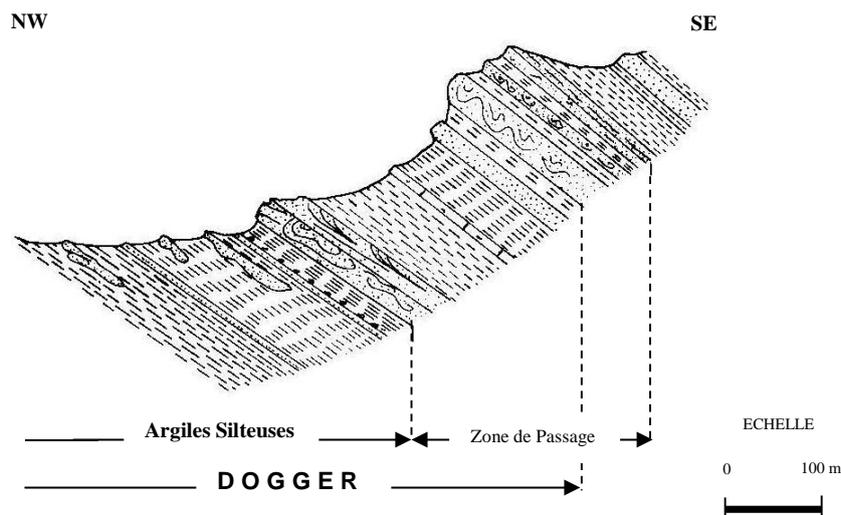


Figure 13 : Coupe schématique du Djebel El Aouidja. (D'après Abed S. 1982)

3.2.1 Série d' 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 attribuée au Bathonien. La formation dite zone de passage (série IB d'El Bayadh) d'une épaisseur de 300m formée par des combs 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.

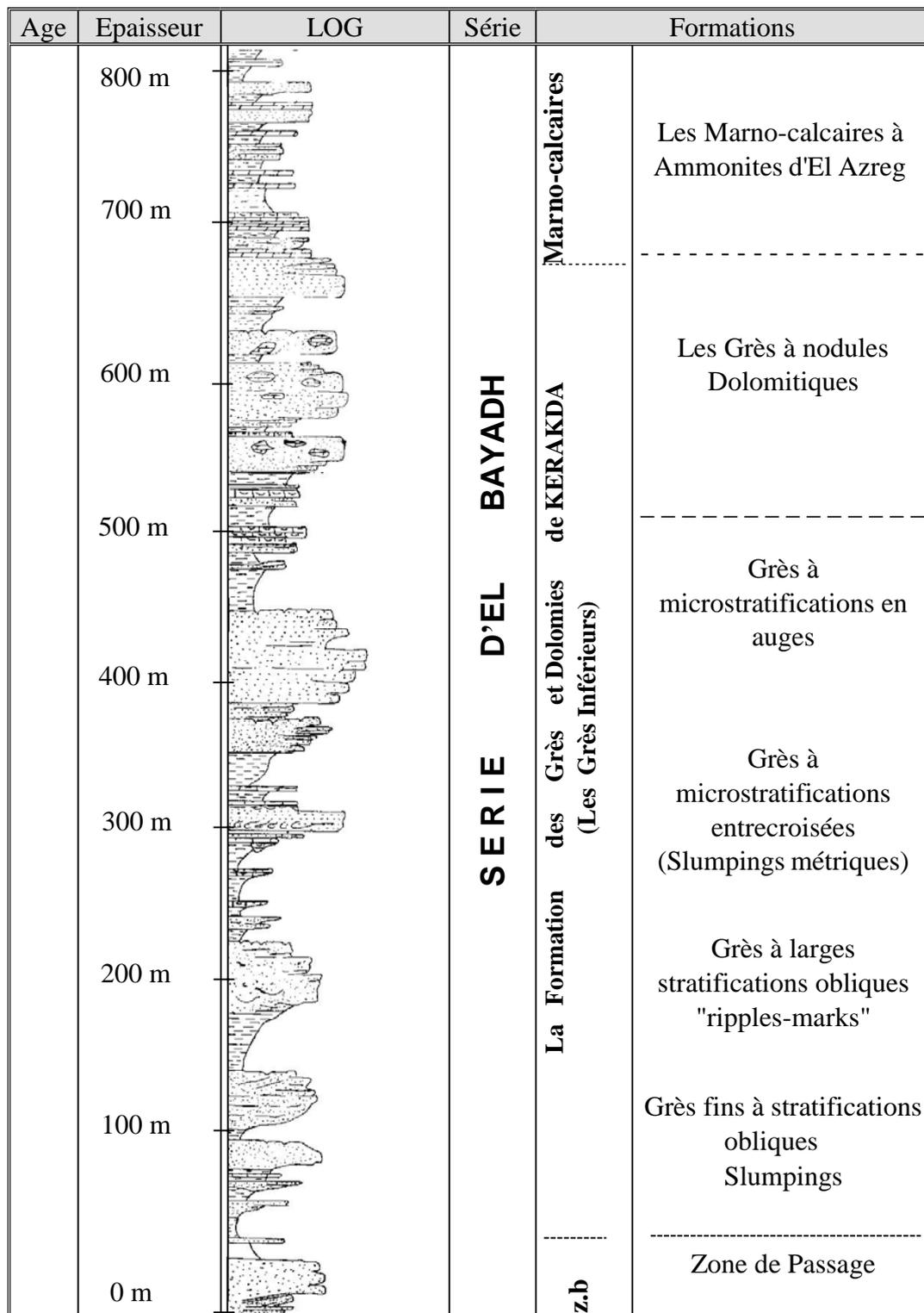


Figure 14 : Coupe synthétique de Djebel El Aouidja (d'après Nadji A. 1997).

3.2.2 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).

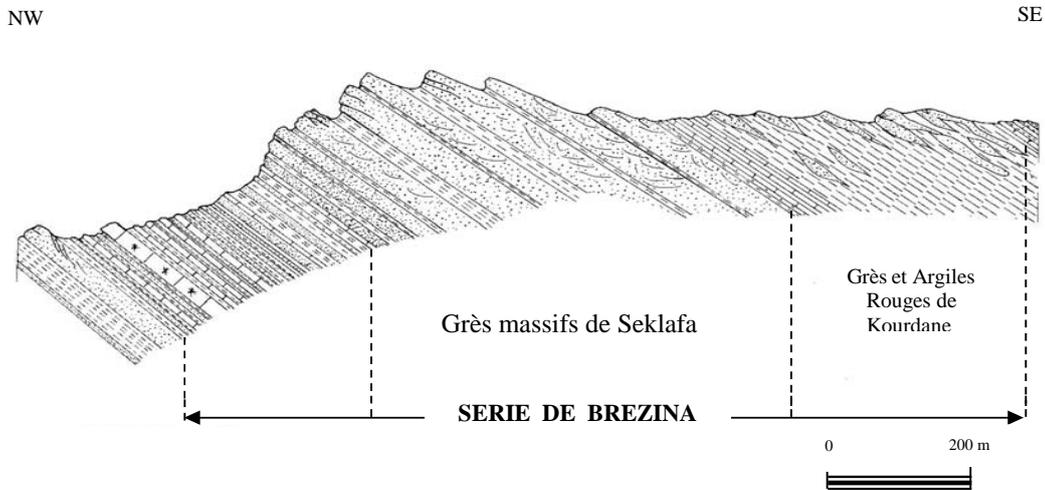


Figure 15 : Coupe schématique de Djebel Seklafa (d'après Abed S. 1982).

3.2.3 La série de Laghouat 900m (Kimméridgien Supérieur) :

Elle est composée en deux sous-série : La sous série de Tadjmout (200 à 400 m d'épaisseur): composée par deux formations : (1) La formation des calcaires lumachelliques à la base constituée par une alternance de marnes grises et de calcaires bioclastiques à lamellibranches, surmontée par (2) 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 : (1) La formation basale des calcaires massifs (2) 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.

3.2.4 Série d'Ain Rich, 250 m Portlandien – Berriasien :

Comporte deux formations : La formation des marnes à gypse de Taouïala (50 à 200 m d'épaisseur) qui apparaît sous forme d'une combe essentiellement marno-gypseuse qui affleure très mal. La formation des calcaires oolithiques du Zerga qui apparaît 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.

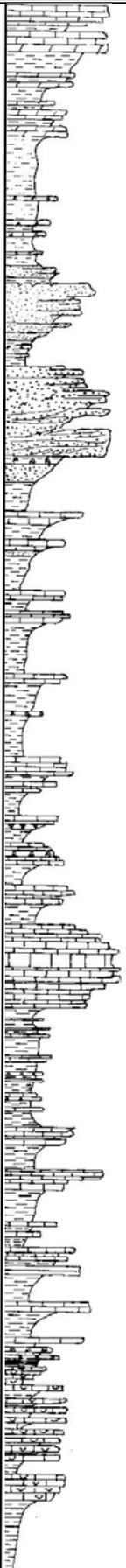
Age	Epaisseur	Log	Séries		Formation
K I M M E R I D G I E N	800 m		AÏN RICH	Sous-série d'Aflou	Marnes Gypseuses de Taouiala
	600 m		S.		Grès à chenaux de Taouiala
	400 m		S E R I E D E L A G H O U A T	Sous-série de Tadjemout	Marno-calcaires Bleutés
	200 m				Calcaires en plaquettes
0 m				Calcaires massifs "Repère"	
					Marnes Gypseuses
					Calcaires Lumachelliques

Figure 16: Coupe synthétique d'ain rich (d'après Nadji A. 1997).

3.3 Crétacé Inférieur :

3.3.1 Barrémien :

Cette période est caractérisée par une régression maximum. Dans l'Atlas Saharien le Barrémien se compose essentiellement d'une mégaséquence argilo-gréseuse continentale et d'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.

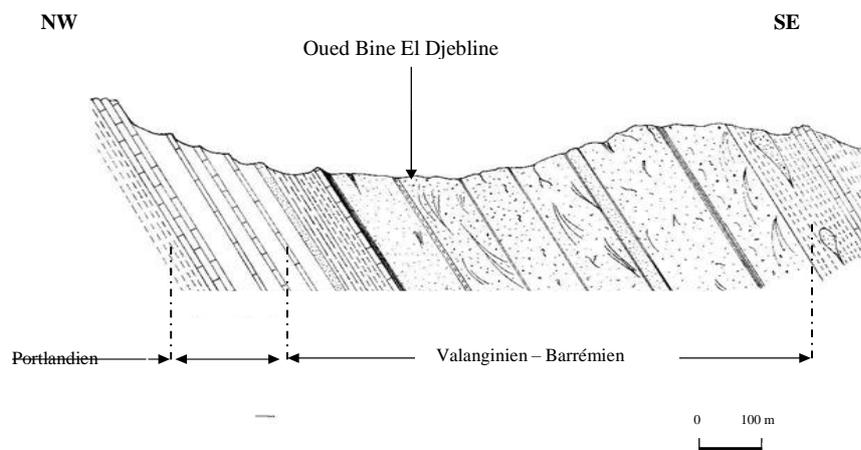


Figure 17: coupe schématique de oued bine el djebline (d'après Abed S. 1982).

3.3.2 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 Cénomani. Dans les régions où 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 :

3.3.2.1 L'Albien Inferieur :

Le faciès 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 contenant 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.

3.3.2.2 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 poupees et de calcaires avec de fréquentes intercalations de calcaires argileux

- A Laghouat : On peut observer une formation calcaréo - 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.

3.4 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

3.4.1 Le Cénomanién :

Dans l'Atlas Saharien Central et Oriental, le Cénomanién 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 Cénomaniénne 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 Cénomanién 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 Cénomanién 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.

3.4.2 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 calcaréo - 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 saharién. Il forme en effet la corniche terminale des grands synclinaux perchés qui surplombent en falaise les formations tendres du Cénomanién. 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 décimétriques 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 formation se continue par des calcaires massifs et de très rares nodules de silex. L'épaisseur de la formation atteint 120 à 150 m

3.4.3 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.

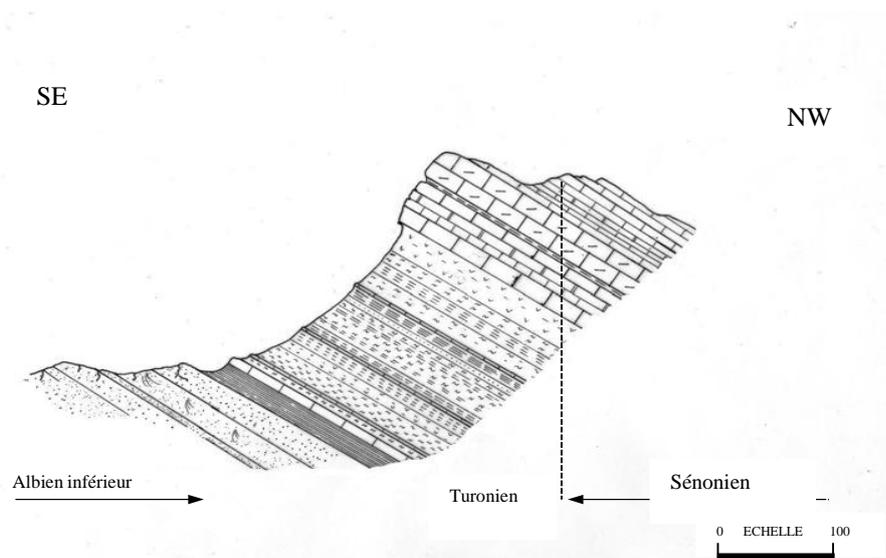


Figure 18: Coupe Schématique du Djebel Milok. (D'après Abed S. 1982)

3.5 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 :

3.5.1 L'Eocène :

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).

3.5.2 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.

3.5.3 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.

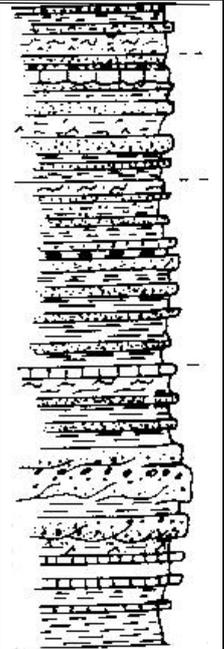
NEOGENE	Burdigalo-Serravalien	m.p		Formation lagunaire (marno-gypseuse); "Ain Lahdjar"
		m ²		Formation fluvio-lacustre de "Chaab Lahdid".
	Oligo-Aquitantien	m ¹		Formation d'alternances Argilo-gréseuses de tempêtes littorales peu profondes de " Chaab Ez Merra".
PALEOGENE	EO-OLIGOCENE	e-g ¹⁻³	Membre turbiditique carbonaté à intercalations hémipélagiques de "Sidi Bouzid".	
			Formation silico-clastique grossière à accréation latérale progradante de "Bled M'Zioued".	

Figure 19:Découpage mégaséquentiel des formations Post-turonniennes (d'après Nadji.A 1997).

3.6 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 fluviale. On y distingue deux séries :

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

- Le quaternaire récent : formé par des alluvions calcaires limono-sableuses, situées à 1 m au-dessus des talwegs.

Les dépôts de la vallée de l'Oued M'zi sont grossiers (graviers, galets et sables), de faible épaisseur, surtout aux cluses du pont de Laghouat et du Kef Seridja, Rocher des chiens et au Ksar Kabeg où 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 où les alluvions quaternaires reposent sur les dépôts détritiques tertiaires.

4 Tectonique :

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

4.1 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.

4.2 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 se prolonge du NE d'El Bayadh jusqu'au Nord de la ville d'Aflou.

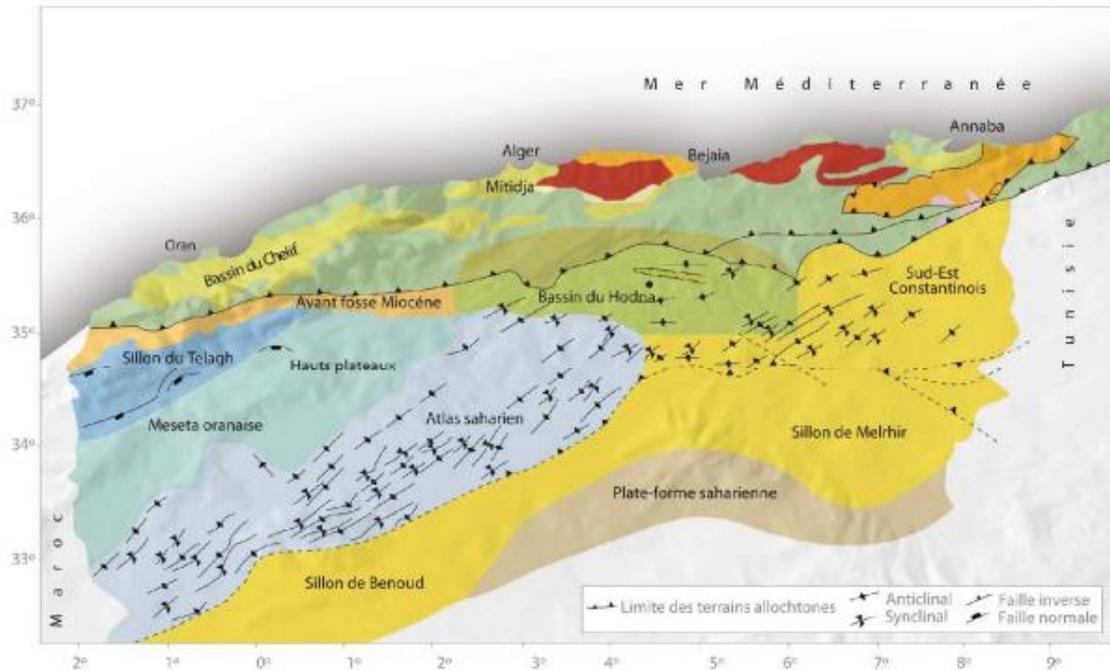


Figure 20 : les principales structures de l'atlas saharien (Wildi W., 1983)

5 L'origine de la vallée d Oued M'Zi :

Deux hypothèses 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 (Melhir).

2-Hypothèse de la déformation tectonique : vue à l'énorme dimension de la vallée d'Oued Djedi 400 kms *20kms, l'hypothèse de l'érosion régressive a été exclu 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.

6 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 coffrés à fond plat. Les formations marno-carbonatées du Cénomanién, Turonien et Sénonien des 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 saharién.

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

CHAPITRE 3 :

Etude hydroclimatologique

Chapitre 3 : Etude hydroclimatologique**1 Introduction :**

L'exploitation des eaux superficielles et souterraines et l'aménagement de la région sont en étroite dépendance avec les différents facteurs régissant le climat (régime des précipitations, température, vent et l'humidité) et ceux qui interviennent dans le partage successif des eaux à la surface du sol (lithologie, végétation, morphologie générale du bassin versant). L'ensemble concourant à l'établissement d'un bilan hydrologique pour une période déterminée et qui va constituer la base essentielle d'un modèle d'aménagement à adopter. L'étude des nappes souterraines est liée à l'étude hydro climatologique.

Tableau 8: coordonnées des stations pluviométriques.

Stations	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 Makhloof	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

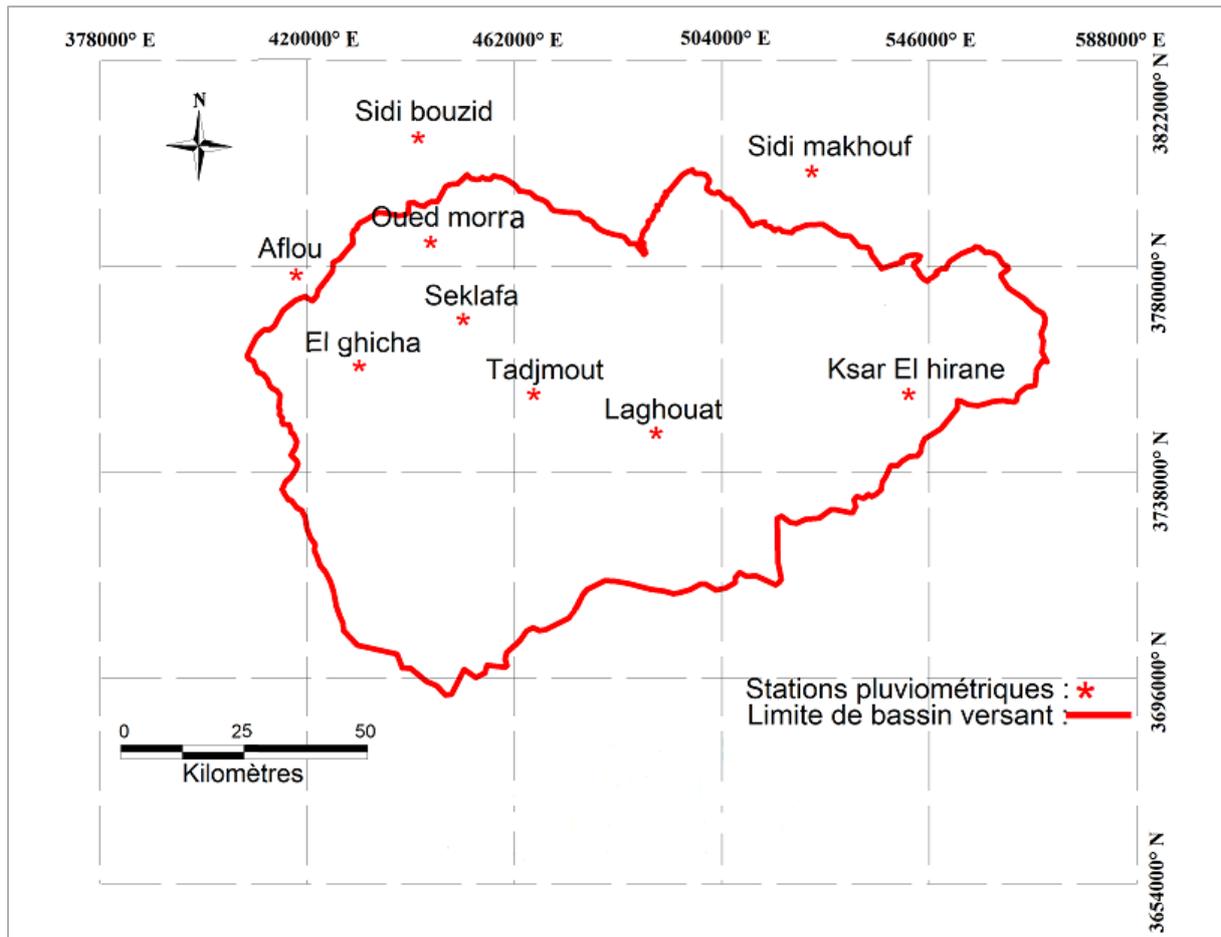


Figure 21: Carte de situation des stations pluviométriques.

2 Les paramètres climatiques :

2.1 Les précipitations :

2.1.1 Pluviométrie mensuelle :

Les données concernent la période de 1990 à 2011 soit 21 ans d'observations.

Tableau 9: précipitation moyennes mensuelle exprimées à la période (1990-2011).

Stations	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	mai	Juin	Juil.	Août.	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	12,6	8,05	15,91	257,66
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	11,5	10,59	9,98	2,45	5,09	128,14
Seklafa	26,92	27,34	6,34	10,93	11,53	10,4	19,05	13,33	12,49	9,31	8,24	13,21	169,09
tadjemout	22,89	23,56	12,64	17,52	13,21	17,14	25,94	11,44	11,26	7,6	2,65	9,69	175,53
Sidi makhlouf	20,88	21,36	5,7	7,11	12,47	11,28	10,25	13,7	7,83	4,68	1,74	6,59	123,6
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	6,4	150,94
Laghouat	13,27	7	10,12	19,86	9,25	10,53	4,72	12,2	25,3	17	6,6	13,91	149,71

➤ **Station de Sidi Bouzid :**

Cette station se situe à 1267 m d'altitude, les précipitations annuelles sont évaluées à 208,79 mm la moyenne mensuelle est 17,39 mm Le mois d'octobre le plus pluvieux atteint le maximum 34,55 mm, et le minimum apparait en juillet 0,11 mm.

➤ **Station d'Aflou :**

La région la plus pluvieuse sur notre zone d'étude elle se situe à 1267 m d'altitude, les précipitations annuelles sont évaluées à 257,66 mm, la moyenne mensuelle est de 21,47 mm. Le mois d'octobre le plus pluvieux atteint le maximum 31,48 mm, et le minimum apparait en juillet 8,05 mm.

➤ **Station de Oued Morra :**

Pour cette station, a une altitude de 1304 m, les précipitations annuelles sont évaluées à 105,03 mm, septembre est le mois le plus pluvieux avec 16,64 mm. Le minimum apparait en Juillet avec 02, 25 mm.

➤ **Station d'El Ghicha :**

Située à 1100 m d'altitude, les précipitations annuelles sont évaluées à 128,14 mm Septembre est le mois le plus importantes des précipitations 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.

➤ **Station de Seklafa :**

Elle est située à 1233 m d'altitude, les précipitations annuelles sont de 169,09 mm avec une moyenne mensuelle de 14,09 mm, atteint le maxima en octobre avec 27,34 mm, et septembre avec 26,92 mm, par contre le minima en juillet 9,24 mm et novembre 6,34 mm.

