



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université ABBES LAGHROUR Khenchela

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département de l'écologie et de l'environnement



MÉMOIRE

Pour l'obtention du

DIPLÔME DE MAGISTER EN ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

OPTION : GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU ET
DÉVELOPPEMENT DURABLE

Traçage chimique de quelques sources d'eau du Nord-est des Aurès (W. Khenchela)

Présenté par :

Mr. BOUGANDOURA AbdErraouf.

DEVANT LE JURY :

Président:	Mr. DARBOUCHE Abdelhak.	Pr. Université de Khenchela.
Promoteur:	Mr. HOUHA Belgacem.	MC Université de Khenchela.
Examineurs:	Mr. BAALI Fethi.	MC Université de Tebessa.
	Mr. GOUAIDIA Layachi.	MC Université de Tebessa.
Invité:	Mr. BAKHA Abdelhani.	MA Université de Khenchela.

Année 2013

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACE

*A mon Père et A ma Mère
Auxquels je dois ce que je suis. Que dieu vous protégé.*

A mon frère et mes sœurs

A M^{me} Nawel Lehlah

A mon regretté ami Hichem Bennadji " رحمه الله "

À mon ami avec lequel j'ai passé les plus beaux moments: BMK

A tous mes amis : Allaoua M, Islam H, Fouad.B, Sahraoui.A, Imed.C, Nadhir.A,

Taki, Sami, Hamza, Azou, Mohamed, Djemmou, Safina, Hassouna

A Adel Lemouchi

Qu'il trouve dans ce mémoire l'expression de mes remerciements les plus sincères

Spéciale dédicace à M^r. CHIKHI Abd Nacer

*A mes collègues: Chaouki, Wiwi, Hafouche, Zohir, Smail, Baki, Nacer, Samiha,
Radhia, Sousou, Sabrine, Yamama, Labide(Louâa), Zakia, Dalila, Alima.....*

A Batboute et Salima

A Moufida

Enfin

A tout le monde

Abderraouf Bougandoura

Remerciements

Je remercie ALLAH le tout puissant qui m'a donné la force et la volonté d'achever ce mémoire et je Lui rends grâce.

Je tiens dans un premier temps à remercier Mr. Le Docteur HOUHA Belgacem; mon encadreur qui a accepté de diriger ce travail, je lui exprime ici toute ma gratitude pour ses conseils, ses remarques et le temps qu'il m'a consacré.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur le Professeur DARBOUCHE Abdelhak, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements spéciaux à Monsieur le Docteur GOUAIDIA Layachi qui a bien voulu accepter de participer au jury.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Monsieur le Docteur BAALI Fathi qui a bien voulu accepter aussi de participer au jury de ce mémoire.

Ce travail qui n'aurait pas pu aboutir sans la participation de nombreuses personnes. J'adresse une pensée particulière:

À Monsieur BEKHA ABDELHANI, pour nous avoir reçu et accompagner au sein du laboratoire L.A.E.E.C.M. Ain M'Lila et surtout pour sa disponibilité, ses idées et conseils.

Mes remerciements aussi à toute l'équipe de l'I.N.S.I.D, pour leurs grandes disponibilités, et leurs sympathies.

À mon collègue et ami Mr BELMEKKI Med Elkamel, pour son aide et ses précieux conseils.

Finalement, je ne peux pas oublier ma famille qui m'a toujours soutenu et cru en moi durant tout mon cursus.

Sommaire

INTRODUCTION GENERAL.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	
I.1.Cadre géologique, géomorphologique et structurel.....	3
I.1.1. Situation géographique.....	3
I.1.2.Approche géologique générale.....	5
I.1.3.Stratigraphie générale.....	9
I.1.3.1.Le Mésozoïque.....	10
a) Trias.....	10
b) Le Crétacé.....	10
b.1.Crétacé inférieur.....	10
b.1.1.Barrémien- Aptien.....	11
b.1.2. Albien.....	11
b.2.Crétacé supérieur.....	11
b. 2.1.Cénomaniens.....	12
b. 2.2.Turonien.....	12
b.3.Sénonien.....	12
I.1.3.2. Le Cénozoïques.....	12
a) Le Néogène.....	12
I.1.3.3.Quaternaire.....	13
I.1.4. Aperçu géomorphologique et structurel.....	14
I.1.4.1. Cadre géomorphologique.....	14
I.1.4.1.1. Les reliefs.....	14
I.1.4.1.2. Les pentes.....	16
I.1.4.2. Cadre structurel.....	18
I.2.Végétation, activité humaine et réseau hydrographique.....	18
I.2.1.Végétation et activité humaine.....	18
I.2.2. Réseau hydrographique.....	19

CHAPITRE II : CADRE HYDRO-CLIMATIQUE

Introduction.....	22
II.1. Les données climatiques.....	22
II.1.1.La pluviométrie.....	23
II.1.2.La température.....	25
II.1.3. Le régime pluviométrique saisonnier.....	26
II.2. Caractérisation du climat.....	27
II.2.1.Diagramme Pluvio-thermique.....	27
II.2.2.Indice de Martonne.....	28
II.2.3.Indice d'aridité mensuel.....	29
II.2.4. Etablissement du bilan hydrique.....	30
II.2.4.1.Evapotranspiration potentielle.....	31
II.2.4.2. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	32
II.2.4.3. Evapotranspiration réelle (ETR).....	34
II.2.4.4. Le bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	35
II.2.4.5. Ruissellement superficiel et l'infiltration.....	38
Conclusion.....	38