➤ **Station de Tadjemout :**

Pour la station de Tadjemout, se situe à 894 m d'altitude les précipitations annuelles sont évaluées à 175,53 mm, le mois de mars est le plus pluvieux avec 25,94 mm. Le minima est enregistré en juillet 2,65 mm.

➤ **Station de Sidi Makhlouf :**

La station se situe à 886 m d'altitude ces précipitations annuelles sont évaluées à 123,6 mm, le mois le plus importantes de l'année (pluvieux) est le mois d'octobre avec une moyenne de 21,36 mm. et le plus faible enregistrées en Juillet avec 1,74 mm seulement.

➤ **Station de Ksar El Hirane :**

L'altitude de cette station est de 719 m, 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, avec une précipitation annuelle de 150,94 mm.

➤ **Station de Laghouat :**

La station de Laghouat se situe à 719 m d'altitude, cette précipitation annuelle sont évaluées à 149,71 mm, le mois plus pluvieux c'est le mois de mai avec 25,3 mm, le mois le plus faible en précipitation moyenne est le mois de juillet avec 6,6 mm.

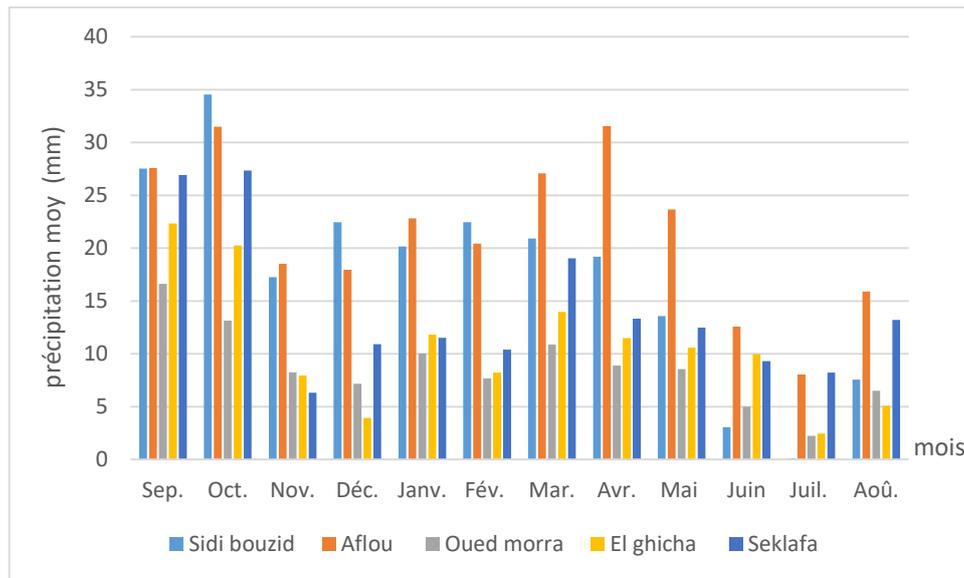


Figure 22: précipitation moyennes mensuelle station en amont(1990-2011).

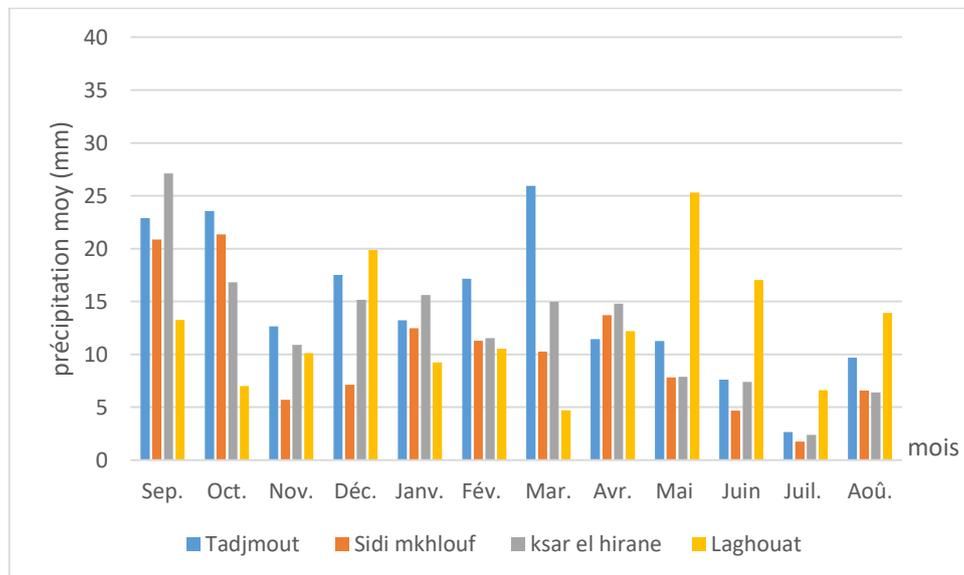


Figure 23: précipitation moyennes mensuelles station en avale(1990-2011).

Les précipitations mensuelles de ces neuf stations, la plupart se caractérise par une pluviosité maximale pendant le mois d’Octobre et Septembre à l’exception de la station de Tadjemout et Laghouat qui présente une pluviosité maximale pendant le mois de mars et le mois de mai, tandis que juin, juillet et août sont secs.

2.1.2 Pluviométrie annuelle :

La période d'étude s'étend de 1990 à 2011 (Tableau.10) soit 21 ans pour les stations suivantes : Sidi Bouzid, Aflou, Oued Morra, El Ghicha, Seklafa, Tadjmout, Sidi Makhlouf, Ksar El Hirane et Laghouat.

Tableau 10: Valeurs des précipitations annuelles des neuf stations (1990-2011).

Années	sidi Bouzid	Aflou	Oued Morra	Oued ghicha	Seklafa	Tadjemout	Laghouat	Sidi makhlouf	Ksar el Hirane
1990	149,9	243,8	114,8	82,5	111	201,5	112	126,5	159,8
1991	282,2	383,5	126	69,3	205,9	227	178	135,4	157,9
1992	51,2	150,7	59	69,3	107,8	128,3	102	66,2	155,4
1993	37,6	168,9	68	96,5	70,7	92	65	49	58,4
1994	94	313,3	99,5	228,5	263	257,9	119	137	144,8
1995	341	328,6	152,4	247,6	317,9	299,5	121	193,8	296,6
1996	102,5	351,8	128,7	117,8	159,1	154,3	180,9	126,7	152,1
1997	459	350,8	125,2	164,8	193,3	86,8	237,7	175,3	176,5
1998	106,2	87,54	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	87	106,4	130,3	82,9	76,2	59,1
2001	78,2	153	44,7	35,3	138,4	71,5	95,2	119,8	142,9
2002	180,7	170,3	78	68	81	171,4	101,4	50,1	105
2003	240,7	337	116,6	355,7	266,8	171	148,2	131,7	185,1
2004	201	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	251,81	128,1	142,8
2007	146,9	159,5	62,5	46,2	111,7	99	91,4	52,4	71
2008	409,6	341	243,2	223,6	230,4	339,4	181,9	283,7	163,3
2009	223	372,7	202	101,5	220,5	293,5	159,7	131	147,3
2010	154,5	312	102,5	98,7	203,5	135,6	137,7	124,9	149,4
2011	403,7	385,5	106	42,9	129,5	78,8	148,7	115,8	150

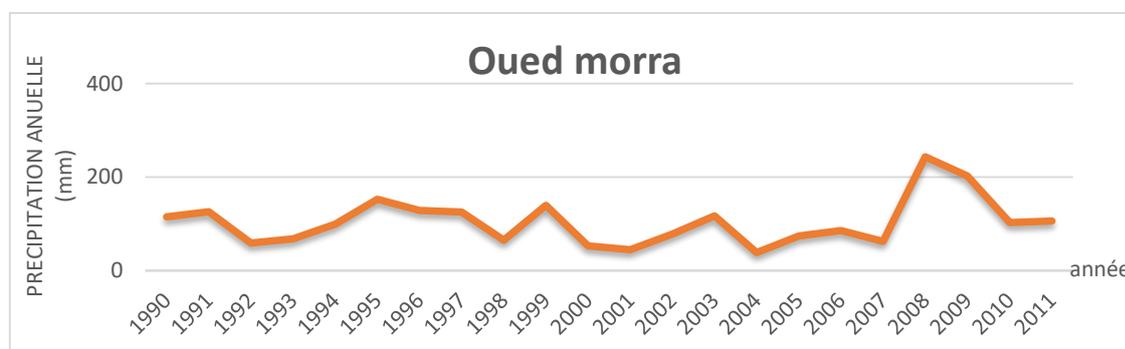


Figure 24 a : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station oued morra (1990/2011)



Figure 24 b : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station Elghicha (1990/2011)

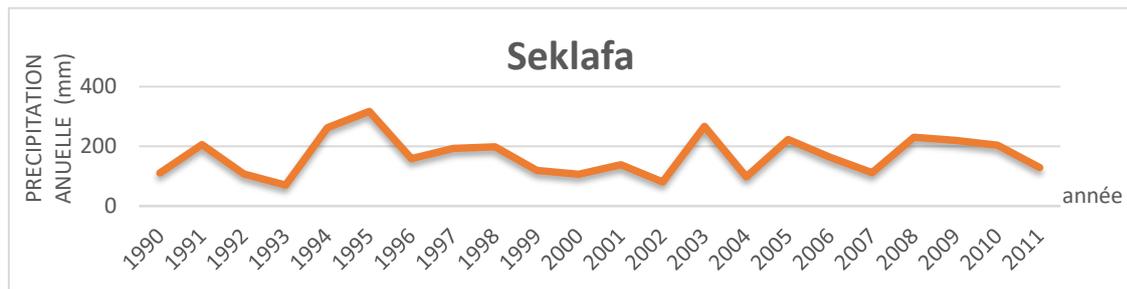


Figure 24 c : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station Seklafa (1990/2011)

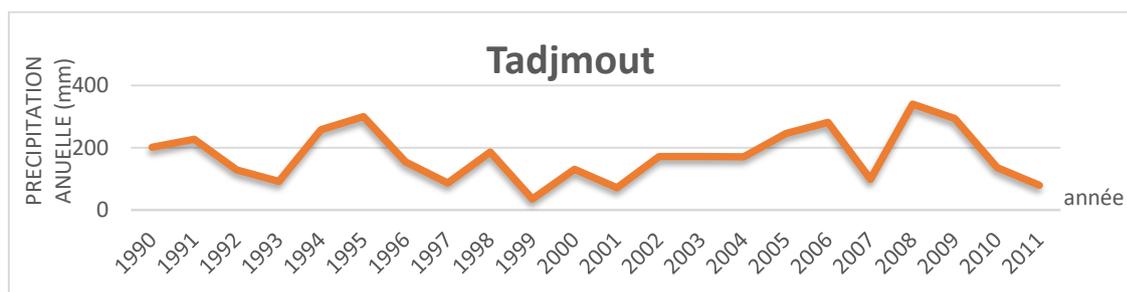


Figure 24 d : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station Tadjmout (1990/2011)



Figure 24 e : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station Ksar elhirane (1990-2011)

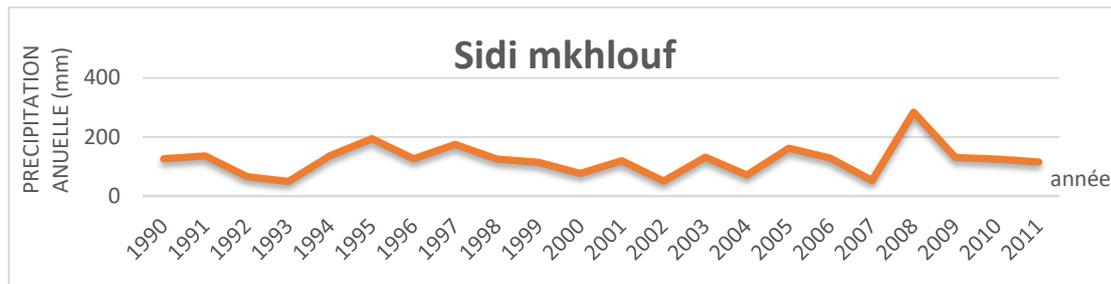


Figure 24 f : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station Sidi mkhlof (1990-2011)

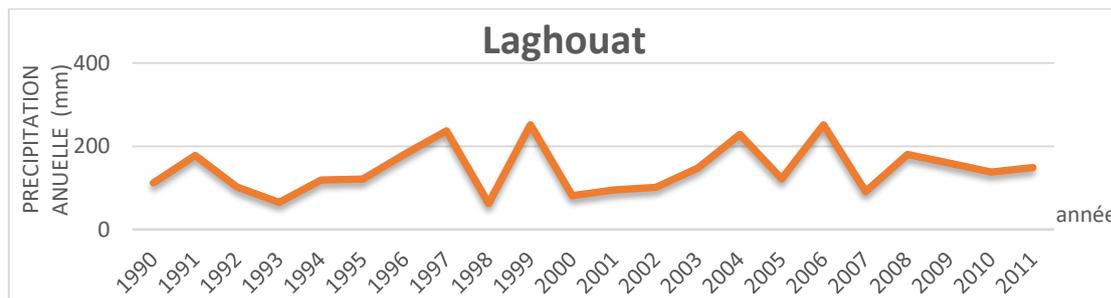


Figure 24 g : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station Laghouat (1990-2011)

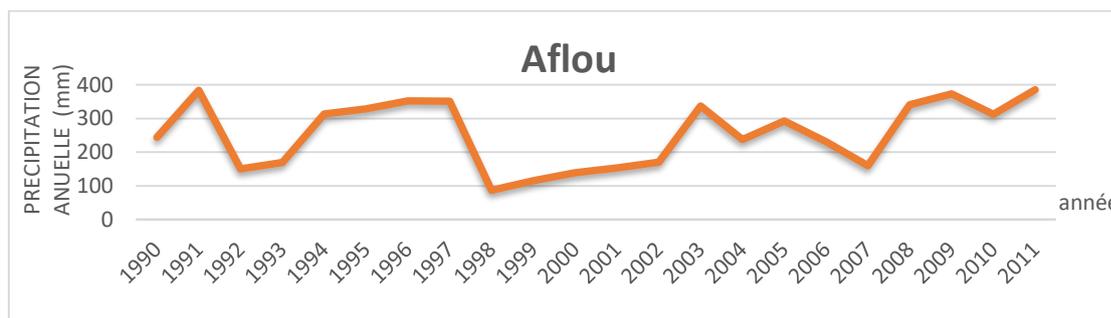


Figure 24 h : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station Aflou (1990-2011)

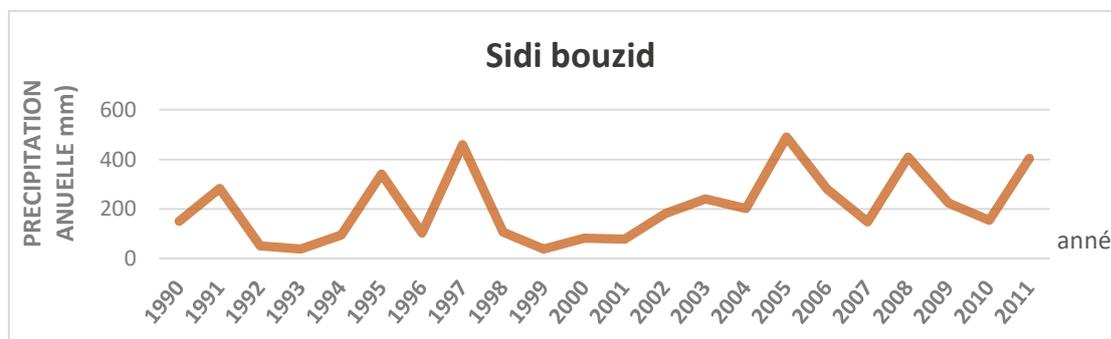


Figure 24 i : L'évolution des Précipitations annuelles dans la station Sidi bouzid (1990-2011).

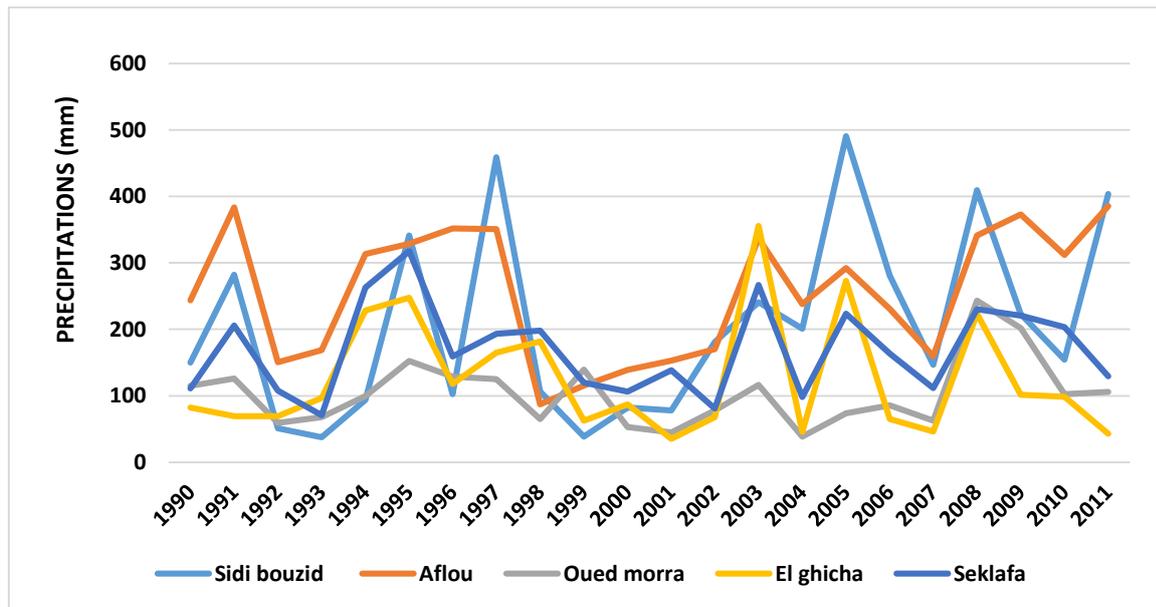


Figure 25: Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles (stations en amont), période (1990-2011).

Les Précipitations moyennes annuelles des stations de sidi Bouzid de 409,6 mm et Aflou de 385,5 mm sont les plus pluvieuses, par rapport aux autres stations d'Oued el Morra la plus sèche 152,4 mm, El ghicha avec 355,7 mm et Seklafa avec 317,9 mm.

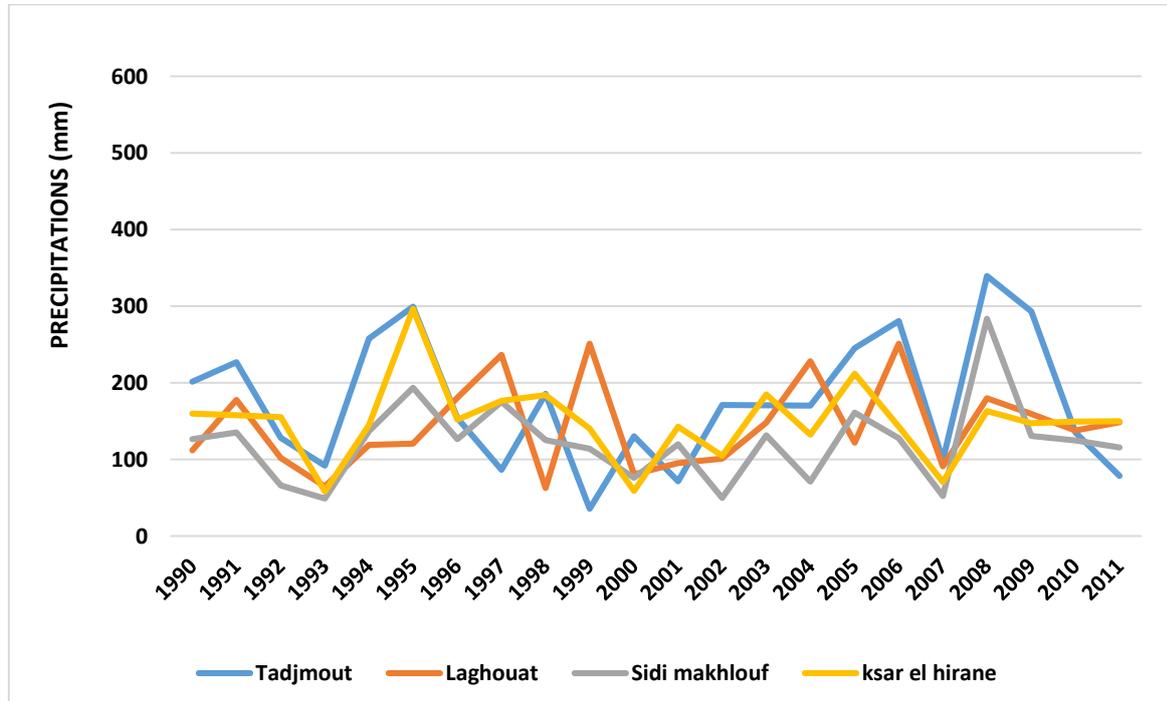


Figure 26 : Comparaison de l'évolution des Précipitations annuelles (stations en aval), période (1990-2011).

La station de Tadjmout la plus pluvieuse, atteint la valeur maximale 339,4mm, sidi makhlouf la plus sèche avec une valeur maximale 283,7mm, pour Laghouat atteint la valeur maximale 251,81 mm, ksar el hirane avec 296,6 mm.

L'évolution des précipitations moyennes annuelles du bassin versant d'oued mzi, sont plus élevée en amont avec 409,6 mm, que les stations en aval avec 339,4 mm.

2.1.3 Etude de la pluviométrie saisonnière :

Tableau 11: Précipitations saisonnières pour la période (1990/2011).

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Été
Sidi Bouzid	79,32	65,08	53,65	10,74
Aflou	77,58	61,2	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	60,6	32,86	44,87	30,76
Tadjmout	59,09	47,87	48,64	19,93
Sidi makhlouf	47,95	30,86	31,78	13,01
Ksar el Hirane	54,82	42,28	37,62	16,2
Laghouat	30,39	39,64	42,22	37,53

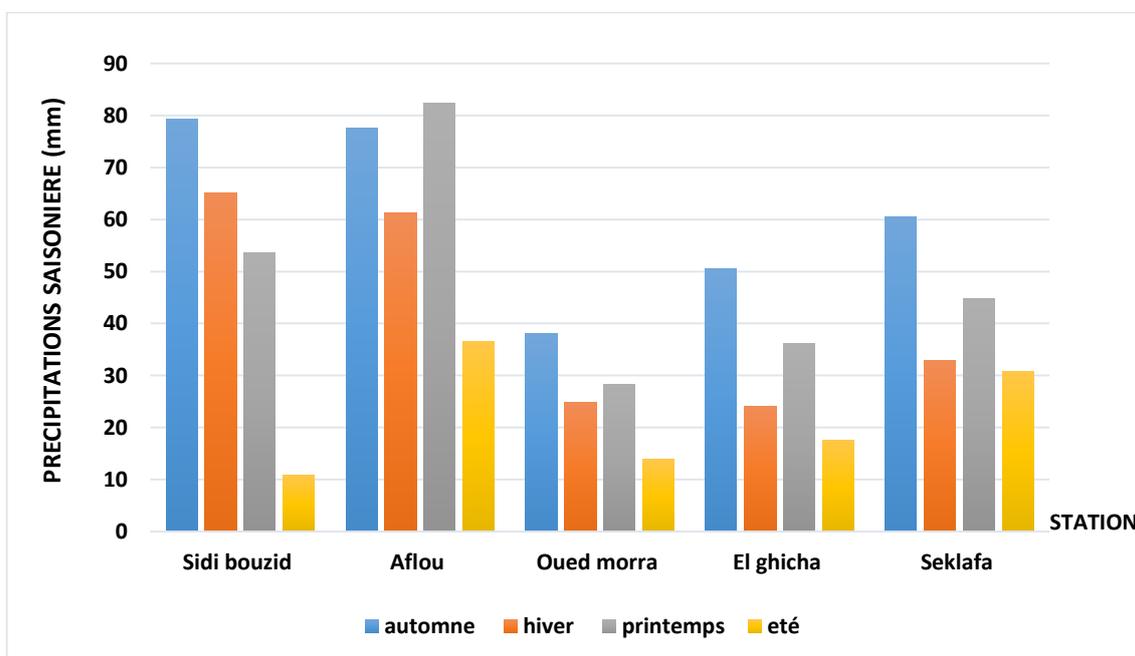


Figure 27: Variations saisonnières des précipitations stations en amont.

La variation saisonnière des précipitations sur notre zone d'étude en amont, l'été correspond à la saison la plus sèche avec des moyennes comprises entre 10,74 mm à sidi Bouzid

et 30,76 mm à seklafa. L'Automne et le printemps représentent les saisons les plus pluvieuses avec une valeur maximale de 82,32 mm, à la station d'Aflou.

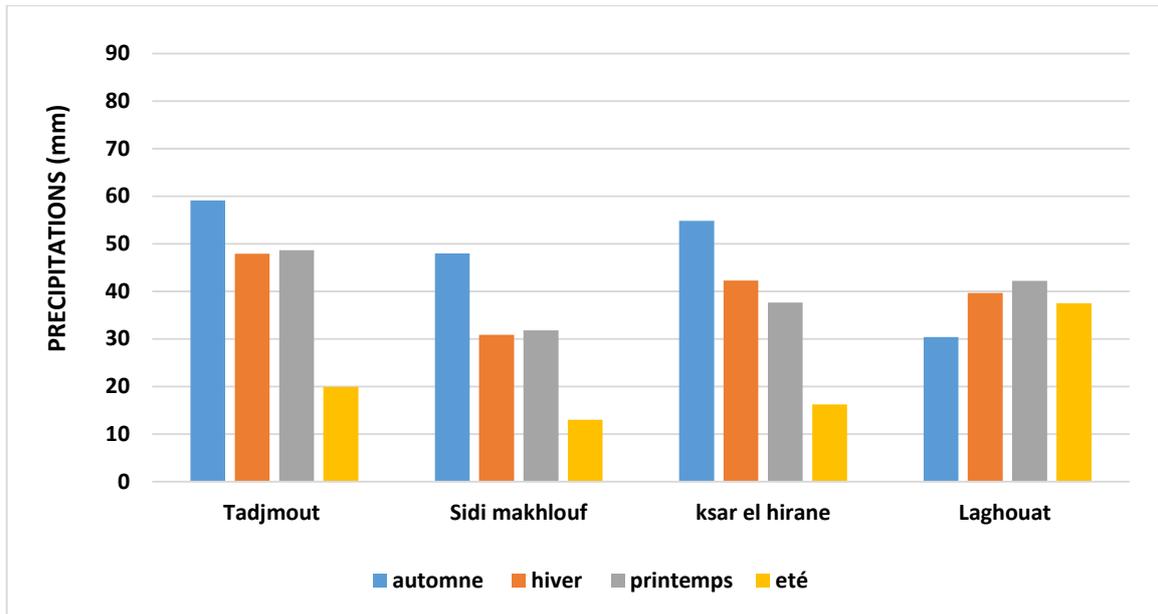


Figure 28: Variations saisonnières des précipitations aux stations en aval.

La variation saisonnière des précipitations sur notre zone d'étude en aval, l'été correspond à la saison la plus sèche avec des moyennes comprises entre 13,01mm à sidi makhoulf et 37,53 mm à Laghouat. L'Automne et le printemps présentent les saisons les plus pluvieuses avec une valeur maximale de 59,09 mm à la station Tadjmout.

2.2 La Température :

La température est un facteur important conditionnant l'estimation du déficit d'écoulement. Nous avons pu disposer de données de la température afférant à la station météorologique de Laghouat période (1990/2011) et d'Aflou (1990/2011).

2.2.1 Variations des températures moyennes mensuelles :

a) Station de Laghouat :

Tableau 12 : variations des température moyenne mensuelles station Laghouat Période (1990-2011).

mois	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin	Juit.	Aoù.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
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

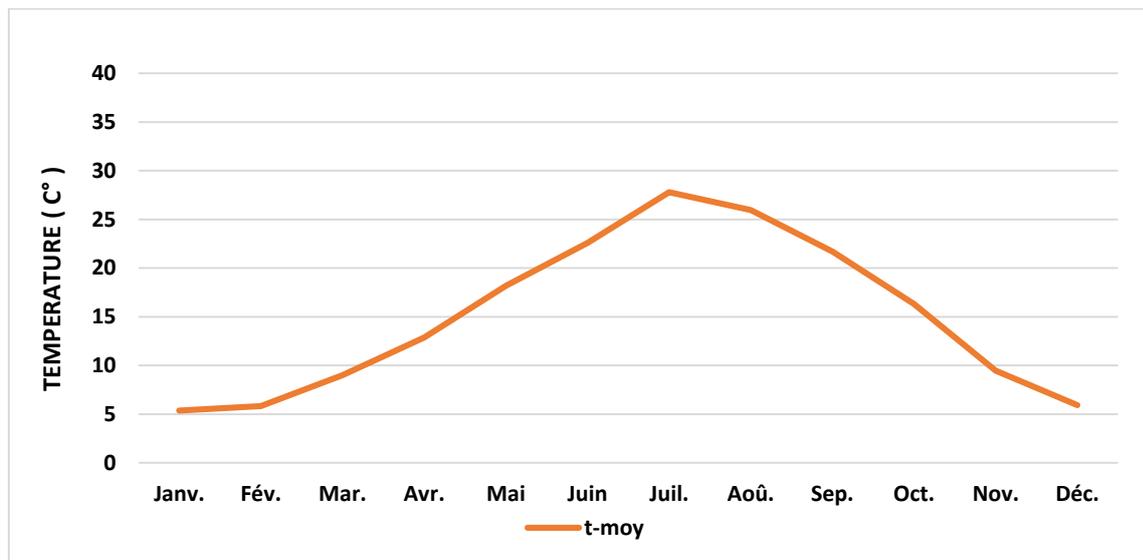


Figure 29: courbes des variations températures station de Laghouat (1990-2011).

Les courbes représentatives des températures (min,max.et moy) ont pratiquement la même allure, le mois de juillet sépare les courbes en deux périodes intervalles

. Du mois de janvier à juillet : en croissance nette des températures. Le plus grand écart s’observe au mois de juillet avec un maximum de 40,48°C et un minimum de 23,4 °C.

. Du mois de juillet à décembre : ou les températures baissent pour allant leur minimum le plus faible écart s’observe en décembre avec un maximum de 14,54°C et un minimum de 2,9°C.

b) Station d’Aflou :

Tableau 13: variations des température moyennes mensuelles station d’Aflou Période (1990-2011).

mois	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aoù.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy annee
t-- moy	3,9	4,4	8,05	10,7	16,1	19,3	24,2	24,7	20,75	15,2	10,6	5,65	13,63

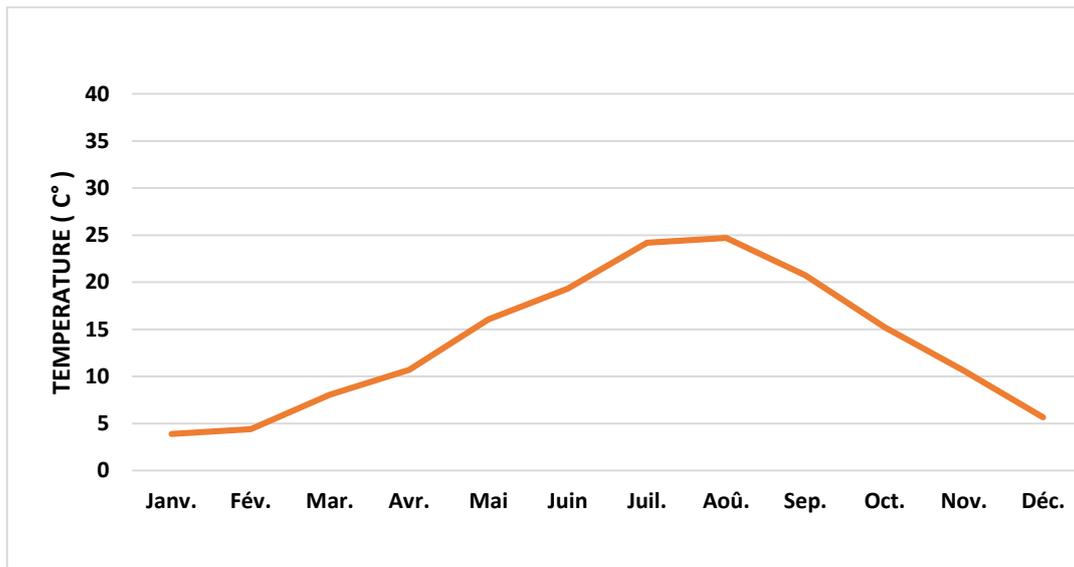


Figure 30: courbe des variations températures station d’Aflou période (1990-2011).

La courbe représente la variation des températures, on observe que :

. Du mois de janvier à d’août : croissance nette des températures le plus grand écart s’observe au mois de janvier avec minimum de 3,9°C, au mois d’aout avec un maximum de 24,75°C.

. Du mois d’aout à décembre : ou les températures baissent aux minimums, la valeur la plus faible s’observe en décembre avec 5,65 °C.

3 Régime climatique :

La détermination des conditions climatiques se fait par plusieurs méthodes :

3.1 Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1953) :

Pour déterminer la période sèche et la période humide (Figure.31), Gaussen et Bagnouls, ont établi un diagramme en combinant la température et la pluviométrie, le diagramme est composé de trois axes :

L'axe des abscisses : les mois de l'année.

Le premier axe des ordonnées : les précipitations moyennes mensuelles.

Le deuxième axe des ordonnées : le double des températures moyennes mensuelles.

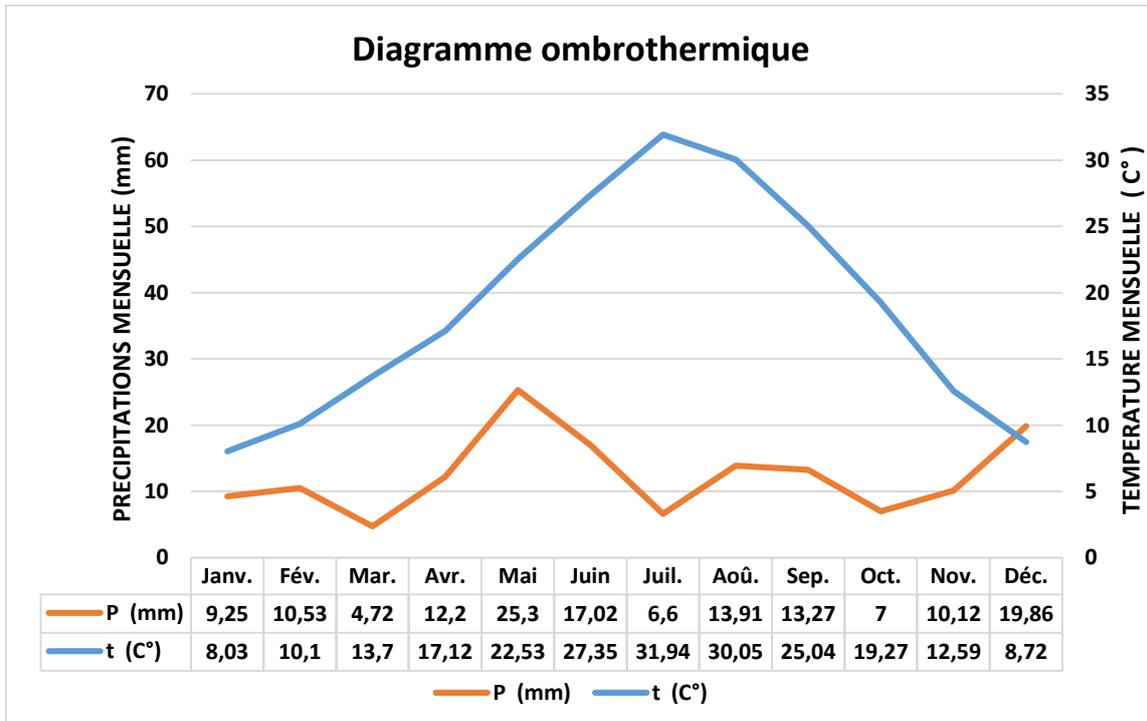


Figure 31: Diagramme ombrothermique, station de Laghouat (1990-2011).

D'après la courbe ombrothermique, à la station de Laghouat, on constate que la période déficitaire s'étale toute l'année.

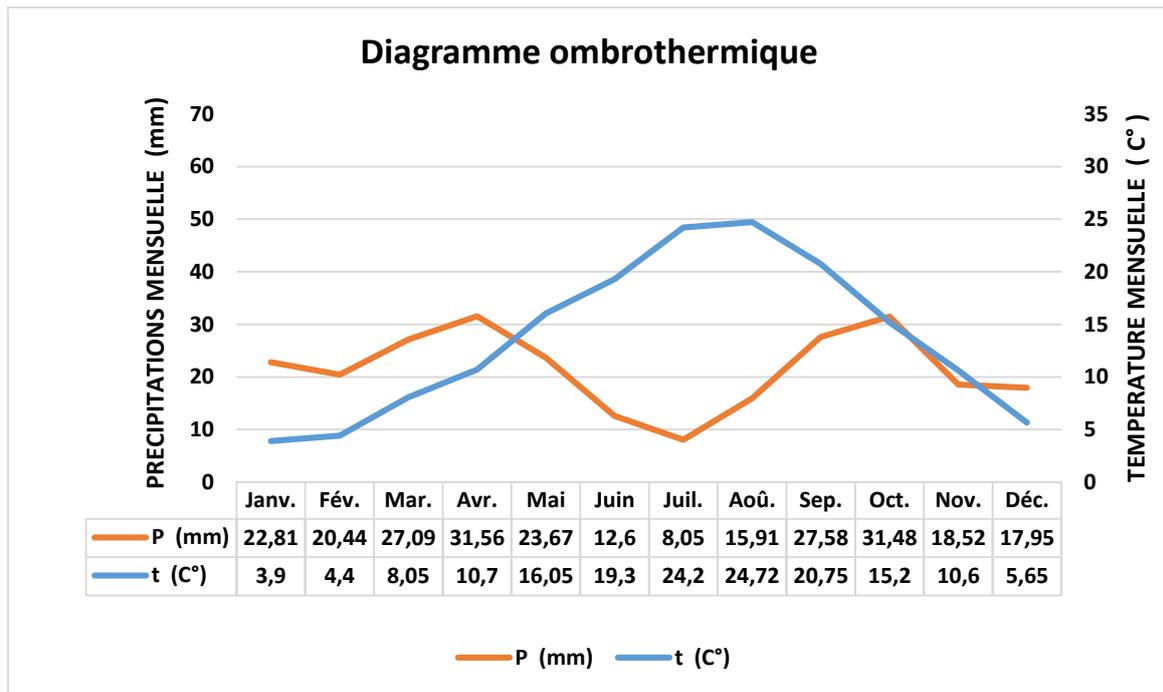


Figure 32: Diagramme ombrothermique de la station d'Aflou(1990-2011) .

A la station de Aflou on remarque que la saison sèche s'étend du mois d'avril jusqu'à mois de novembre.

3.2 Diagramme d'Emberger :

Il s'agit de déterminer la gamme des climats par deux facteurs, les précipitations et les températures :

a) Station Laghouat :

$$Q_2 = 3.43 \frac{P}{M-m}$$

Où **P** : précipitation totale annuelle (mm).

M : moyenne maximale du mois le plus chaud en degré (kelvin).

m : moyenne minimale du mois le plus froid en degré (kelvin).

Les données : P = 149,71 mm, M = 31.94+273.15 K, m = 8.03+273.15 K.

$$A.P : Q_2 = 3.43 \frac{149.71}{305.09-281.18}$$

$$Q_2 = 21.47$$

b) Station Aflou :

$$Q_2 = 3.43 \frac{P}{M-m}$$

Où **P** : précipitation totale annuelle (mm).

M : moyenne maximale du mois le plus chaud en degré (kelvin).

m : moyenne minimale du mois le plus froid en degré (kelvin).

Les données : P = 257.66 mm, M = 24.7+273.15 K, m = 3.9+273.15 K.

$$Q_2 = 3.43 \frac{257.66}{297.85-277.04}$$

$$Q_2 = 42.46$$

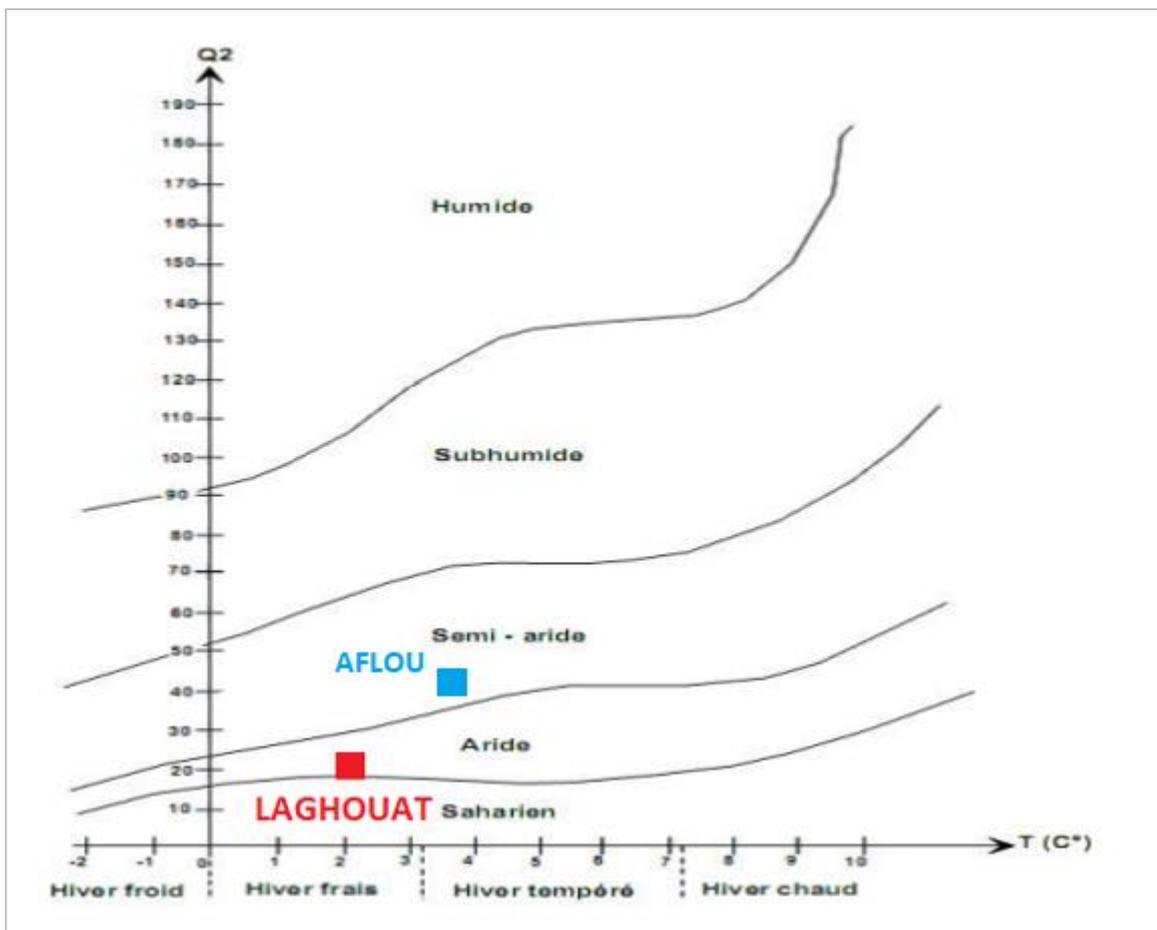


Figure 33: Classification de la station de Laghouat selon le diagramme d’Emberger.

D’après les résultats Q_2 et la projection sur le diagramme d’Emberger, en constate que le climat de Laghouat est un climat aride avec un hiver frais, et le climat de Aflou est un climat semi-aride avec un hiver tempéré.

4 L’humidité relative :

Humidité ou état hygrométrique c’est le rapport exprimé en % de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la température.

Tableau 14: L’humidité relative de la station de Laghouat des périodes (1979-1980) et (1990 - 2011).

Humidité relative	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	mai	Juin	Juil.	Août.
(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

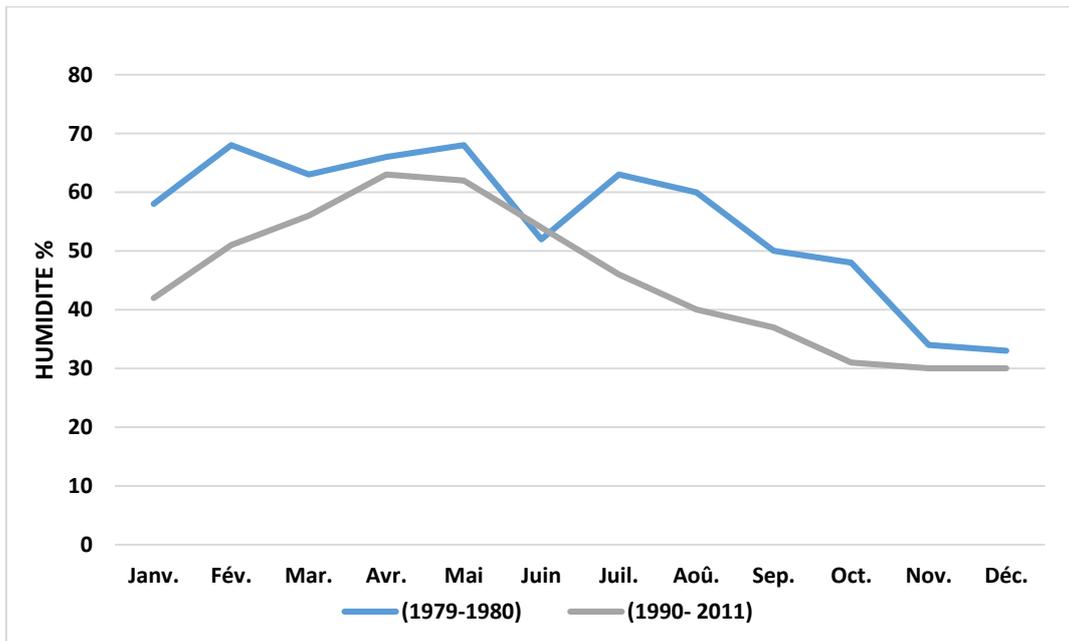


Figure 34: L’humidité dans la région de Laghouat période (1979 - 1980) et (1990-2011).

Notre étude d’humidité sur la région de Laghouat est subdivisée en deux périodes différentes :

La période (1979 - 1980) est une période humide, la moyenne annuelle est de 55% atteint son maximum en mois de janvier avec 68% et très faible en juillet et aout (30 à 34%)

La seconde période (1990 - 2011), est moins humide. Elle atteint son maximum au mois de décembre de 63% et très faible en juillet et aout (30%).

On constate que la période (1979 - 1980) est plus humide que la période (1990 - 2011).

5 Les vents :

Tableau 15: direction des vents et leurs fréquences en %. Station de Ain mahdi Laghouat (1973-1984).

Mois	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Janvier	200	54	116	8	110	51	82	44
Février	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
Juillet	64	39	269	86	253	110	127	18
Août	108	49	258	57	226	125	173	16
Septembre	100	43	245	83	215	99	122	18
Octobre	156	74	108	58	124	55	117	55
Novembre	101	56	110	17	65	48	114	27
Décembre	143	50	86	15	67	48	117	34

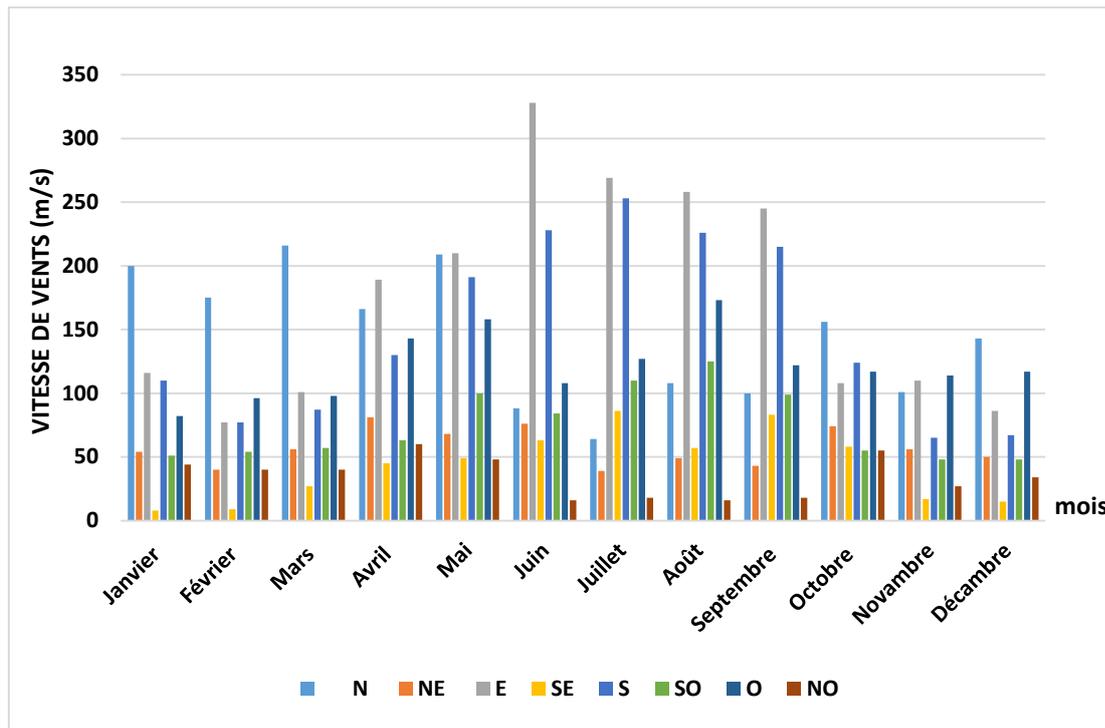


Figure 35: Différentes directions de vents à la station de Ain Madhi (1973-1984).

Pour les vents du Nord, Ils présentent un maximum de fréquence en Janvier, Février et un minimum en novembre et septembre. Ils sont associés à d'importantes précipitations quand les perturbations qu'ils accompagnent se sont renforcées lors de leur passage sur la Méditerranée est atteint le Sud de l'Algérie.

Les vents d'Est c'est en juin qu'ils présentent leur maximum de fréquence mais ils règnent sur le domaine Atlasique d'avril à septembre.

L'ensemble des vents chauds et secs venus du Sud le sirocco en juin et juillet.

6 Etude d'évaporation, évapotranspiration et déficit d'écoulement.

L'évaporation et D'évapotranspiration, traduisent le retour de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur. Ce phénomène pouvait être physique évaporation ou action de l'activité biologique des végétaux (transpiration). Le déficit d'écoulement représente la différence entre précipitations et volumes écoulés ou infiltrés.

6.1 Évaporation :

Les mesures réalisées avec un évaporomètre Piche au niveau de la station de Laghouat et la station d'Aflou sont mentionnées dans le tableau.16 :

Tableau 16: Moyennes mensuelles de l'évaporation. Laghouat (1973-1980) et Aflou (1999-2011).(Aissaoui .A,2016)

station	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	mai	Juin	Juil.	Aoû.	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

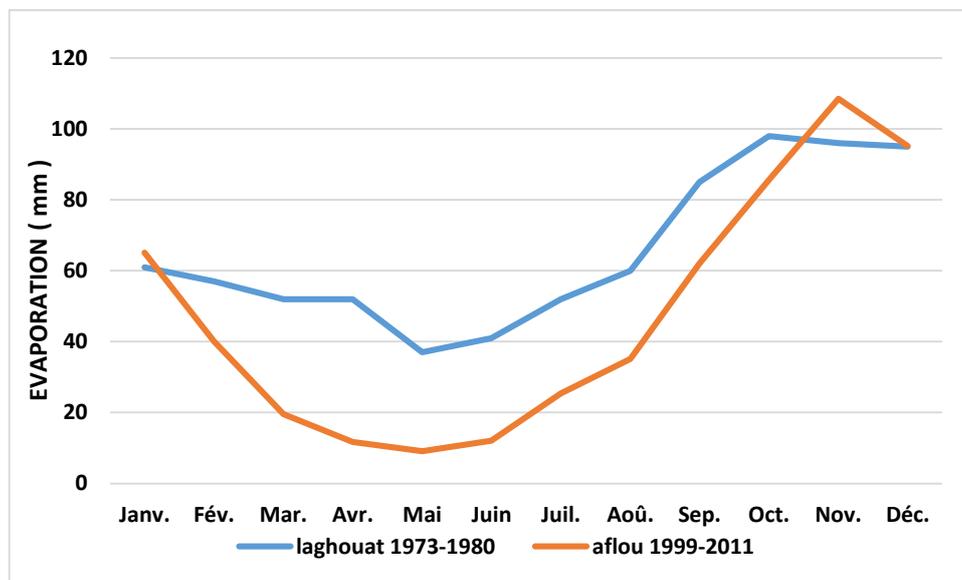


Figure 36: Evaporation moyenne mensuelle Laghouat (1973-1980), Aflou (1999-2011).

Pour la station de Laghouat période (1973-1980), l'évaporation totale annuelle est de 786 mm, les maxima se rencontrent aux mois de juin 98 mm, les minima en janvier 37 mm. Pour la station d'Aflou période (1999-2011), les maxima s'observe est en juillet 108.5 mm, les minima en janvier 9.11 mm.

6.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle ETP :

Plusieurs méthodes ont été proposées par différents auteurs pour le calcul de l'ETP, comme celles de Penman, Thornthwaite, Turc et Blanney-Cridde. Il faut décrire leurs zones climatiques d'applications.

6.2.1 Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite :

a) Station Laghouat :

Calcul de l'ETP selon la formule de Thornthwaite :

$$ETP = 16 \left[\frac{10 T}{I} \right]^a \text{ (mm)}$$

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

T : La température moyenne mensuelle en C°.

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

i : L'indice mensuel de chaleur, $i = \left[\frac{T}{5} \right] 1,514$

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 concernée :

$$ETP \text{ corrigés} = ETP.K$$

Tableau 17: ETP calculée par la méthode de Thornthwaite à la station de Laghouat (1990-2011).

Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
T °C	25,0	19,3	12,6	8,7	8,0	10,1	13,7	17,1	22,5	27,4	31,9	30,1	
i	11,5	7,7	4,0	2,3	2,0	2,9	4,6	6,4	9,8	13,1	16,6	15,1	96,1
k	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,86	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETPc	123,3	67,0	24,3	11,0	9,5	15,3	34,7	59,2	116,0	175,8	247,6	203,8	1087,6

$$I = 96,1 \quad a = 2,1$$

$$ETPc = 1087,6 \text{ mm,}$$

b) Station d'Aflou :

Les résultats obtenus, pour la station d'Aflou, sont mentionnés dans le Tab.10 avec :

Tableau 18: ETP calculée par la méthode de Thornthwaite à la station d’Aflou (1990-2011).

Année	Sept.	Oct.	Nov.	Déc	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuel
T °C	20,8	15,2	10,6	5,7	3,9	4,4	8,1	10,7	16,1	19,3	24,2	24,7	
i	8,6	5,4	3,1	1,2	0,7	0,8	2,1	3,2	5,9	7,7	10,9	11,2	60,8
k	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,86	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETPc	97,6	58,5	30,8	12,1	7,3	8,6	24,7	39,9	79,4	104,0	146,8	141,6	751,3

I = 60,8 et **a** = 1,45

Donc, **ETPc** = 751,3 mm,

Les variations des valeurs d’évapotranspiration potentielle ETP, liée à la température, dans les deux stations, à la même période (1990-2011), montrent une différence entre l’évapotranspiration à la station de Laghouat élevée avec 1087,6 mm, alors qu’à la station d’Aflou, elle est de 751,3 mm.

6.3 Evapotranspiration réelle ETR :

L'estimation de l'ETR est facilement accessible grâce à des formules empiriques (Turc, Coutagne, Wundt), qui utilisent les données faciles à quantifier comme la température et les précipitations.

6.3.1 Méthode de Turc :

Pour calculer l’évapotranspiration réelle avec cette formule on utilise la hauteur annuelle de pluie et la température moyenne 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 °C).

Tableau 19: Résultats des calculs de l'évapotranspiration réelle par la méthode de Turc pour les stations de Laghouat et Aflou (1990/2011).

Stations	T-moy °C	L	P mm	ETR mm/an
Laghouat	18,87	1107,71	149,71	156,23
Aflou	13,63	767,73	257,66	256,04

Avec cette méthode, il résulte que l'évapotranspiration réelle à la station d'Aflou est de 256,04mm est plus élevée qu'à la station de Laghouat (156,23mm), avec un écart de 114,53mm.

6.3.2 Méthode de M. Coutagne :

On calcule le déficit d'écoulement à partir de cette formule qui fait intervenir la pluviométrie et la température avec :

$$ETR = De = P - \lambda P^2$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8+0.14T}$$

De : déficit d'écoulement annuel en mm proche de l'évapotranspiration réelle (**m/an**)

P : Précipitation moyenne annuelle (**m**).

T : température moyenne annuelle (°C).

Cette formule est applicable pour les valeurs des précipitations comprises entre

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

Si les précipitations sont inférieures à $\frac{1}{8\lambda}$ le déficit d'écoulement est pratiquement indépendant de P et donné par la formule suivante :

$$ETR = 0.20 + 0.025T \quad / \text{Application numérique :}$$

Stations	T °C	λ	P m	$1/2\lambda$	$1/8\lambda$	ETR (m)
Aflou	13,63	0,36	0,25766	1,39	0,34	0,233
Laghouat	18,87	0,29	0,14971	1,72	0,43	0,143

Cette formule n'est valable que pour des valeurs du P comprise entre : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$, donc pour

les deux stations la formule n'est pas applicable $P < \frac{1}{8\lambda}$

6.3.3 Méthode de Wundt (graphique) :

L'abaque de Wundt modifiée par Coutagne donne le déficit d'écoulement que l'on peut assimiler à l'ETR ou De en prenant en considération la température moyenne annuelle (°C) et les précipitations moyennes annuelles (mm).

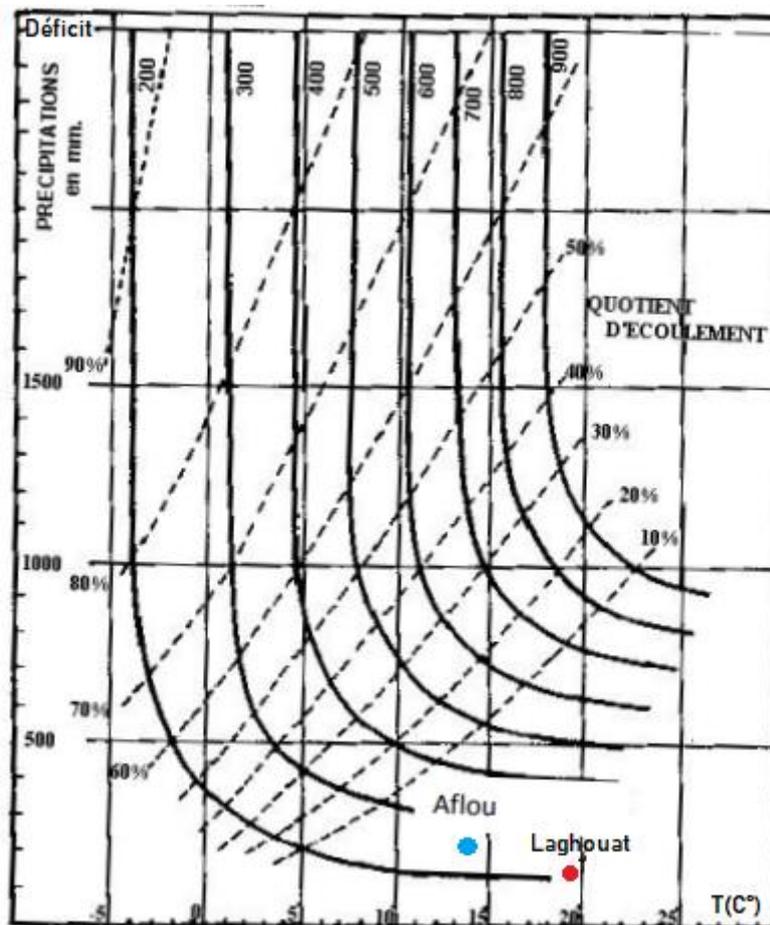


Figure 37: l'abaque de Wundt pour déterminer le déficit d'écoulement (ETR) pour Laghouat et Aflou.

D'après la projection on a obtenu les résultats suivants :

Déficit Laghouat=210 mm déficit Aflou = 280mm

On obtient un déficit d'écoulement en ordonnée **De= ETR**

Avec cette méthode il résulte que l'évapotranspiration réelle à la station d'Aflou est de 280 mm, elle est plus élevée qu'à la station de Laghouat 210mm,

6.3.4 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.

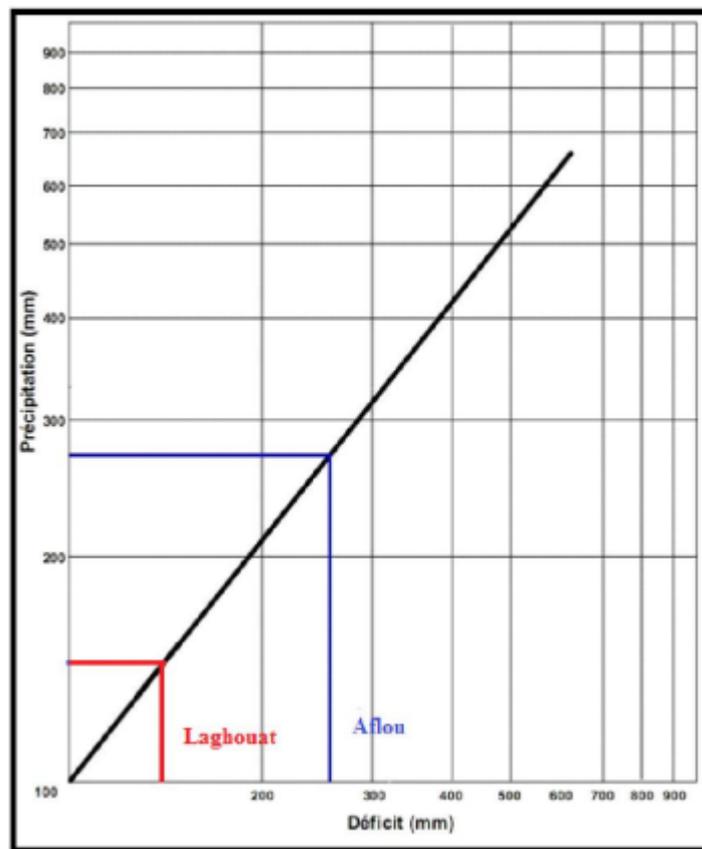


Figure 38: Projection des stations pluviométriques sur l'abaque de VERDEIL.(Aissaoui, 2016)

Après la projection sur l'abaque de Verdeil on a obtenu les résultats suivants :

- La station de Laghouat ETR= 140 mm
- La station de Aflou ETR= 247 mm.

6.3.5 Calcul de l'ETR par la méthode du bilan simplifié de Thornthwaite :

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

- Si : $P \geq ETP$, $ETP=ETR$; il y'a une quantité d'eau (P-ETP) qui va alimenter la RFU jusqu'à son maximum pris à un seuil de 100 mm (100%)
- Si : $P=ETP$, les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol seulement
- Si : $P < ETP$, l'ETR est inférieur à l'ETP, il existe un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier est sensiblement équivalent aux besoins en eau d'irrigation des cultures.

Tableau 20: Bilan hydrologique moyen (1990-2011) à la station de Laghouat, par la méthode de Thornthwaite.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Annuel
P	13,3	7,0	10,1	19,9	9,3	10,5	4,7	12,2	25,3	17,0	6,6	13,9	149,8
ETPc	123,3	67,0	24,3	11,0	9,5	15,3	34,7	59,2	116,0	175,8	247,6	203,8	1087,6
P-ETPc	-110,1	-60,0	-14,2	8,9	-0,3	-4,8	-30,0	-47,0	-90,7	-158,8	-241,0	-189,8	
RFU	0,0	0,0	0,0	8,9	8,7	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ETR	13,3	7,0	10,1	11,0	9,5	15,3	8,6	12,2	25,3	17,0	6,6	13,9	149,8
Excédent	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Déficit	110,1	60,0	14,2	0,0	0,0	0,0	26,1	47,0	90,7	158,8	241,0	189,8	937,7

On remarque que toute l'eau précipitée à Laghouat est reprise par l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration réelle. A Laghouat, tombe 149 mm de pluie qui s'évapore dans le ciel

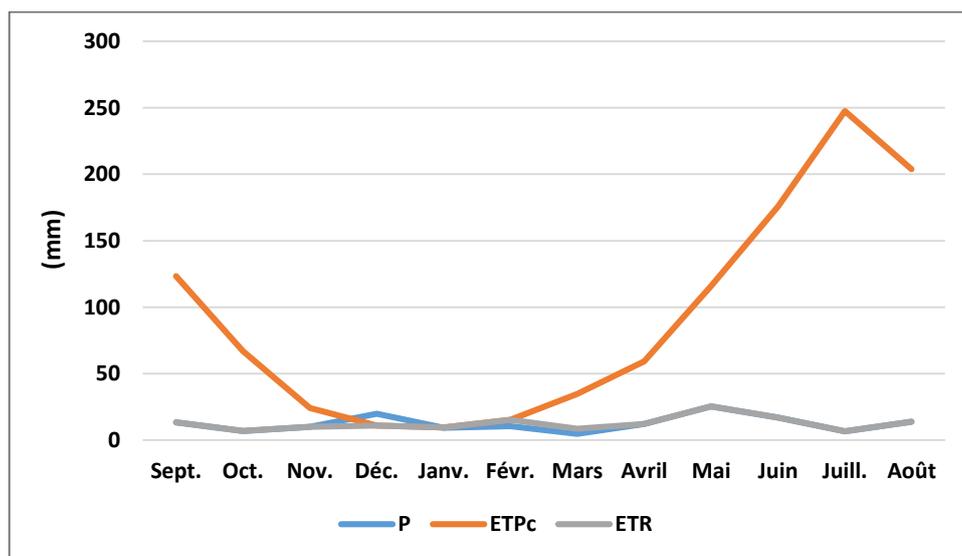


Figure 39: Le bilan simplifié par la méthode de THORNWAITE station de Laghouat (1990-2011).

On observe que l’ETP augmente du mois de juin à mois d’août atteinte sont maximum en juillet avec 247,6 mm.

Aussi en remarque que l’ETR augmente du mois de mai atteinte sont max avec 25,3 mm.

A partir du mois de décembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s’accompagne d’une augmentation de la RFU (100 %), au mois de mars. Au-delà de cette période, on ' à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock, la période de déficit agricole s’étale au mois de mai jusqu’à le mois de novembre

Tableau 21: Bilan hydrologique moyen (1990-2011) à la station d’Aflou, par la méthode de Thornthwaite.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Annuel
P	27,6	31,5	18,5	18,0	22,8	20,4	27,1	31,6	23,7	12,6	8,1	15,9	257,7
ETPc	97,6	58,5	30,8	12,1	7,3	8,6	24,7	39,9	79,4	104,0	146,8	141,6	751,3
P-ETPc	-70,0	-27,1	-12,3	5,9	15,5	11,8	2,3	-8,4	-55,7	-91,4	-138,7	-125,7	
RFU	0,0	0,0	0,0	5,9	21,4	33,2	35,5	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
ETR	27,6	31,5	18,5	12,1	7,3	8,6	24,7	39,9	50,8	12,6	8,1	15,9	257,7
Excédent	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Déficit	70,0	27,1	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,6	91,4	138,7	125,7	493,8

On remarque que toute l’eau précipitée à Aflou est reprise par l’atmosphère sous forme d’évapotranspiration réelle. L’impluvium d’Aflou reçoit 257,6 mm de pluie qui s’évapore dans l’atmosphère

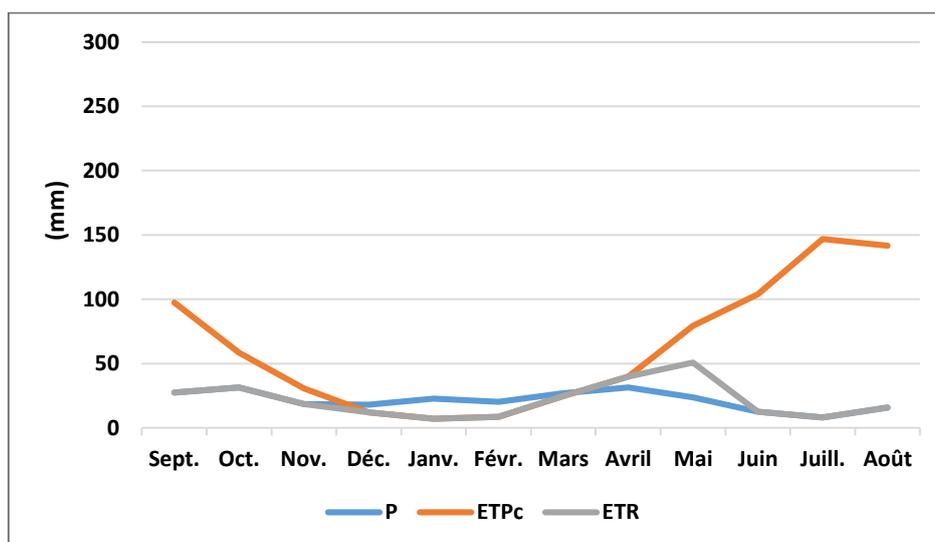


Figure 40 : Le bilan simplifié par la méthode de THORNWAITE Station d’Aflou (1990-2011).

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 jusqu'à novembre apparaît un déficit agricole qui montre une période sèche et qui se poursuit jusqu'à l'épuisement de la RFU.

Tableau 22: différentes méthodes de calcul de l'ETR

Station	Turc	Coutagne	Wundt	Verdeil	Bilan de Thornthwaite
Laghouat	156,2	143	210	140	149,8
Aflou	256	233	280	247	257,7

Le tableau 22 récapitule les différents résultats obtenus et permet de constater une nette différence des valeurs de l'évapotranspiration calculée par les différentes formules et méthodes. Les valeurs de l'ETR obtenues par l'abaque de Verdeil sont retenues pour l'établissement du bilan hydrologique car cette méthode est la plus adaptée au contexte de notre zone d'étude caractérisée par un climat aride.

De la lecture du tableau ci-dessus, on constate que l'ETR calculée par les cinq méthodes est toujours plus élevée à la station d'Aflou qu'à la station de Laghouat.

L'hydrologie de surface s'intéresse, justement, à la fraction de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant et drainée par le réseau hydrographique.

La distribution des précipitations s'écrit : Variation de stock=entrées -sorties

Les entrées : 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.

7 Détermination de la lame d'eau ruisselée (R) par la formule Tixeront-berkaloff :

Le ruissellement (R) est l'écoulement instantané et temporaire des eaux sur un bassin versant à la suite d'une averse.

C'est une méthode empirique applicable en zones arides, et la précision est d'autant meilleure dans le cas d'un bassin versant énorme avec des faibles précipitations ($P < 600$ mm/an). Sa formulation est la suivante :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

R : ruissellement superficiel moyen annuel (en mm).

P : précipitations moyennes annuelles (en mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle moyenne annuelle (en mm).

Application numérique respective à la station de Laghouat et Aflou :

$$R = \frac{(149.7)^3}{3(1087.6)^2}$$

$$R = \frac{(256.7)^3}{3(751.3)^2}$$

Tableau 23 : ruissellement superficiel pour la station de Laghouat et Aflou (1990-2011).

Paramètre	Laghouat	Aflou
P (mm)	149,7	256,7
ETPc (mm)	1087,6	751,3
R (mm)	0,95	9,99

La lame d'eau ruisselée déterminée par la formule de Tixeront-Berkaloff pour la station d'Aflou est égale à 3,89 % des précipitations et pour la station de Laghouat est égale à 0,63 %.

8 Bilan hydrologique :

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 :

$$P = ETR + R + I \pm \Delta S$$

Où :

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

R : Ruissellement moyen annuel en mm

I : Infiltration moyenne annuelle en mm

ΔS : variation de réservé

Pour une période suffisamment longue la variation de réserve tend zéro et l'équation du bilan devient $P = ETR + R + I$

Estimation de l'infiltration :

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

$$P = ETR + R + I$$

$$\text{Donc : } I = P - (ETR + R)$$

L'application de la formule pour la station de Laghouat et d'Aflou a donné les résultats mentionnés dans le tableau.24 et le tableau.25 :

Tableau 24: Entrées et sorties d'eau annuelle de la région de Laghouat

	P	ETR	R	I
mm	149,7	140	0,95	8,75
%	100	93,52	0,63	5,84

L'établissement du bilan hydrologique permet de constater que 93,52 % s'évapore et 0,63 % ruisselle. La lame d'eau infiltrée est considérable et représente 5,84 % des précipitations.

Tableau 25: Entrées et sorties d'eau annuelle de la région de Aflou

	P	ETR	R	I
mm	257,7	247	9,99	0,71
%	100	95,84	3,87	0,27

La détermination des différents termes du bilan hydrologique montre que 95,84 % des précipitations s'évapore et 3,87 % ruisselle en surface du bassin versant d'Aflou. L'infiltration dans ce bassin est très faible (0,71 mm). De plus, cette valeur est faible par rapport à celle de la station de Laghouat. Ceci peut être expliquée par la localisation géographique dont la station de Laghouat se trouve en aval de la station d'Aflou

9 Conclusion :

Le climat de la région d'étude est connu par son aridité et les Influences sahariennes caractérisé par un été chaud et sec et un hiver froid, qui a été déterminé par différentes méthodes, marquée par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations mensuelles (max 19,86mm) et hautes températures au mois de juillet avec un maximum de 40,48 C°.

L'établissement du bilan hydrologique à Aflou et Laghouat a montré une balance positive avec une lame d'eau infiltrée faible à la station d'Aflou avec 0,71 mm et plus importante à la station de Laghouat situé en aval avec 8,75 mm. Ces valeurs représentent respectivement 0,27 et 5,84 % des précipitations reçues sur l'impluvium de la zone d'étude. Par ailleurs, une grande proportion des précipitations est reprise par l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration qui représente des valeurs de 95,84 et 93,52 % obtenues respectivement à Aflou et Laghouat.

Chapitre 4 :

Cadre hydrogéologique

Chapitre 4 : cadre hydrogéologique

1 Introduction :

Notre secteur d'étude fait partie de la plateforme saharienne. Les études géologiques ont montré qu'elle forme un grand bassin sédimentaire, et les études hydrogéologiques (UNESCO/ERSS 1972 et OSS,2003) ont montré l'existence d'un grand réservoir aquifère multicouches, il est nommé le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).

Ces études consistent à identifier les caractéristiques de ce système aquifère, sa géométrie, ses limites et son alimentation et de définir l'ensemble du système d'écoulement souterrain, ainsi que la variation du gradient hydraulique, et les caractéristiques hydrodynamiques.

2 Présentation des aquifères de la région Laghouat :

Les études géologiques ont permis de mettre en évidence plusieurs horizons aquifères d'importance variable. La structure a une forte influence sur l'hydrogéologie de la région. Le grand synclinal des grès fracturés Barrémien-Albien constitue le plus important du Djebel Amour, séparé par le Jurassique. Les anticlinaux du réseau aquifère sont généralement orientés NE-SW. Ces anticlinaux jurassiques sont influencés par des failles qui agissent comme des drains. La grève de Tadmout dans le sens NNO-SSE est également mentionnée, qui selon J. Guillemot (1972) était un accident affectant le sous-sol. Le long de son parcours, on rencontre des formations collinaires du Quaternaire, généralement composées de sable rouge, dont l'épaisseur permet un écoulement souterrain. L'importance du débit des eaux souterraines du Tadmout a incité les autorités françaises à construire un barrage souterrain pour capter le débit d'eau en aval de l'Oued M'Zi. (In Istanbul 2012).

Description des aquifères :

Le tableau.26 représente un log hydrogéologique synthétique des différents aquifères.

Tableau 26: Log hydrogéologique synthétique (Chennafi 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	Cénomani en	Marnes gypseuses	impermeable	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 à Barrémien			
	120	Portlandien	Calcaire	fissures	Circulation de fissures
	170	Kimméridgien	Marne gypseux	impermeable	Substratum
	150	Kimméridgien	Gréseux	impermeable	Circulation d'interstices
	350	Kimméridgien supérieure	Marno-calcaire Marne gypseux Marno-calcaire	impermeable	Substratum
	500	Kimméridgien supérieure	Gréseux	perméable	Aquifère profond Circulation d'interstices et de fissures

2.1 Aquifères du kimméridgien :

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'émersion de quelques sources (Ain Tlélis, Ain Madhi et Ain Kourdane).

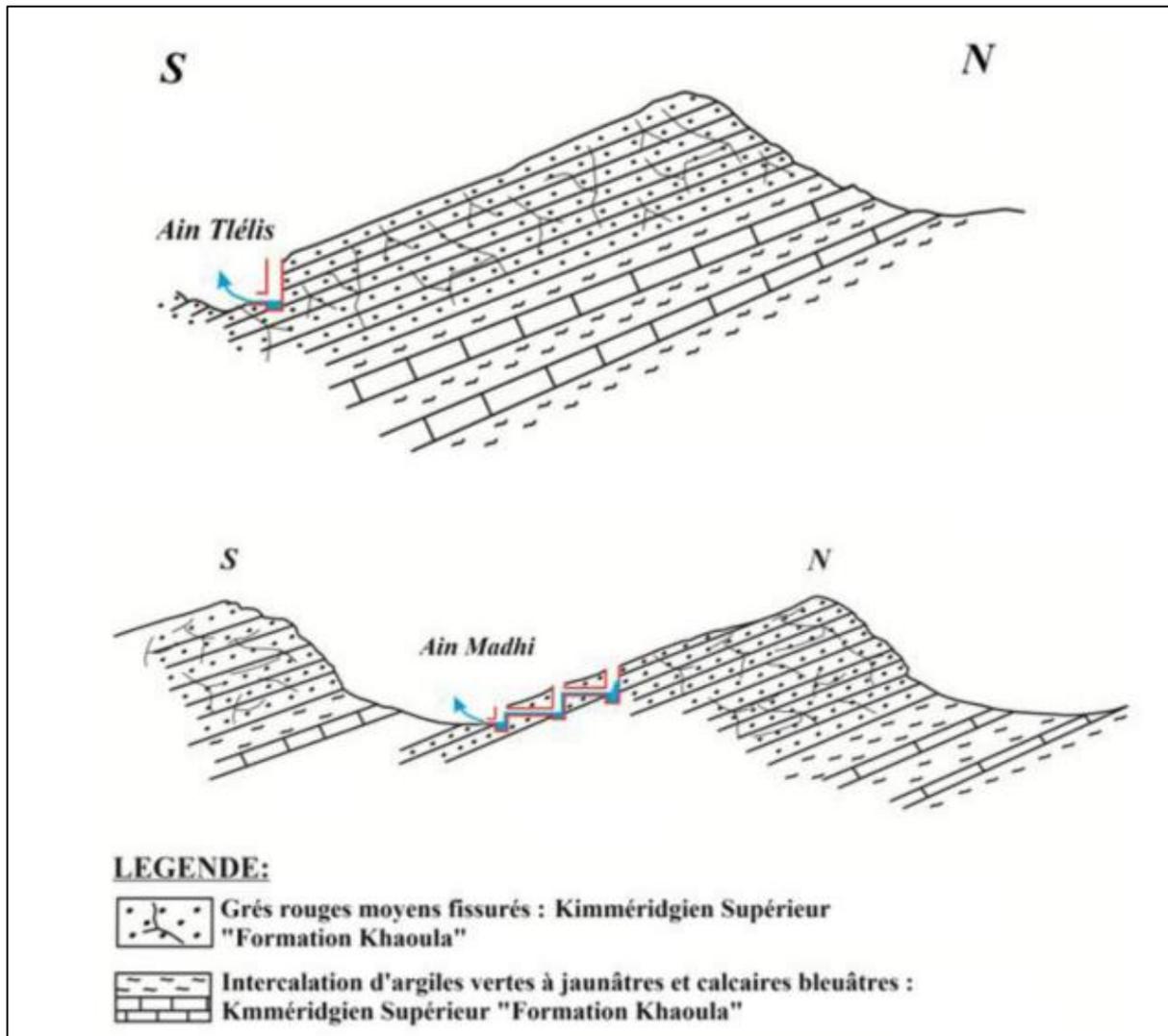


Figure 41: Conditions d'émergence de la source d'Ain Tlélis (0,5 l/s) et d'Ain Madhi (4 à 5 l/s) (in Med. Stamboul, 2012).

2.2 Aquifère du Portlandien :

2.2.1 Aquifère des calcaires du Portlandien Inférieur (La base de la formation calcaire de Zeireg).

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 centimétriques 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.

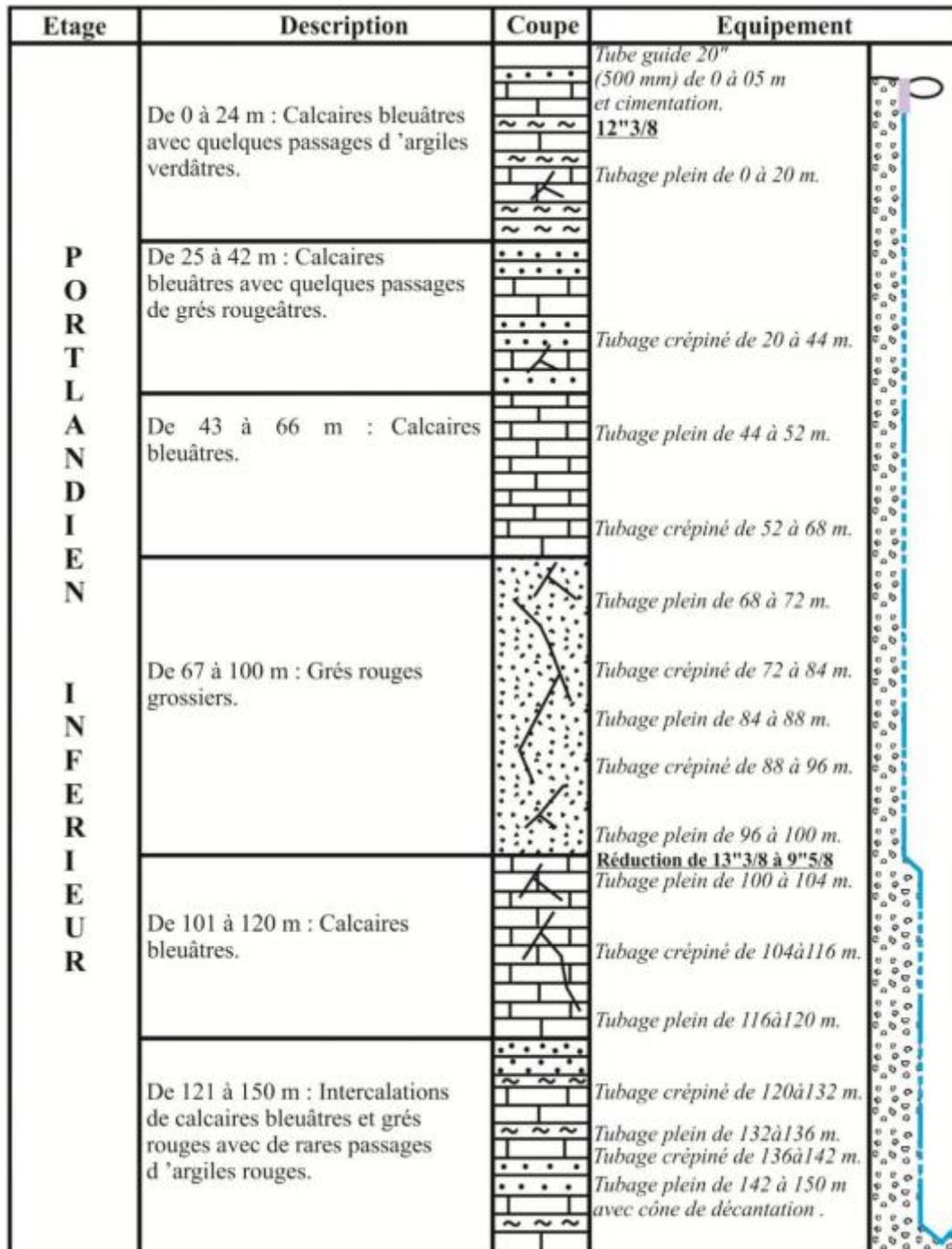


Figure 42: Forage de coordonnées : X : 473,22 2 Y : 358,08 Z : 933 m.(Aissaoui2016)

2.2.2 Aquifère des grès à chenaux du Portlandien Supérieur (formation de Tadmit inf.)

Cette formation est observable 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 grès moyens, fissurés de couleur rouge brique et blanchâtre, de calcaires bleuâtres fissurés et d'argile rouges.

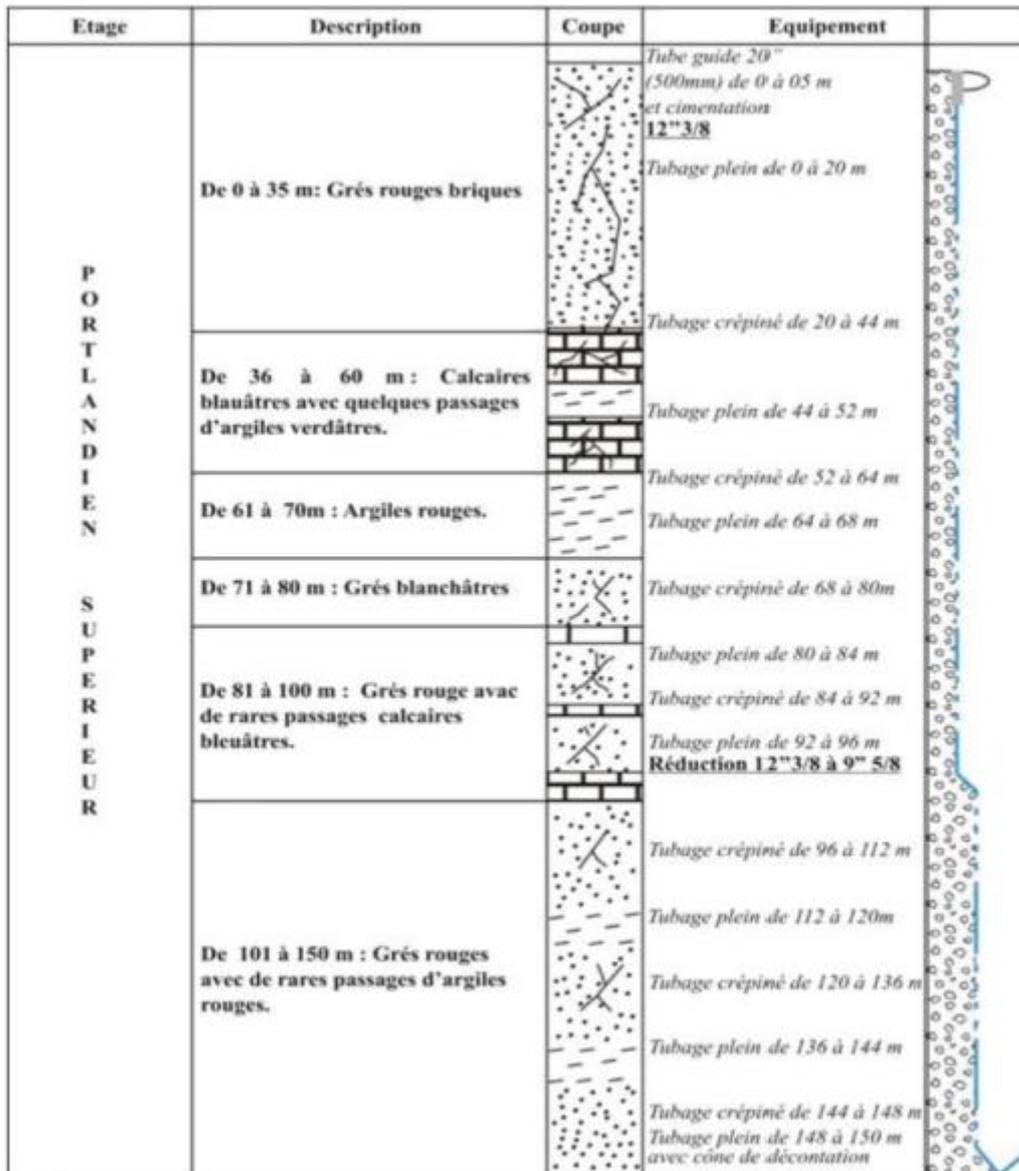


Figure 43: Forage X:472,82 Y : 357,88 Z : 886 m.(Aissaoui2016)

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

2.3 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. 44) qui captent cet aquifère présentent une profondeur de 150 m et montrent des calcaires jaunâtres à rare intercalations de marnes vertes, 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.

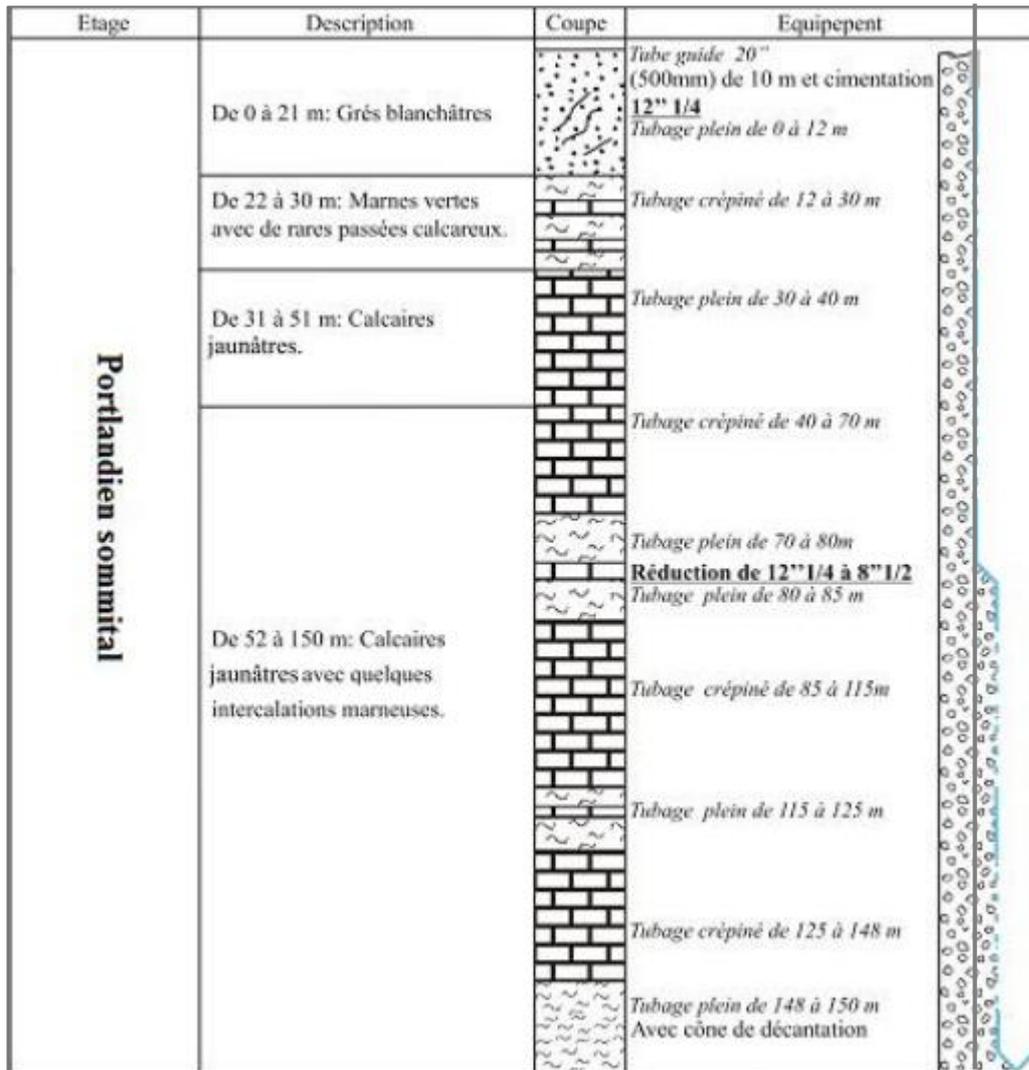


Figure 44: Forage captant le Portlandien sommital

2.4 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 plupart des forages se situent au niveau du Barrémien qui se présente comme une seule unité bien individualisée.

Au sud : C'est un aquifère multicouche avec un système supérieur libre est un système inférieur captif et présente une perméabilité mixte

- A Ain Madhi : c'est un synclinale est allongée des dizaines 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 une 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 son 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.

2.5 Aquifère du Mio-Pliocène :

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

2.6 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 hydrogéologique, il est formé par des galets, sable et graviers.

3 Les essais de pompage :

Le but principal des essais de pompage est de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques : la transmissivité (T), le coefficient d'emmagasinement (S), la perméabilité (K), Elles sont importantes dans l'étude quantitative des eaux souterraines dans notre région. Dans notre cas on a pas des essais de pompages à cause d'un manque des données sur la région étudiée et pour cela on a pris des résultats des essais qui sont fait par Aissaoui 2016 sur la même région d'étude, elle fait ses essais sur deux aquifères :

- Aquifère du barrémien
- La nappe du mio-plio-quaternaire

3.1 Aquifère du barrémien :

Les essais de pompage effectués dans la région de Ain Madhi sur deux forage (F2 et F4) Ces essais ont été réalisés par l'entreprise FOREMHYD (Entreprise de Réalisation de Forage hydraulique et 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.

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

Résultats obtenus (Aissaoui 2016)

Tableau 27 : Caractéristiques hydrodynamique (région de Ain Madhi).

Forage	F2		F4	
	T(m ² /s)	S	T	S
Theis	3,5 .10 ⁻⁴	4 .10 ⁻⁷	8,75 .10 ⁻⁴	35 .10 ⁻⁷
Jacob	7,47 .10 ⁻⁴	2.1 .10 ⁻⁷	2 .10 ⁻⁴	/

Le coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 10⁻⁷, ce qui confirme le caractère captif à semi- captif de l'aquifère.

3.2 La nappe du Mio-Plio-quaternaire :

Dans la région de Hamda qui située 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, a traversé 50 m de Mio-Pliocène comportant 17 m de sable avec quelques éléments calcaires, puis 100 m de grès à dragées du Barrémien avec quelques intercalations marneuses vers le bas.

Au nord de la cuvette du aflou, un pompage à débit constant (20l/s) a été exécuté pendant 12 heures sur le forage 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

Les résultats obtenus : Les valeurs pour la transmissivité :

T (m²/s) : -Méthode de Thies : $0,546 \cdot 10^{-3}$

- Méthode de Jacob : $0,550 \cdot 10^{-3}$

3.3 La piézométrie :

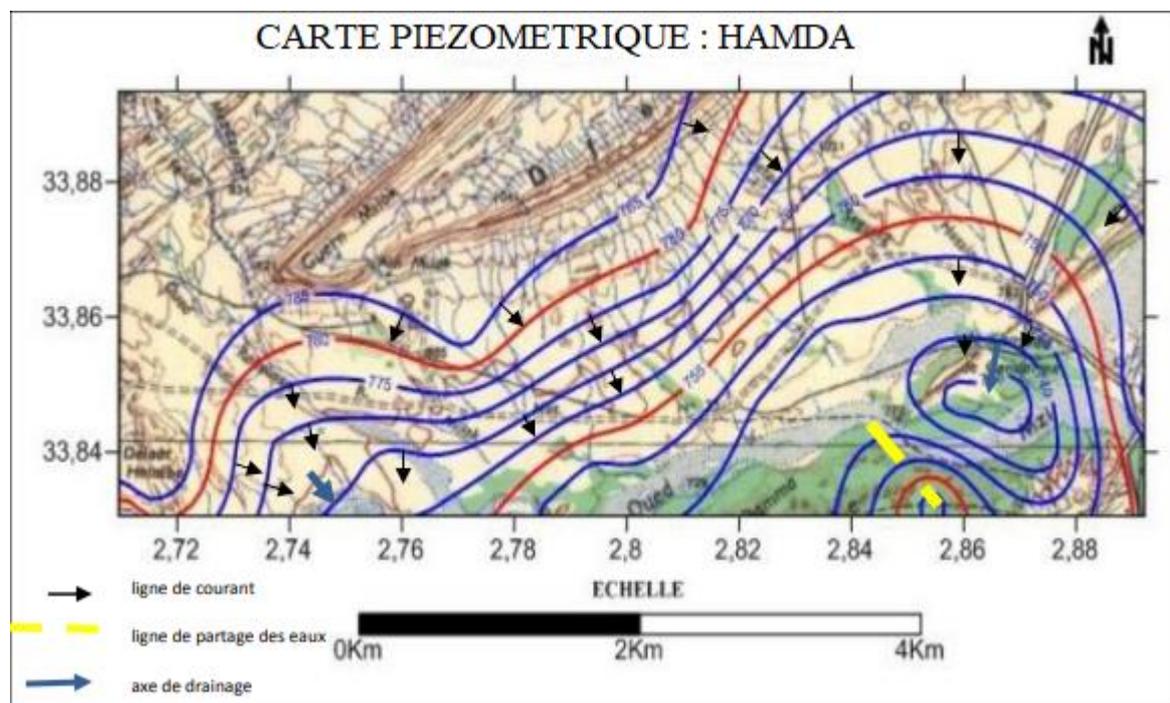


Figure 45: carte piézométrique de la région de Hamda . (in.chenafi.2013)

La surface piézométrique de la région montre que l'ensemble des écoulements vers le Sud-est donc tous les écoulement convergent vers l'affluent 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 permanent qui correspond à une réapparition des eaux de l'inféro-flux. Le gradient hydraulique est fort au niveau des zones d'alimentation et deviennent plus faible au niveau de la vallée. Il varie de 0.28 au niveau du pont à 0.03 au niveau de Ksar El Hirane.

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. (Aissaoui, 2016).

4 Conclusion :

Au sens large, le system Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 700000 km². On distingue deux grands ensembles Post-Paléozoïques, constituant deux systèmes aquifères séparés par une épaisse série argileuse et évaporitiques de la base du Crétacé. Il s'agit du continental intercalaire et du complexe terminal.

Dans notre bassin d'étude caractérisé par quelques aquifères : nappe phréatique dans les alluvions mio-pliocène da la vallée de l'oued Mzi, l'autre profonds l'aquifère kimméridgien est installé dans les grés moyen rouges, l'aquifère des calcaires du portlandien qui est installé dans les calcaires jaunâtres très fissurés au niveau de kourdane.

La piézométrie montre que tous les écoulement convergent vers l'affluent principale de l'Oued M'zi de direction Sud-Est

Le gradient hydraulique est fort au niveau des zones d'alimentation et deviennent plus faible au niveau la vallée. Il varie de 0.28 au niveau du pont à 0.03 au niveau de Ksar El Hirne La transmissivité varie de $8,75 \cdot 10^{-4}$ m²/s à $3,6 \cdot 10^{-3}$ m²/s et le coefficient d'emmagasinement (estimé) de $0,21 \cdot 10^{-6}$ à $3,5 \cdot 10^{-6}$ indiquant un système captif en profondeur à l'aquifère du barrémien. La perméabilité dans la formation Mio-Plio-Quaternaire est plus faible (0,0169 m/s) que dans les grés du Barrémien (0,078 m/s).

CHAPITRE 5 :
Etude Hydrochimique

Chapitre 5 : Etude hydrochimique :**1 Introduction :**

La connaissance des propriétés physiques et chimiques des eaux d'un aquifère, permet d'apporter un complément important et utile dans son étude hydrogéologique

L'hydrochimie permet, de déceler le comportement hydrodynamique de la nappe, l'infiltration des eaux, toute alimentation latérale ou verticale, ainsi que certaines perturbations (pollution) d'origine anthropique principalement et susceptible, en atteignant la nappe, de modifier sa qualité chimique.

Les résultats physico-chimiques obtenus seront la base de nos interprétations :

Déterminer la nature chimique des eaux ; les facies chimiques dominants ; ainsi que l'élaboration des cartes des anions et des cations ; donner une idée sur la potabilité et l'aptitude de ces eaux à l'irrigation selon les normes et évolution dans l'espace de la qualité des eaux au niveau de cette région,

A l'aide des données recueillies au niveau de l'ADE, unité de Laghouat, pour une campagne d'échantillonnage en date du 10/01 au 30/04/2022, effectuée sur (26) points d'eau (des eaux brute) répartis sur tout le bassin, on a pris des échantillons sur les régions suivantes : Laghouat, ksar El hirane, Assafia, El ghicha, Oued morra, Tadjmout, Houita, Oued m'zi, Ain madhi,

Les paramètres physiques mesurés généralement sur terrain, et les résultats des analyses chimiques réalisées ont porté principalement sur les éléments majeurs à savoir :

- Cation : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ ; - Anion : Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , NO_3^-

2 Balance ionique :

On peut comparer quantitativement les cations et les anions, majeurs et mineurs, présents dans l'eau à l'aide de la balance ionique. Alors une balance ionique représente la différence entre les anions et les cations, autrement dit, l'équilibre anions-cations qui égal naturellement zéro c-à-d que les anions et les cations sont égaux. Cette balance ionique, effectuée en utilisant une unité commune, le milliéquivalent par litre (méq/l), permet de vérifier si l'analyse a été bien faite. Dans le cas d'une trop grande différence entre cations et anions, il faut revoir les calculs et/ou les mesures, car une espèce a été peut-être mal estimée ou oubliée.

La vérification se fait par le calcul du pourcentage d'erreur qui ne doit pas dépasser 5% comme dans la formule suivante

$$e = \frac{\sum \text{des Cations} - \sum \text{des Anions}}{\sum \text{des Cations} + \sum \text{des Anions}} * 100 < 5$$

Le milliéquivalent est une unité représentant la quantité d'éléments dissous dans un litre d'eau et égale au millième de l'équivalent de cet élément, 1méq/L correspondant à une solution normale diluée mille fois. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 28 : Pourcentage d'erreur calculé pour les différents points d'eau

Région	point de prélèvement	e (%)
Laghouat	R.mrigha	3
	Forage 2 K H	1
	R Essadikia	2
Ksar el hirane	F,GHRIB	3
	F,MARGHOUB	4
El assafia	Assafia chrghia	4
	Assafia gharbia	9
	Assafia gharbia	40
El ghicha	forage02	30
	forage 01	30
oued morra	forage 01	5
	forage 01	2
	forage01	10
Tadjmout	F-N01	60
	F-N02	50
	F-N01	40
Houita	F-N01	10
	F-N02	10
	F-N01	60
oued m'zi	F-1	20
	F-N02	30
	F-1	10
	F-N01	50
Ain madhi	F-N05	30
	F-N09	50
	F-N06	10

NB : les valeurs sont douteuses, la balance ionique n'est pas vraiment respectée. La raison pourrait être soit un mauvais dosage, soit une erreur de retranscription

Pour la suite de notre étude, nous allons nous intéresser uniquement à 8 points d'eau où $e < 5$ %.

3 Paramètres physicochimiques :

Dans le but d'analyser les eaux du bassin d'oued M'zi en différents paramètres physicochimiques et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité de ces eaux, nous avons utilisé ces variables : la température, le pH, la conductivité électrique, la minéralisation, turbidité, titre hydrométrique (TH), les cations et les anions.

3.1 Paramètres physiques :

Tableau 29 : Paramètres physiques des eaux du bassin oued M'zi

Région	Lieu de prélèvement (point d'eau)	paramètres analyses					
		Con	Miné	T	PH	Turb	TH
		µs/cm	ml/l	C°	/	/	°F
Laghouat	R.mrigha	1737	1317	16,2	7,78	0,48	71.46
	Forage 2 K H	3230	2450	34,4	6,76	0,496	133.6
	R, Essadikia	1778	1348	34,5	6,89	0,287	76.3
Ksar El hirane	F,ghrib	1305	989,9	15,4	7,06	0,247	62.18
	F,marghoub	1397	1060	15,3	6,91	0,533	67.22
El assafia	Assafia charghia	1716	1302	15,4	6,27	0,183	70.18
Oued morra	forage 01	967	734	17,2	7,17	0,298	42.6
	forage 01	1175	891,3	29,3	7,57	0,325	49.08

Avec :

Con : conductivité.

Miné : minéralisation.

T : température.

PH : potentiel hydrogène.

Turb : turbidité.

TH : Titre hydrométrique.

3.1.1 La température :

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz ainsi que sur la valeur du PH. La connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines.

Dans notre étude la température variée entre 15,3 °C et 34,5 °C.

3.1.2 Le potentiel d'hydrogène :

Par définition le pH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration H^+ ;
 $PH = - \text{Log} [H^+]$.

Il exprime ainsi, la concentration en ion H^+ d'une eau, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité de la solution.

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

- Eau basique si $[H^+] < [OH^-] \Rightarrow pH > 7$;
- Eau acide si $[H^+] > [OH^-] \Rightarrow pH < 7$;
- Eau neutre si $[H^+] = [OH^-] \Rightarrow pH = 7$.

Dans notre secteur d'étude, le pH mesuré varie entre 6,27 et 7,78 ces valeurs traduisent le caractère relativement neutre (ni basique ni acide) des eaux de bassin l'amont et la vallée (la nappe alluvial).

Pour une eau potable les normes exigent un pH compris entre 6.5 et 9.

3.1.3 Conductivité électrique :

Ce caractère est directement lié à la quantité des ions présents et leur mobilité. Elle caractérise la propriété de l'eau à laisser passer le courant électrique ; elle est fonction de la concentration des ions dans la solution et la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 .

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau prélevés dans le bassin d'oued M'zi en amont et en aval montrent des conductivités oscillantes entre 967 et 3230 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

On peut penser que les zones où la conductivité est inférieure à $1000\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondent à des secteurs de circulation relativement rapide, et constituent un front d'alimentation, surtout en amont du bassin (oued morra)

3.1.4 Le résidu sec :

La minéralisation des eaux est assez forte supérieure à 1000 mg/l pour la majorité des eaux. Les valeurs du résidu sec varient entre 734 mg/l au point forage 01 région Oued morra et 2450 mg/l au point forage 2 K H région Laghouat, avec une moyenne de 1261,52 mg/l. En effet, les fortes minéralisations sont directement liées à la présence d'évaporites soit dans les marnes verdâtres (gypse : Portlandien, Aptien) ou l'halite dans les formations triasiques : Kef Zlagh et le Nord d'El-Ghicha (Chouabir).

3.1.5 La turbidité :

La turbidité est un indicateur essentiel de la qualité de l'eau. Elle correspond à une réduction de la transparence d'un liquide par la présence de matières non dissoutes. Cette turbidité doit être traitée car elle est constituée de matières en suspension et de particules colloïdales auxquelles s'accrochent de nombreux micro-organismes potentiellement pathogènes.

Sa valeur ne doit pas dépasser 0,5 NTU dans l'eau potable. Sa mesure est donc obligatoire et effectuée régulièrement en laboratoire. Elle sert également pour contrôler la qualité de l'eau en sortie et pour piloter les traitements de l'eau afin d'assurer une qualité de l'eau constante tout en ajustant au mieux les quantités de réactifs utilisés.

Dans notre cas, la majorité des eaux du bassin versant de l'oued M'zi répondent aux normes de potabilité, sauf F. marghoub avec 0,533 NTU.

3.2 Paramètres chimiques :

Les éléments majeurs correspondent aux anions et cations qui constituent de façon prépondérante la minéralisation des eaux (tableau 30). Ils sont classiquement représentés par Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} .

Tableau 30: les paramètres chimiques des eaux du bassin de l'oued M'zi.

Région	Lieu de prélèvement (point d'eau)	paramètres analyses							
		Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	So_4^{2-}	Hco_3^-	No_3^-
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Laghouat	R.mrigha	172,3	68,1	10	1,5	170,4	361	210,8	1,5
	Forage 2 K H	348,7	111,5	17,6	3,3	433	440,01	263,5	54,7
	R Essadikia	228,4	46,1	12,5	1,9	211,1	210,8	277	14,8
Ksar El hirane	F,GHRIB	192	34,04	14,4	1,2	142	307,2	210,8	14,4
	F,MARGHOUB	200	41,34	13,8	1,1	142	336	263,5	6,6
El assafia	Assafia charghi	228,5	31,37	13,3	2	255,6	288	158,1	18,6
oued morra	forage 01	36,07	80,6	7,8	0,8	96	136	263	1,5
	forage 01	80,16	69,7	4,1	1,2	106,5	111	316,2	5,25

3.2.1 Les Cations :

Dans le tableau 29 les concentrations des cations sont exprimées en milligramme par litre (mg/l)

des eaux analysées à travers les différents points d'eau dans notre zone d'étude.

3.2.1.1 Le Calcium (Ca²⁺) :

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 : $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-$ Il provient également des formations gypseuses $(CaSO_4 \cdot (H_2O)_2)$ qui sont facilement soluble (Dib, 2009)

Les concentrations du Ca²⁺ varient de 36.07 mg/l à 348.7 mg/l (Figure 46). Quatre points d'eau ont une teneur inférieure à la concentration maximale admissible (200 mg/l), normes algériennes. Donc les points qui reste (04 points) sont riches en calcium.

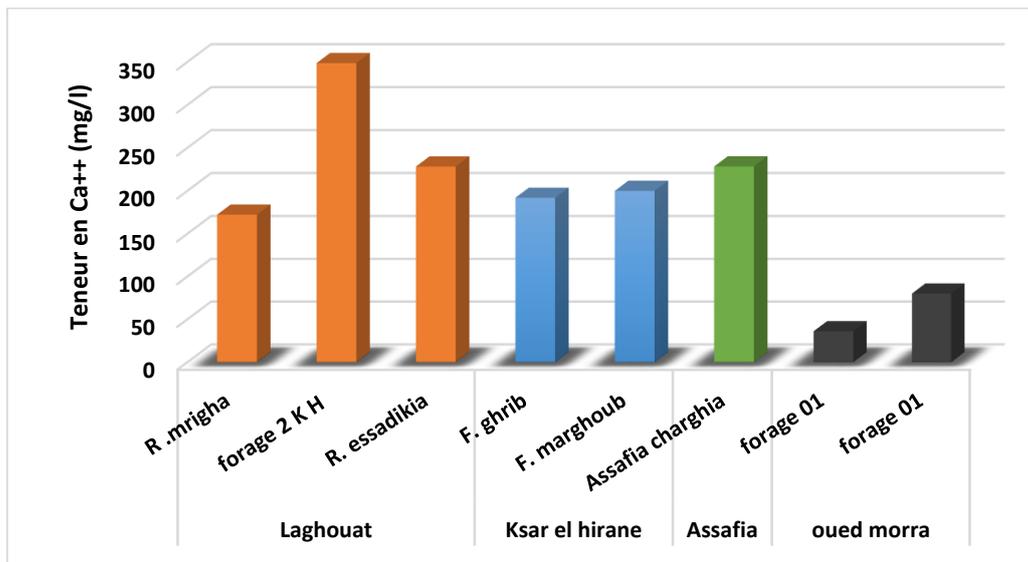


Figure 46 : Concentrations de calcium (Ca²⁺) dans le bassin de l'oued M'zi

Le graphe représente les concentrations en calcium dans le bassin de l'oued m'zi et montre que à l'Ouest du bassin (l'amont) sont faibles, le centre vers Est les concertations sont plus élevées. Cette augmentation est probablement expliquée par la dissolution des massifs calcaires et des intercalations d'évaporites (les formations gypseuses).

3.2.1.2 Le Magnésium (Mg²⁺) :

Le Magnésium est un élément chimique qui accompagne souvent le calcium, est 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 provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques, ainsi que des minéraux ferromagnésiens

Les teneurs en Mg^{2+} dans les différents points d'étude sont comprises entre 31.37 mg/l et 111.5 mg/l. la majorité de ces teneurs répondent aux normes de potabilités ont inférieur à 150 mg/l (normes algérienne).

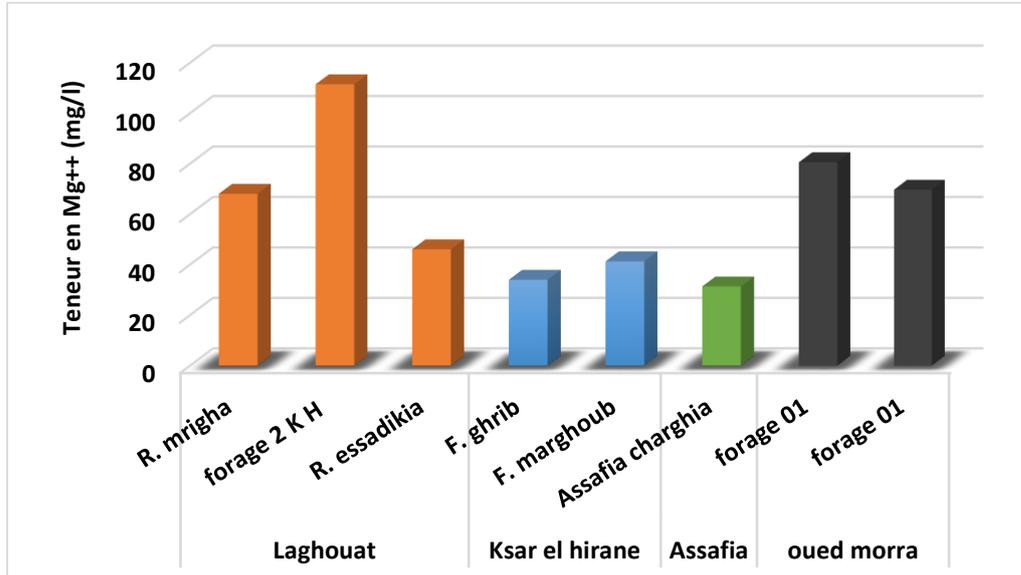


Figure 47 : Concentrations de Magnésium (Mg^{2+}) dans le bassin de l'oued M'zi.

On remarque qu'au centre vers l'Est du bassin (la vallée) les concentrations sont élevées. L'origine du Magnésium que renferment les eaux de la nappe est probablement liée à la dissolution des massifs dolomitiques composants les alluvions.

3.2.1.3 Le Sodium (Na^+) :

La présence de sodium dans les eaux souterraines est très variable. Il provient du lessivage des formations géologiques riche en NaCl et de la dissolution des formations argileuses et marneuses qui sont fréquent dans la région d'étude.

Les concentrations du sodium (Na^+) varient dans le secteur d'étude. Les analyses révèlent que la valeur maximale est de 17,6 mg/l au Forage 2 K H (Laghouat), tandis que la minimale est de 4,1 mg/l au forage 01 (Oued morra).

La totalité des échantillons analysés présentent des teneurs inférieures à 200 mg/l. Donc, ils répondent aux normes de potabilité.

A l'Ouest du bassin la région (oued morra), les teneurs sont faibles, mais elles sont plus élevées dans les régions centre vers Sud et l'Est (El assafia, Laghouat, Ksar el hirane). Ces augmentations sont dues à la dissolution des sels naturels par lessivage des évaporites.

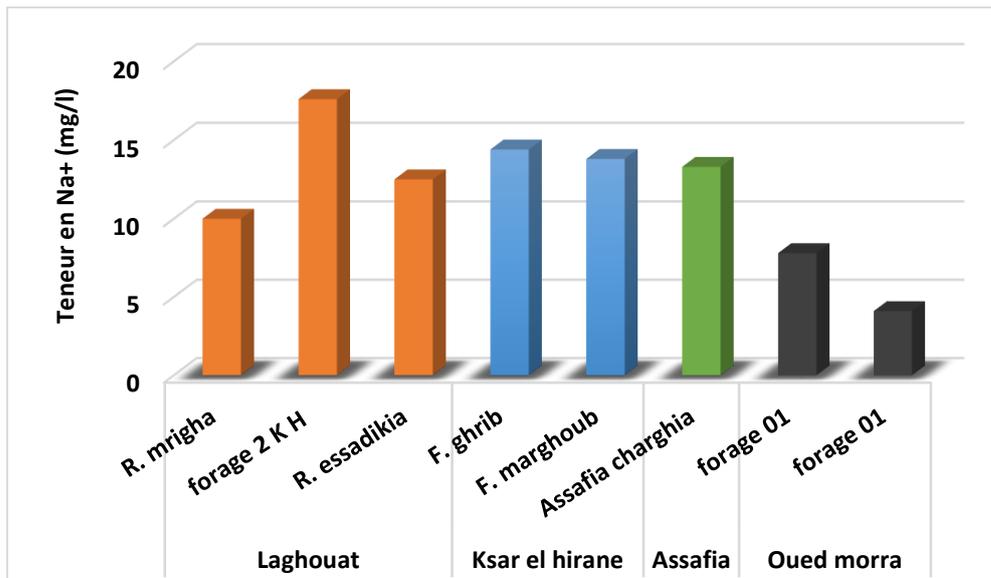


Figure 48: concentrations de Sodium (Na⁺) dans le bassin de l'oued M'zi

3.2.1.4 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 0,8 mg/l au forage 01 (Oued morra) et à 3,3 mg/l au point forage 2 K H (Laghouat). La totalité des échantillons analysés présentent des teneurs inférieures à 20 mg/l (norme algérienne), donc répondent aux normes de potabilité.

Le graphe ci-dessous montre que les teneurs élevées se localisent au centre et sud est du bassin. L'augmentation de ces teneurs est liée à l'existence des formations gypseuses

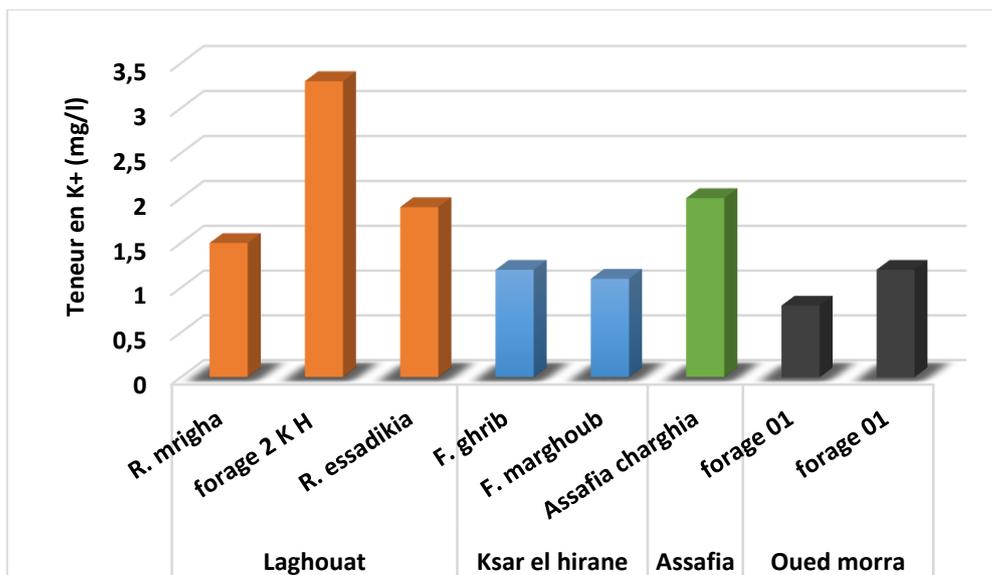


Figure 49: concentrations de potassium (K⁺) dans le bassin de l'oued M'zi

3.2.2 Les anions :

Le tableau n° :29 représente les concentrations des anions en milligramme par litre (mg/l) des eaux analysées à travers les différents points d'eau dans notre zone d'étude.

3.2.2.1 Le Chlore (Cl⁻) :

Le chlore, est presque toujours présent 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 présentes particulièrement dans les intercalations marneuses ou peut être l'utilisation des engrais agricoles, ou une pollution.

Les teneurs en Chlore (Cl⁻) dans les eaux du bassin versant de l'Oued M'Zi sont comprises entre 96 mg/l au point forage 01 (oued Morra) et 433 mg/l au point forage 2 K H (Laghouat), ces valeurs repondent aux normes de potabilité algérienne (500 mg/l). deux points ont des teneurs supérieures à 250 mg/l (OMS).

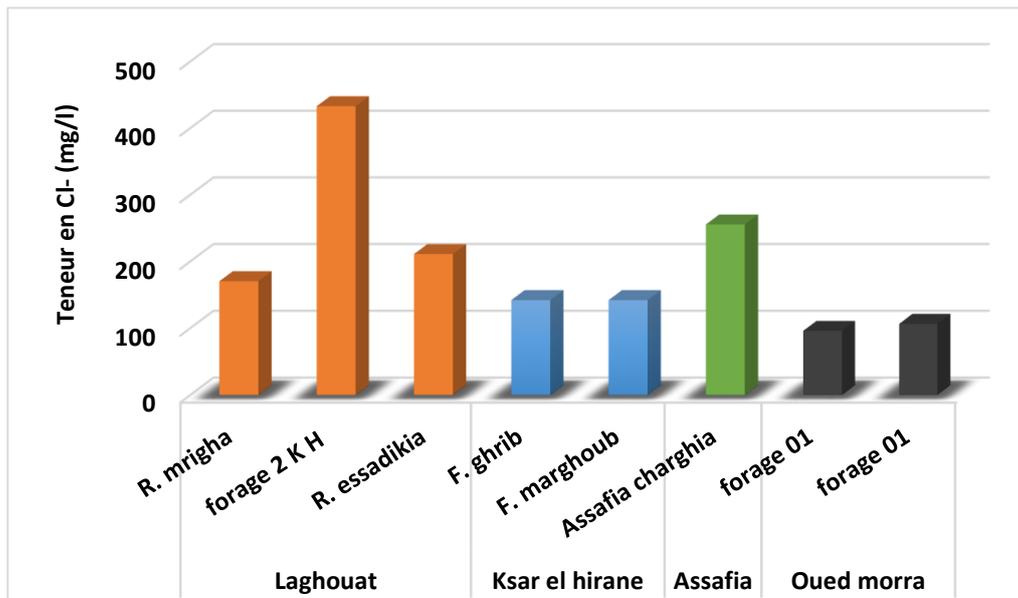


Figure 50 : Concentrations de Chlore (Cl⁻) dans le bassin de l'oued M'zi

L'influence des formations gypsifères d'une part l'usage agricole intensive des engrais d'autre part à causé l'augmentation des concentrations dans les régions du bassin, particulièrement au centre (Assafia,) et Sud-est (la vallée).

3.2.2.2 Les Sulfates (SO₄²⁻) :

La concentration en ion sulfates des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 100 à 200

mg/l, mais ce chiffre peut être largement dépassé (jusqu'à 1000 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est important.

Les résultats obtenus dans notre secteur d'étude varient entre 111 mg/l et 440.01 mg/l, alors que la norme de potabilité ne dépasse pas 400 mg/l. La majorité des points d'eau répondent aux normes admissibles, on a qu'un seul point qui est supérieures à 400 mg/l, forage 2 K H (Laghouat).

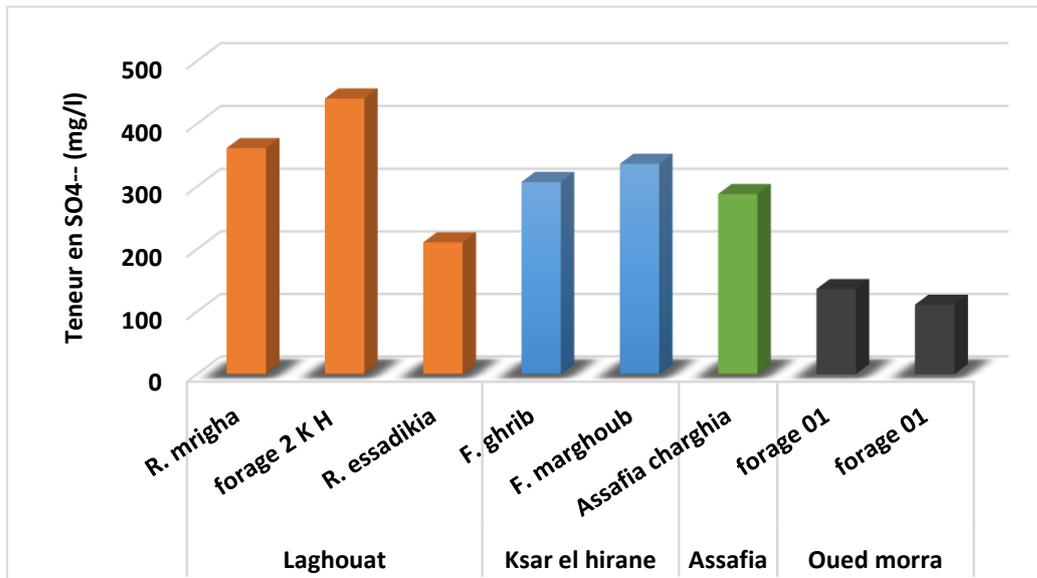


Figure 51 : Concentrations des Sulfates (SO₄²⁻) dans le bassin de l'oued M'zi

La majorité des régions dans le secteur d'étude sont riches en sulfates sauf la région de l'Oued morra qui contient des teneurs faibles inférieures à 136 mg/l

Dans la vallée du bassin, l'origine des sulfates proviennent certainement des argiles du Mio-Pliocène. Et aux autres régions peuvent provenir de la dissolution du gypse qui peut être associé à des formations plus récentes comme le Mio-Plio-Quaternaire ou de la dissolution des minéraux sulfurés par exemple la pyrite.

3.2.2.3 Les Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Appelés également hydrogénocarbonates et sont des ions polyatomiques avec comme équation : $X CO_3 (Roche) + CO_2 + H_2O \leftrightarrow X^{2+} + 2HCO_3^-$

Ils proviennent de la dissolution des roches carbonatées dans l'eau, en fonction de la teneur en CO₂ de la température, du pH et de la nature lithologique des terrains traversés.

Les teneurs en Bicarbonates (HCO₃⁻) dans les différents points d'eau du bassin versant de

l'Oued M'Zi sont variés de 158,1 mg/l à 316,2 mg/l,

L'Algérie n'a pas fixé des normes précises pour les bicarbonates, l'OMS a fixé une teneur de 30 mg/l,

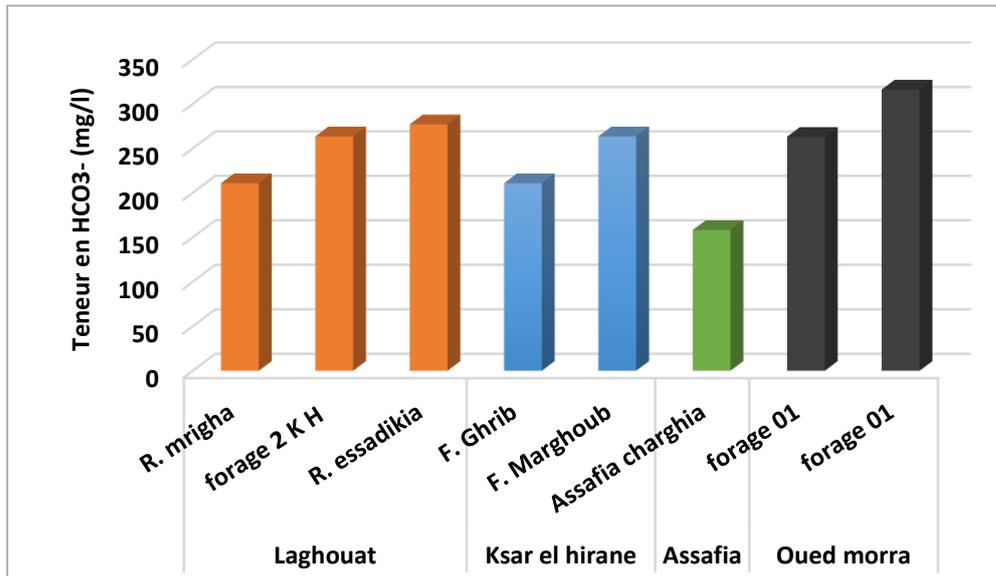


Figure 52 : Concentrations des Bicarbonates (HCO_3^-) dans le bassin de l'oued M'zi

Le graphe montre que la majorité des régions sont riches en bicarbonates, cela revient à la dissolution des roches carbonatées (calcaires) dans l'eau.

3.2.2.4 Les 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 l'usage agricole des engrais.

Les concentrations en nitrates (NO_3^-) dans les eaux du bassin versant sont comprises entre 1,5 mg/l et 54,7 mg/l, tous les points d'eau répondent aux normes de potabilité (50 mg/l), sauf un seul point qui dépasse cette valeur (forage 2 K H Laghouat : 54,7 mg/l).

Le graphe ci-dessous montre que les régions situées en amont du bassin (à l'Ouest) ont des teneurs faibles en nitrates. La vallée du bassin (Sud-est), les régions (Laghouat, Ksar el Hirane) ont des teneurs plus importantes que l'amont. Cette augmentation des nitrates (NO_3^-) dans la vallée revient à l'utilisation intensive des engrais agricoles (amont n'a pas d'agriculture).

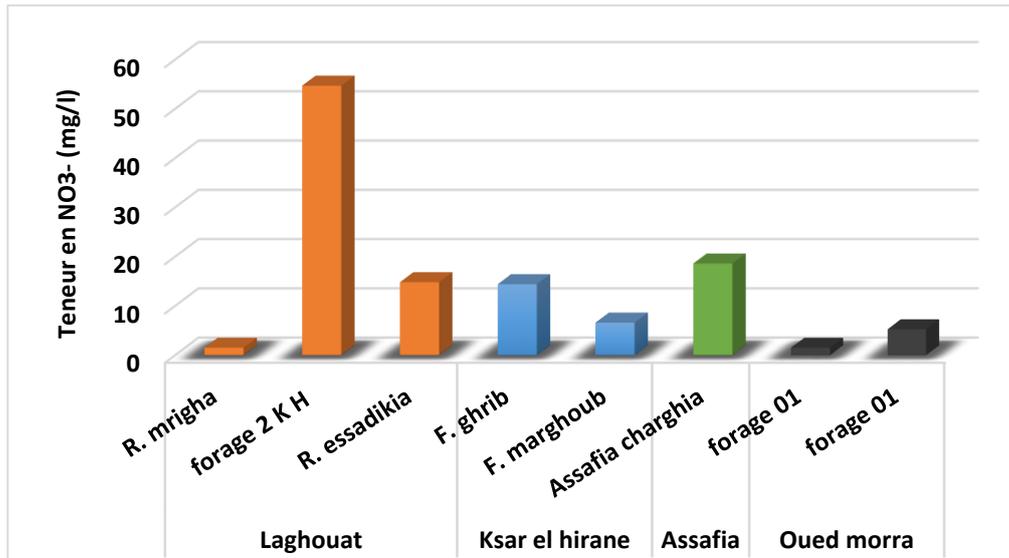


Figure 53 : Concentrations des Nitrates (NO₃⁻) dans le bassin de l’oued M'zi

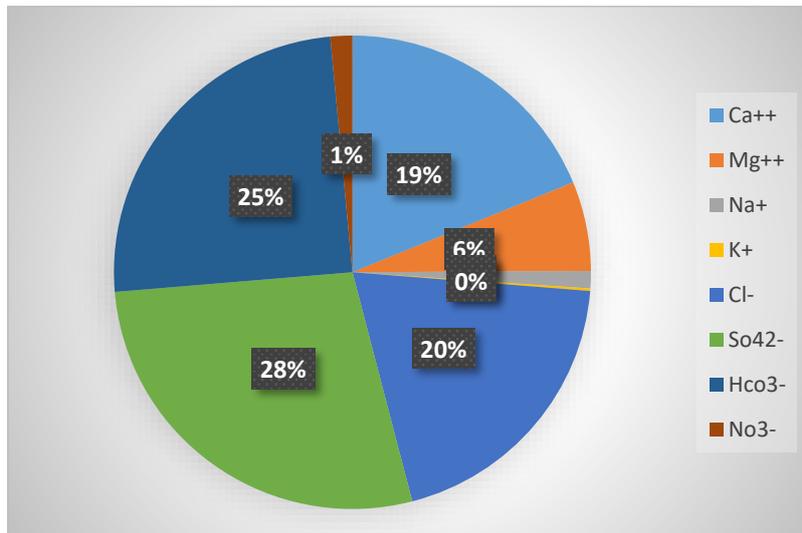


Figure 54: contribution des éléments chimiques.

Le graphe montre que les moyennes des différents éléments chimiques majeures à savoir : les sulfates, les bicarbonates, calcium, chlore représentent des pourcentages importants comparés aux autres éléments dans notre zone d’étude, ça revient à la nature lithologique des terrains traversés ou peut être par l’effet des activités humaine.

L’origine des sulfates (SO₄²⁻) proviennent certainement des argiles du Mio-Pliocène, et aux autres régions peuvent provenir de la dissolution du gypse qui peut être associé à des formations plus récentes comme le Mio-Plio-Quaternaire ou de la dissolution des minéraux sulfurés par exemple la pyrite, pour les bicarbonates (Hco₃⁻), elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées dans l’eau, en fonction de la teneur en CO₂ de la température, du pH. L’origine de chlore due à la pollution ou à l’utilisation des engrais agricoles, peut être aussi liée

principalement à la dissolution de l'halite (NaCl) et des évaporites qui sont présentes particulièrement dans les intercalations marneuses.

Les teneurs élevées en calcium (Ca^{2+}) liées à la dissolution des massifs calcaires.

4 Classification des eaux :

La classification des eaux diffère d'une référence à une autre, certaines les classifient suivant l'origine ; d'autres auteurs parlent même des eaux de pluies, certains autres s'intéressent à l'utilisation des eaux. On retrouve plusieurs méthodes et critères pour les eaux naturelles. Pour notre étude, on va s'intéresser à ces 3 classifications, basées sur la composition chimique des eaux :

- Classification de Stabler.
- La représentation de Schoeller-Berkaloff.
- La représentation de diagramme de Piper

4.1 Classification de Stabler :

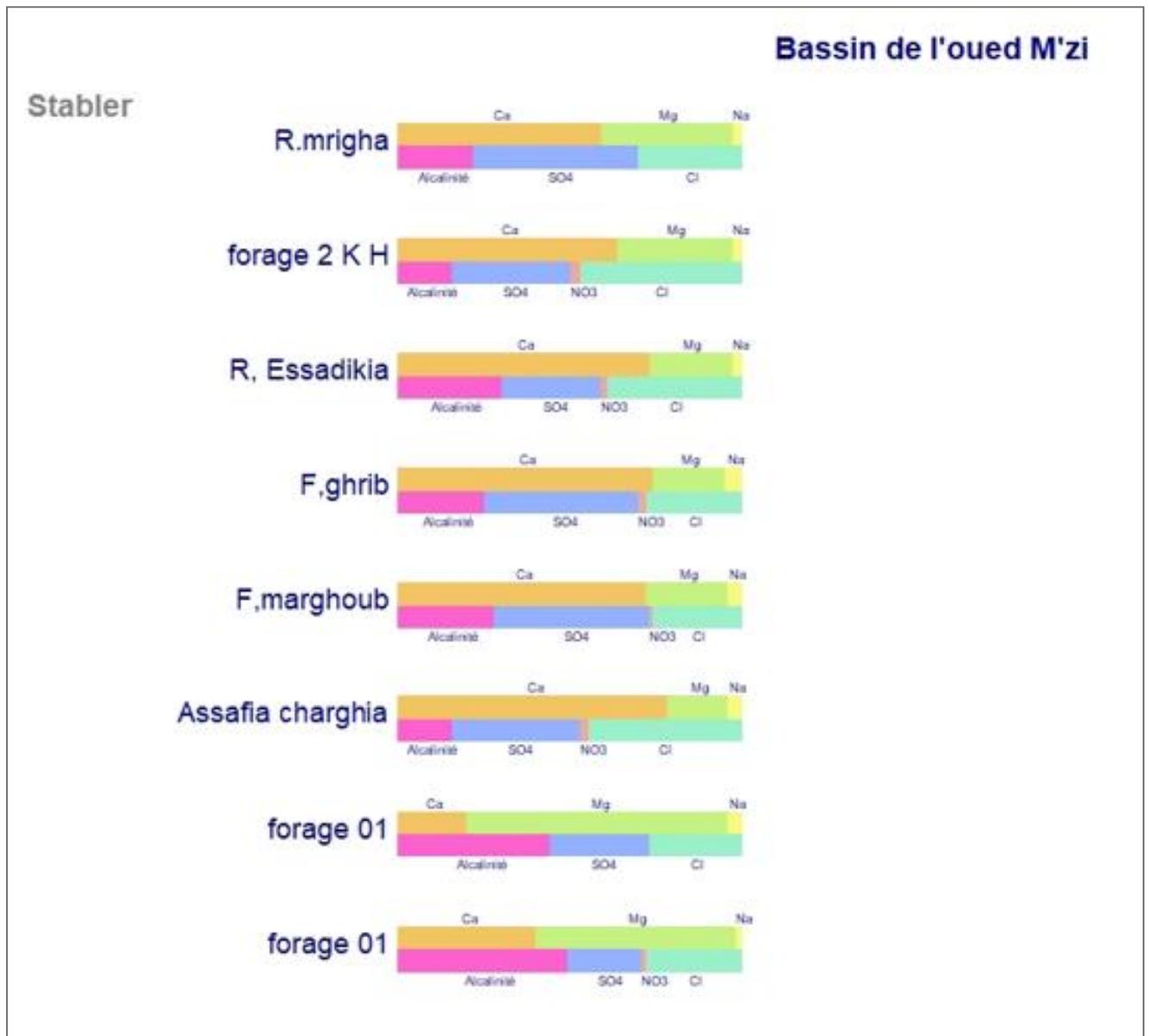


Figure 55 : Classification des eaux selon Stabler.

La classification de Stabler basée sur la prédominance des ions, A partir d'une formule caractéristique établi par Stabler. On a tracé un tableau pour classifier les eaux de notre bassin d'étude.

Tableau 31 : Faciès chimique des eaux

Région	Lieu de prélèvement	Formule Caractéristique	Faciès Chimique
Laghouat	R.mrigha	$R(\text{Ca}) > r(\text{Mg}) > r(\text{Na}) > r(\text{K})$ $R(\text{SO}_4) > r(\text{HCO}_3) > r(\text{Cl}) > r(\text{NO}_3)$	Eau Sulfatée calcique
	forage 2 K H	$r(\text{Ca}) > r(\text{Mg}) > r(\text{Na}) > r(\text{K})$ $r(\text{SO}_4) > r(\text{Cl}) > r(\text{HCO}_3) > r(\text{NO}_3)$	
	R. Essadikia	$R(\text{Ca}) > r(\text{Mg}) > r(\text{Na}) > r(\text{K})$ $R(\text{HCO}_3) > r(\text{Cl}) > r(\text{SO}_4) > r(\text{NO}_3)$	Eau bicarbonatée calcique
Ksar El hirane	F. ghrib	$r(\text{Ca}) > r(\text{Mg}) > r(\text{Na}) > r(\text{K})$ $r(\text{SO}_4) > r(\text{HCO}_3) > r(\text{Cl}) > r(\text{NO}_3)$	Eau Sulfatée calcique
	F. marghoub	$r(\text{Ca}) > r(\text{Mg}) > r(\text{Na}) > r(\text{K})$ $r(\text{SO}_4) > r(\text{HCO}_3) > r(\text{Cl}) > r(\text{NO}_3)$	
	Assafia	$r(\text{Ca}) > r(\text{Mg}) > r(\text{Na}) > r(\text{K})$ $r(\text{SO}_4) > r(\text{Cl}) > r(\text{HCO}_3) > r(\text{NO}_3)$	
Oued morra	forage 01	$r(\text{Mg}) > r(\text{Ca}) > r(\text{Na}) > r(\text{K})$ $r(\text{HCO}_3) > r(\text{SO}_4) > r(\text{Cl}) > r(\text{NO}_3)$	Eau bicarbonatée magnésienne
	forage 01	$r(\text{Ca}) > r(\text{Mg}) > r(\text{Na}) > r(\text{K})$ $r(\text{HCO}_3) > r(\text{SO}_4) > r(\text{Cl}) > r(\text{NO}_3)$	Eau bicarbonatée calcique

D'après la classification de Stabler notre zone d'étude contient trois (03) familles chimiques :

- Sulfaté calcique (05)
- Bicarbonaté calcique (02)
- Bicarbonaté magnésienne (01)

On constate que le faciès le plus dominant est sulfaté calcique (05 points d'eau).

4.2 Classification de Piper :

Pour effectuer cette classification, on va représenter les résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper, ce diagramme est composé de deux triangles et un losange. Le principe de ce diagramme est de représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction en % de chaque anion et cation

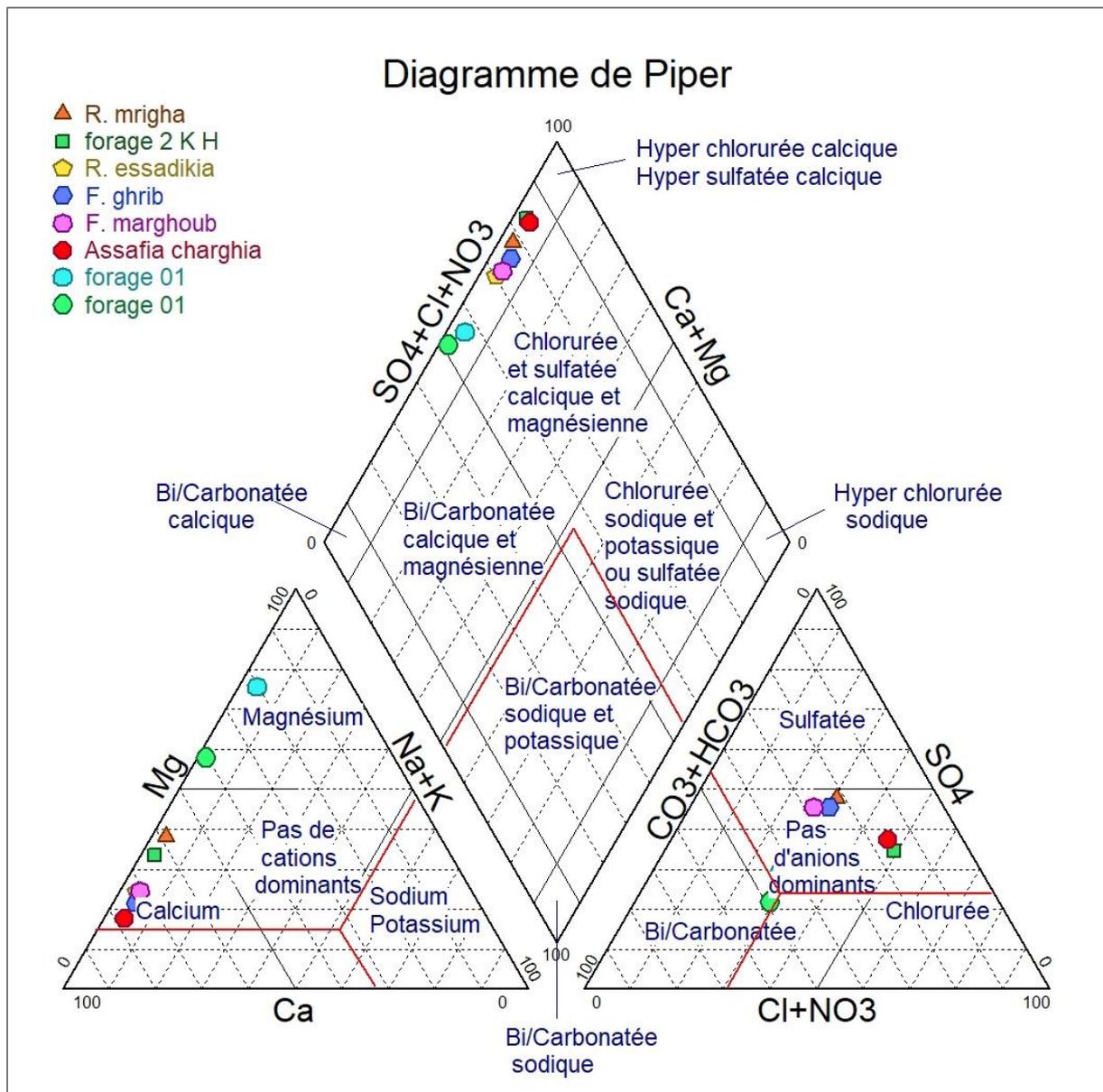


Figure 56: Classification des eaux souterraines selon le diagramme de piper.

Le diagramme de piper montre que, dans le triangle des cations d'élément dominant est le Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺. D'autre part au triangle des anions les points d'eau localisent au centre des faciès sulfaté-chloruré et quelques points sur le faciès bicarbonaté.

Les faciès les plus dominants entre les triangles des cations, les anions. Sont : sulfaté calcique, bicarbonaté magnésien et bicarbonaté calcique.

4.3 Classification de Schoeller Berkloff :

C'est un diagramme semi logarithmique Schoeller-Berkloff utilisé pour la représentation graphique des analyses chimiques des eaux, la classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux. Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs points des eaux sur le même diagramme (logiciel

diagramme)

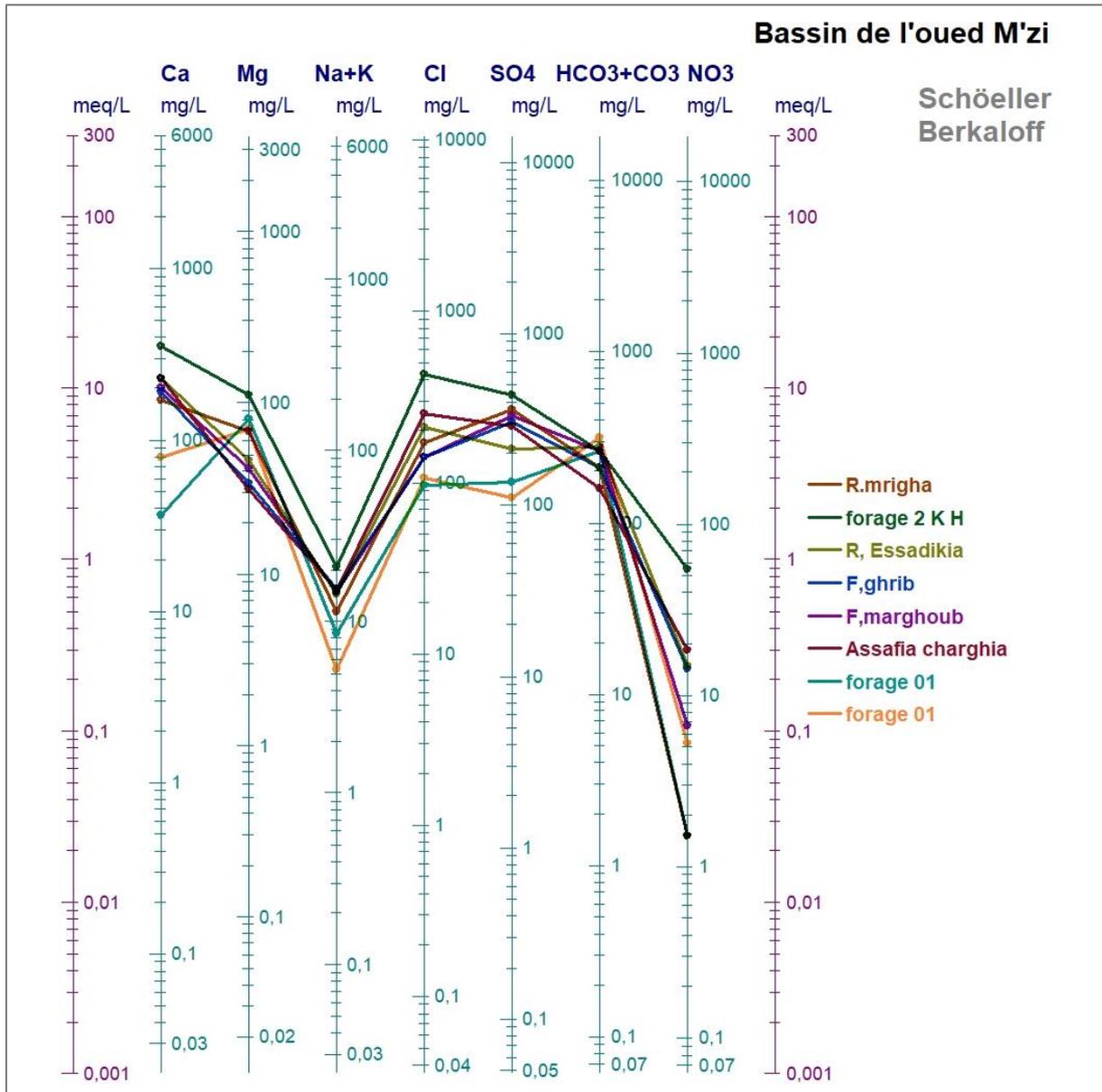


Figure 57: Classification des eaux souterraine selon le diagramme de Schoëller- Berkaloff

Les faciès chimiques des eaux de notre bassin selon le diagramme de Schoëller-Berkaloff sont : sulfaté calcique, bicarbonaté calcique, bicarbonaté magnésien.

A travers ces deux diagrammes (diagramme de Piper et de Schoeller berkaloff) et la classification de Stabler. On constate que les faciès chimiques dominants dans notre bassin versant sont : sulfaté-calcique, bicarbonaté-calcique, bicarbonaté magnésien.

Au Nord-ouest, sud-ouest du bassin (amont), la région Oued morra ; contient des faciès : sulfaté calcique ; bicarbonaté calcique ; bicarbonaté magnésien, ça revient à la nature de

l'encaissant : massifs calcaires ; massifs dolomitiques ; gypse ; grès, et peut être par l'effluence de pollution.

Au centre vers Est du bassin (la vallée), les régions ; Laghouat ; Ksar el hirane, contient des faciès les plus dominat sont sulfaté calcique ; chloruré magnésien. Ça revient à la nature de l'encaissant : massifs calcaires ; massifs dolomitiques ; des agriles, grés des alluvions et peut être par l'effluence des engrais agricole (concentrations élevées des nitrates) et la pollution (concentrations élevées de Chlore).

4.4 Comparaison des faciès chimiques :

Sur les analyses chimiques des 08 point d'eau, des différentes régions du bassin versant de l'oued M'zi, on a trouvé les familles suivantes :

- Sulfatée calcique et magnésienne (05 échantillons).
- Chloruré calcique (0 échantillons).
- Bicarbonatée calcique et magnésienne (03 échantillons).

L'étude réalisée par Aissaoui, 2016, montre sur la base de 23 effectuées analyses, dans la même zone d'étude, les familles chimiques suivantes :

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

On remarque que presque les mêmes familles chimiques avec les mêmes classements de ces faciès entre les deux analyses, les plus dominants sont sulfatée calcique et magnésienne et secondairement Bicarbonatée calcique et magnésienne. Dans notre analyse, on n'a pas le faciès sulfaté sodique à cause des concentrations basses de sodium.

5 Potabilité des eaux (normes et qualité) :

La but préalable d'une étude 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 établis des normes de potabilités à ne pas dépasser pour que l'eau puisse être consommable, accompagnent avec les normes algériennes, on a choisi quelques paramètres physiques et quelques élément chimiques majeurs voir le tableau ci-dessous.

Tableau 32 : Normes algérienne et l'OMS pour la potabilité.

paramètres physicochimiques	L'unité	normes admissibles	
		algérienne	OMS
Conductivité	μs/cm	2800	/
Minéralisation	mg/l	1500	1000
Température	C°	25	25
PH	/	6,5-9	6,5-9,5
Turbidité	NTU	/	0,5
Titre de dureté (TH)	mg/l	500	200ppm
Ca	mg/l	200	100
Mg	mg/l	150	30
Na	mg/l	200	55
K	mg/l	20	12
Cl	mg/l	500	250
SO4	mg/l	400	500
HCO3	mg/l	N'est pas des normes précisés	30
NO3	mg/l	50	50

5.1 Normes de potabilité selon le degré hydrotimétrique (DHT) :

La dureté de l'eau ou le degré hydrotimétrique c'est la méthode la plus utilisée, pour déterminer la qualité de l'eau, est une mesure globale de la concentration en sels dissous de l'eau en calcium et en magnésium.

Une eau à degré hydrotimétrique élevé est dite dure, dans le cas contraire, il s'agit d'une eau douce.

Le DHT d'une eau correspond à la somme des concentrations en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} avec l'équation suivante : $\text{DHT} = r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}$ (en méq/l) où $1 \text{ méq/l} = 5^\circ\text{F}$

Tableau 33: Classification des eaux selon le degré hydrométrique

Classe de DHT (F°)	10 à 15	15 à 20	20 à 35	>35
Dureté de l'eau	Douce	Moyennement douce	Dure	Très dure

Le tableau si dessous représente les 08 échantillons d'eaux analysés.

Tableau 34 : Dureté des eaux du bassin oued M'zi.

Région	point d'eau	DHT (F°)	dureté
Laghouat	R. mriga	71,45	Très dure
	forage 2 K H	133,63	
	R. essadikia	76,30	
Ksar El hirane	F,ghrib	62,18	
	F. marghoub	67,22	
Assafia	Assafia charghia	70,18	
Oued morra	forage 01	42,60	
	forage 01	49,08	

Tableau 35 : classification des eaux selon la potabilité.

Qualification	douce	Moyennement douce	Dure	Très dure
Nombre d'échantillons	0	0	0	08

La majorité des eaux de bassin de l'oued M'Zi sont très dure, les pourcentages de concentration en sels dissous dans l'eau en Mg^{2+} et Ca^{2+} en amont du bassin un peu bas par rapport à la vallée qui signifie que la qualité des eaux de la vallée est très dure que l'amont

6 L'aptitude des eaux à l'irrigation :

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins fiables parmi lesquels :

- Le pourcentage en sodium (% Na).
- Sodium adsorption ratio (S.A.R).

6.1 Diagramme de Riverside :

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par la minéralisation totale. Le S.A.R est un indice qui mesure le danger que représente l'existence

d'une teneur donnée en sodium dans l'eau. Il se calcule par la formule suivante :

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

Le diagramme de Richards a permis la classification des eaux du bassin de l'oued M'zi

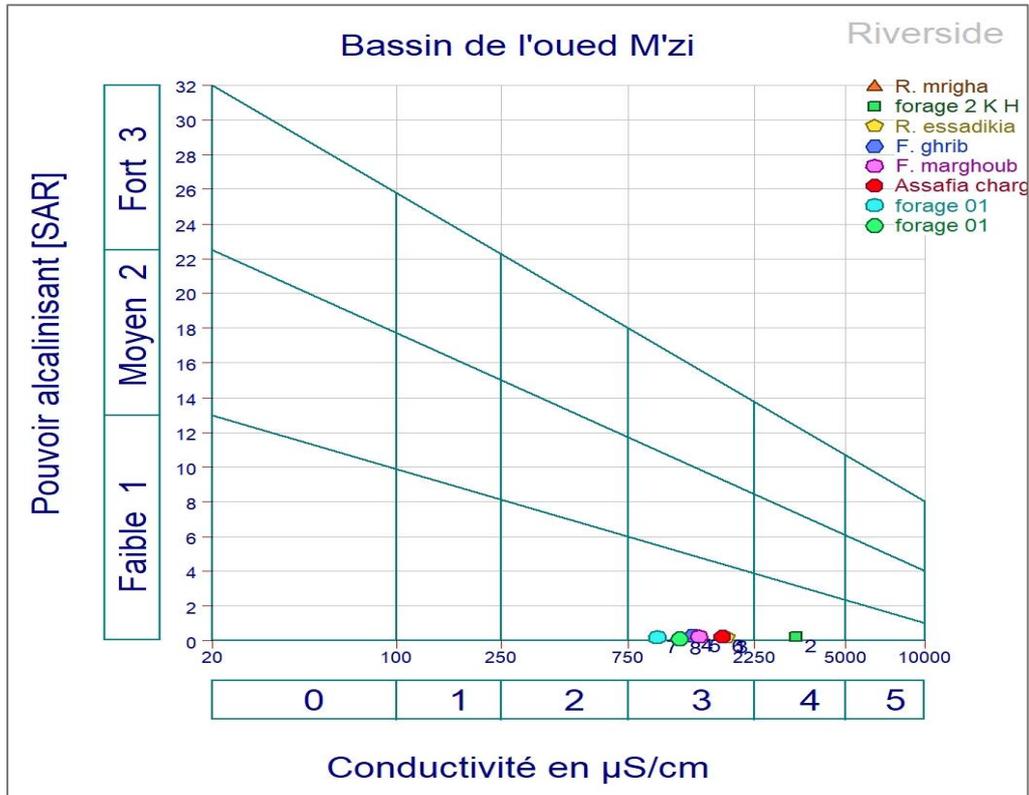


Figure 58: Classification des eaux de l'irrigation par diagramme de Riverside

Les eaux de la zone étudiée appartiennent à la classe : conductivité (3.4) et SAR faible.

Tableau 36: Répartition de la qualité des eaux d'après le diagramme de Richards.

Classes	Qualité
C2 S1	Bonne
C3 S1	
C3 S2	Médiocre
C4 S1	Mauvaise
C4 S2	

On peut tirer de ce diagramme que la totalité des points d'eaux sont des eaux qui peuvent être utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols (des eaux bonnes pour l'irrigation)

parce que la valeur de S.A.R est basse ($S.A.R < 2$)

6.2 Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX) :

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par Wilcox sur cette question ont abouti au diagramme de la (Figure 59), Nous avons jugé intéressant d'utiliser la classification de « Wilcox », fondée sur la conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau (Louvrier 1976), pour examiner ce problème. Le pourcentage du sodium peut être défini comme suit :

$$N \% = \frac{Na}{Ca+Mg+K+Na}$$

Les éléments sont exprimés en mg/l

Le but de diagramme du wilcox c'est de décrire le pourcentage de sodium soluble dans les eaux et avoir est ce que ces eaux dans les normes pour l'irrigation, il contient cinq classes : excellente, bonne, admissibles, médiocre et mauvaise. Voir (figure 59)

Dans notre cas, la majorité des eaux de bassin versant du l'oued M'zi sont bonne pour l'irrigation, un seul point qui est de mauvaise qualité.

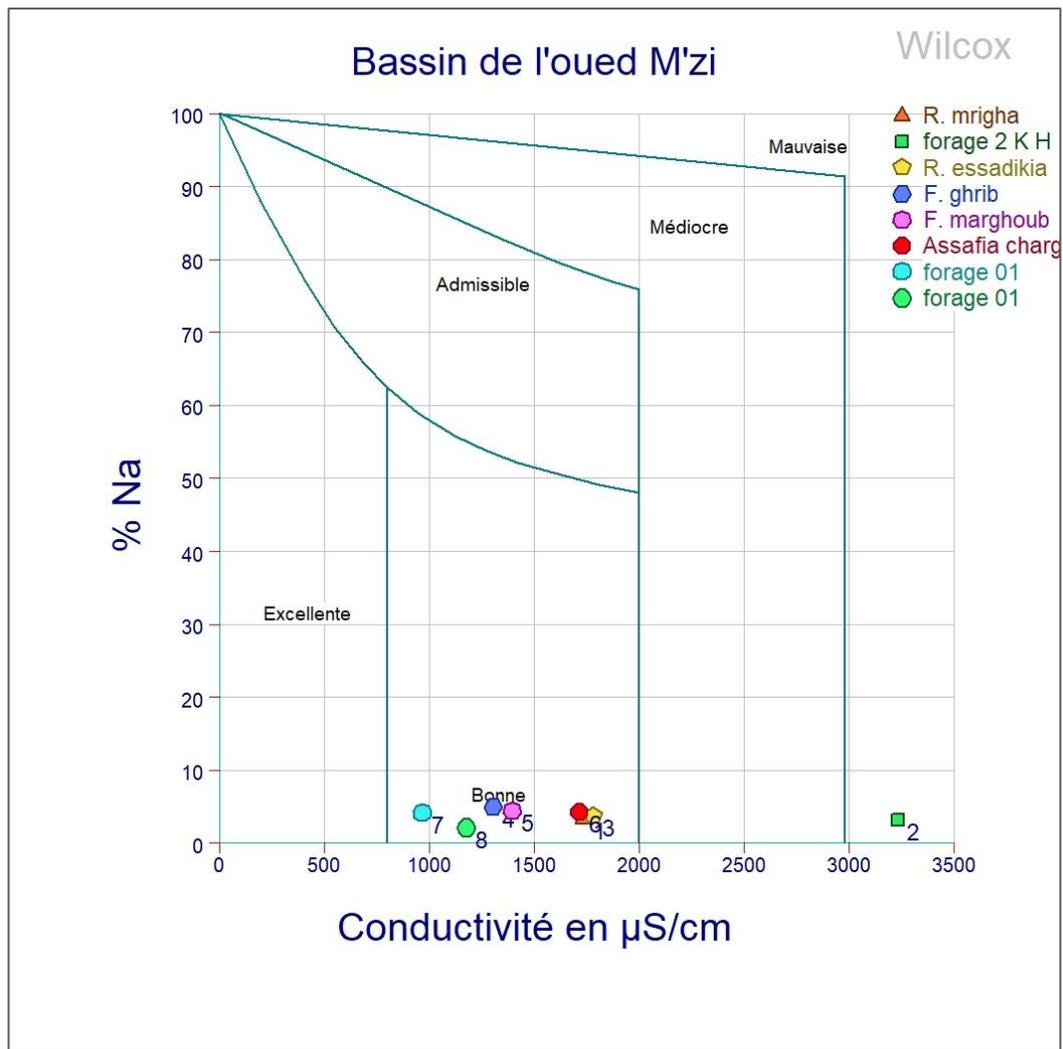


Figure 59 : Classification des eaux pour l'irrigation selon le diagramme de wilcox.

7 L'impact de la pollution :

La qualité et la disponibilité de la ressource en eau est sans conteste l'un des grands enjeux de notre siècle. Sa préservation passe par une meilleure gestion des polluants, essentiellement issus des activités humaines. Voyons d'où vient la pollution des eaux souterraines et superficielles et quelles mesures existent pour la contrôler et réduire la menace qu'elle fait peser sur notre environnement.

Les facteurs de pollution sont multiples : industrie, agriculture, vie domestique et vie biologique, ainsi que d'autres types de pollution liée aux formations géologiques qui se produisent grâce à leur lessivage par les eaux.

Cette pollution peut avoir des origines diverses, Dans la région étudiée, il y a trois sources principales :

Pollution d'origine domestique et urbaine : due à l'usage de l'eau par les foyers domestiques, ce type de pollution caractérise la région de Laghouat et la partie centrale du bassin versant, mais reste relativement peu importante du fait du nombre assez réduit d'habitants dans cette région

Pollution d'origine agricole : due à l'usage excessif des engrais chimiques pour la fertilité des sols surtout dans la partie nord (la plaine de Hamda) et sud Est (Ksar el hirane) Cette forme de pollution est également très limitée.

Pollution Industrielle : Elle est le résultat de la présence des unités de transfert et de pompage des hydrocarbures de la SONATRACH, sises dans la région de Milok et Messeka. Un risque d'éventuelle pollution des ressources souterraines peut exister, si des mesures de protection n'ont pas été prises

Des solutions pour réduire la pollution dans le bassin de l'oued M'zi :

- Il est impératif de raccorder tous les rejets des eaux de l'assainissement aux réseaux allant vers la station d'épuration de sidi Hakoum et éviter de rejeter dans l'oued M'zi et oued Messaad
- La sensibilisation des agriculteurs sur l'impact de l'utilisation en excès des engrais sur la qualité des eaux souterraines est très importante
- Faire des études d'impacts sur l'environnement pour parier à toute éventualité de pollution. (Ex : Etude de SONATRACH en amont du bassin)

8 Conclusion :

L'étude hydro chimique est importante car l'eau contient toujours des quantités de sels et de matières dissoutes qui interviennent dans sa qualité.

Certains éléments chimiques dans une eau représentent un danger pour la santé humaine, Ainsi l'organisation mondiale de la santé (OMS) a établi des normes de potabilité des eaux en fonction de la teneur des éléments chimiques et bactériologiques

La caractérisation hydro chimique des eaux du bassin du l'oued M'Zi d'après les analyses sur (26) point d'eau à fait ressortir que :

Les valeurs sont douteuses, la balance ionique n'est pas respectée. La raison pourrait être soit un mauvais dosage, soit une erreur de retranscription. On a fait notre étude sur (08) point d'eau, les autres valeurs sont douteuses supérieurs à 5 %.

Les résultats de PH mesurés varient entre 6.27 et 7.78 généralement respectent les normes, les valeurs de turbidité sont inférieures à 0,5 NTU.

La minéralisation importante est localisée généralement au centre du bassin dans les formations du Jurassique ou l'eau circule en majeure partie dans des calcaires à intercalation de marnes gypseuse.

La classification des eaux souterraines par la méthode de Schoëller Berkaloff et Piper à permis de constater que les eaux de notre zone étudiée sont caractérisées par 03 faciès hydro chimiques. Le faciès Sulfaté calcique est le plus dominant.

Les teneurs élevées en sulfates sont liées directement à la lithologie c'est-à-dire aux formations triasiques (gypse).

Enfin malgré les teneurs élevées des différents ions et leurs caractères neutre et durs, les eaux de bassin du l'oued m'zi restent propres à l'irrigation et les normes de potabilité sont en général respectées.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans le cadre de l'étude consacrée à l'ensemble des aquifères dans le bassin versant d'oued M'zi bornés à dégager les différents paramètres (géologique, hydro géologique, hydro climatologique, hydro chimique) liées à l'origine des écoulements souterrain ont été déterminés.

Concernant à l'étude du notre bassin versant qui couvre une superficie de 6153 km² et un périmètre de 390 km, de forme allongée, le relief est représenté par une pente élevée sur la zone montagneuse et faible au niveau de la vallée, ce qui offre une condition favorable à l'épandage des eaux en périodes de crues sur un impluvium de bonne perméabilité. Cette situation contribue largement à la réalimentation des nappes.

La géologie du 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 synclinales 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 réapparaître 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 niveaux : superficiel pour les importantes alluvions Quaternaire, et profond pour les terrains du continental intercalaire.

Au point de vue hydroclimatologique notre contribution à abouti selon les données qui nous ont été disponibles, que le climat aride et semi-aride avec de faibles précipitations annuelle à la station de Laghouat 149.7 mm/an durant la période (1990-2011), et une température moyennes annuelle élevée (18.87C°) sur la stations de Laghouat , pour la station de Aflou les précipitation sont à 257.7 mm et une température moyenne annuelle de 13.63 C°, ce qui se traduit par un déficit hydrique le long de l'année.

L'évapotranspiration réelle calculée par les différentes méthodes donne des valeurs comparables, celle obtenue par l'abaque de Verdeil a été retenue et a donnée 140 mm pour la station de Laghouat et pour la station de Aflou l'évapotranspiration réelle est de 247 mm pour la même période (1990-2011),

Le bilan hydrologique a montré que l'essentiel des précipitations est repris par l'atmosphère et ce n'est qu'un faible volume qui s'infiltré (0,27 à Aflou et 5,84 à Laghouat).

Du point de vue hydrogéologique, la zone étudiée abrite principalement quelques aquifères importants ; l'un localisé dans les alluvions, la nappe Mio-Pliocène de la vallée du M'zi de, l'autre profonde contenue dans les grès fissurés du Barrémien- albien (les grands synclinaux djebel amour), c'est un aquifère multicouche avec un système supérieur libre et un système inférieur captif et présente une perméabilité mixte, l'aquifère kimméridgien est installé dans les grès moyen rouges, l'aquifère des calcaires du portlandien qui est installé dans les calcaires jaunâtres très fissurés au niveau de kourdane.

La piézométrie montre que tous les écoulement convergent vers l'affluent principal l'Oued M'zi de direction Sud-Est

Le gradient hydraulique est fort au niveau des zones d'alimentation et devient plus faible au niveau de la vallée. Il varie de 0,28 au niveau du pont à 0,03 au niveau de Ksar El Hirane . La transmissivité varie de $8,75 \cdot 10^{-4}$ m²/s à $3,6 \cdot 10^{-3}$ m²/s et le coefficient d'emmagasinement (estimé) de $2,1 \cdot 10^{-7}$ à $35 \cdot 10^{-7}$ indiquant un système captif en profondeur à l'aquifère du barrémien. La perméabilité dans la formation Mio-Plio-Quaternaire est plus faible (0,0169 m/s) dans les grès du Barrémien (0,078 m/s).

L'étude hydrochimique, basée sur les résultats d'analyses qui sont effectuées sur 26 points d'eau, les valeurs sont douteuses, la balance ionique n'est pas vraiment respectée. La raison pourrait être soit un mauvais dosage, soit une erreur de retranscription, on a étudié 08 points

Les faciès chimiques des eaux, d'après la classification par les différentes méthodes Schoëller Berkloff, Stabler et Piper, permet de déduire 03 faciès hydro chimiques.

Au nord-ouest, sud-ouest du bassin (amont), la région Oued morra ; présente des faciès : sulfaté calcique ; bicarbonaté calcique ; bicarbonaté magnésien, ça revient à la nature de l'encaissant : massifs calcaires ; massifs dolomitiques ; gypse ; grès, et peut être par l'effluence de pollution.

Au centre vers Est du bassin (la vallée), les régions ; Laghouat ; Ksar el hirane, représentent des faciès les plus dominat sont sulfaté calcique ; bicarbonaté magnésien. Ça revient à la nature de l'encaissant : massifs calcaires ; massifs dolomitiques ; des agriles, grès des alluvions et peut être par l'effluence des engrais agricole (concentrations élevées des nitrates) et la pollution (concentrations élevées de Chlore).

Enfin malgré les teneurs élevées des différents ions et leurs caractères incrustants et durs, les eaux de bassin du l'oued M'zi restent propices à l'irrigation et pour la potabilité sont en générale respectées.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

Abed S., (1982) : Litho stratigraphie et sédimentologie du Jurassique moyen et supérieur du Djebel l'Amour. Thèse de doctorat 3ème cycle ; univ. De Pau et des pays de l'Adoure

Aissaoui A., (2016) : hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de l'oued m'zi (Laghouat, algerie). Mémoire de magistre : université d'Oran,64 p 93 p, 99p 104p.

Algérienne des eaux (ADE) Unité de Laghouat les résultats physico-chimique.

A.N.R.H : Données climatologiques des stations de Oued M'zi (Aissaoui A 2016).

Chennafi A., (2013) : Cartographie et protection qualitative des eaux souterraines en zones arides, cas de Milok, Metlili Atlas saharien central(Lagouat,Algerie) mém. de Magister, IST (Oran), 185p.

ChettihM., (2007) : Analyses fonctionnelle de quelques systèmes d'aquifères de atlas saharien central, thèse doctorat USTHB Alger.

Direction des ressources en eaux (DRE) :1997 études réalisés par Icosium Forage engineering services.3p.

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.

Mahboubi M., (1983) : Etude géologique du crétace post Aptien et du Tertiaire Continental de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas Saharien Central). Thèse 3em cycle, IST, Univ. d'Oran. 161p.

Nadji A., (1997) : Etude sédimentologique, cartographique et néotectonique des formations post - Turoniennes de l'Atlas Saharien Central. Région d'Aflou (Laghouat). mém. de Magister, IST (Oran), 302p.

Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) 2003 : Le Système Aquifère du Sahara Septentrional [SASS].

O.M.S : Normes internationales pour l'eau de boisson (dernière mise a jours 2006)

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., (2013) : Contribution à l'étude hydrogéologique 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.

Thorntwaite Cw.,(1948) : An approche toward a rational classification of climate.geographical Review.

Tuoahir m. et Tarmoune ,2014 : contribution hydrogéologique de l'aquifère intercalaire, université kasdi merbah ouargla, p 55-p 94.

Turc L., (1961) : Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentiel. Annagronomique, Vol.12N°1 I.N.R.A.

UNESCO,1972 : continental intercalaire (synthétique de Sahara septentrionale).

Verdeil P., (1961) : utilisation pratique de la methode de Tornthwait dans l'étude d bilan hydrique des bassins.Congrés National d'Hydrogeologie.-Journées H.SHOLLER-Bordeaux.13p,6Tableaux.

Verdeil p., (1989) : Abaque pour le calcul du deficit d'ecoulement en Algerie.Seminnaire des science de la terre.Alger.

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

RESUME :

Les nappes souterraines sont la source principale des eaux dans l'atlas Saharien, Le climat de notre région d'étude (Bassin versant de l'oued M'zi) aride à semi-aride avec des faibles précipitations, et des températures très élevées qui sont à l'origine de la rareté des eaux superficielles, d'où la nécessité d'exploiter les eaux des nappes souterraines. Notre travail consiste à l'étude hydrogéologique des aquifères du barrémien jusqu'au mio-plio-quadernaire. Une campagne de terrain a été effectuée pour déterminer les niveaux piézométriques et les sens d'écoulements de ces nappes, La réalisation et l'étude de la carte piézométrique montre que le sens d'écoulement est N-E et S-W. L'étude hydro chimique montre des bonnes caractéristiques, les eaux souterraines sont de plusieurs faciès chimiques (07), le plus dominant est le faciès Sulfaté calcique, secondairement Bicarbonaté calcique.

Mots-Clés : Bassin versant, Hydrogéologie, Aquifère, Barrémien, Quadernaire, Faciès chimique, Piézométrie, sens d'écoulement, Laghouat

ABSTRACT :

Groundwater is the main source of water in the Saharan atlas, the climate of our study area (Wadi M'zi watershed) arid to semi-arid with low rainfall, and very high temperatures is the reason for the scarcity of surface water, hence the need to exploit the water of groundwater. Our work consists in the hydrogeological study of the aquifers of the Barremian to me-plio-quadernary, a field company was carried out to determine the piezometric levels and the directions of flows of these aquifers, the realization and the study of the piezometric map shows that the direction of flow is N-E and S-W. The hydrochemical study shows good characteristics, the water table is composed of seven (07) chemical faciès the most dominant faciès Sulfate calcic, and secondarily Bicarbonate calcic.

Keywords : Watershed, Hydrogology, Aquifer, Barremian, Quadernary, chemical faciès, piezometry, flow direction, Laghouat