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

Introduction.....	39
III.1. Echantillonnage et prélèvements.....	39
III.1.1. Les étapes de l'échantillonnage.....	39
III.1.1.1. Préparation du matériel.....	39
III.1.1.2. Calibrage des appareils.....	40
III.1.1.3. Prélèvement des échantillons.....	40
III.1.1.4. Conservation des échantillons.....	40

III.2. Mesures in situ : Paramètres physiques.....	41
III.2.1. Mesure de la température.....	41
III.2.2. Mesure du pH.....	41
III.2.3. Mesure de la conductivité électrique.....	42
III.2.4. Mesure du Total des Solides Dissous (TDS) et la salinité (SAL).....	42
III.3. Analyse au laboratoire.....	43
III.3.1. La spectrophotométrie à absorption atomique (UV-Visible).....	44
III.3.2. La spectrophotométrie à flamme.....	44
III.3.3. La méthode titrimétrique à l'EDTA pour le dosage simultané du calcium et du magnésium.....	45
III.3.4. La méthode titrimétrique de dosage du TAC.....	46

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

Introduction.....	47
IV.1. Description visuelle des sites d'échantillonnage.....	48
IV.1.1. Source d'Ain Mimoun.....	48
IV.1.2. Source d'Ain Elkarma.....	49
IV.1.3. Source d'Ain Essilene.....	50
IV.1.4. Source d'Elmaa Lakhel (Yabous).....	51
IV.1.5. Source de Hammam Essalhine (les 02 griffons).....	52
IV.1.6. Source d'Ain Sfaa.....	53
IV.1.7. Source d'Ain Thimizabine (Yabous).....	54
IV.1.8. Source d'Ain Elfakroune.....	55
IV.1.9. Source de Hammam Djaarir.....	56

IV.2. Etude analytique des paramètres physiques.....	57
IV.2.1. La température.....	57
IV.2.2. Le pH.....	58
IV.2.3. La conductivité électrique.....	59
IV.2.4. Le Total des Solides Dissous (TDS).....	60
IV.2.4. La salinité (S).....	61
IV.3. Etude analytique des paramètres chimiques.....	62
IV.3.1. Les éléments majeurs.....	62
IV.3.1.1. Le Calcium (Ca).....	64
IV.3.1.2. Le Magnésium (Mg).....	65
IV.3.1.3. Le Sodium (Na).....	67
IV.3.1.4. Le Potassium (K).....	68
IV.3.1.5. Les Chlorures (Cl).....	69
IV.3.1.6. Les Sulfates (SO ₄).....	70
IV.3.1.7. Les Nitrates (NO ₃).....	71
IV.3.1.8. Les Bicarbonates (HCO ₃).....	73
IV.3.2. Les éléments mineurs.....	73
IV.3.2.1. La Silice (SiO ₂).....	75
IV.3.2.2. Le Manganèse (Mn).....	76
IV.3.2.3. Le Zinc (Zn).....	76
IV.3.2.4. Le Fer (Fe).....	76
IV.3.2.5. Le Cuivre (Cu).....	77
IV.3.3. La représentation graphique.....	77
IV.3.3.1. Diagramme de Piper.....	77
IV.3.3.2. Diagramme de Schoëller Berkalov.....	79

IV.4. Etude de l'origine des éléments dominants.....	81
IV.4.1. Origine des éléments Ca^{+2} , HCO_3^- et SO_4^{-2}	81
IV.4.2. Origine des éléments Na^+ et Cl^-	82
IV.4.3. Origine des éléments HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{-2}	83
IV.4.3. Origine des éléments Cl^- et SO_4^{-2}	84
IV.4.4. Conclusion.....	85

CONCLUSION GENERALE.....86

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

ANNEXES.

Liste des tableaux

Tableau 1: Précipitation moyenne mensuelle de la station de Khenchela (1994-2011) en mm.....	23
Tableau 2: température moyenne mensuelle à la station de Khenchela (1994-2011) en (°C).....	25
Tableau 3 : Le régime pluviométrique saisonnier pour une période de 18 ans (1994-2011).....	26
Tableau 4: Indices d'aridité mensuels (I).....	29
Tableau 5: Coefficient de correction K dépend du site considéré (climat semi aride).....	34
Tableau 6: Bilan hydrologique moyen (1994-2011) de la station de Khenchela, par la méthode de Thornthwaite.....	36
Tableau 7: Répartition de précipitation en (mm, %) à la station de Khenchela.....	38
Tableau 8: Méthodes et laboratoires d'analyse des éléments chimiques.....	43
Tableau 9 : Valeurs de la température mesurée.....	57
Tableau 10 : classification des eaux étudiées, selon leur température.....	58
Tableau 11 : Valeurs du pH mesuré.....	58
Tableau 12 : Valeurs de la conductivité électrique mesurées.....	59
Tableau 13 : Valeurs du Total des Solides Dissous (TDS).....	60
Tableau 14 : Goût de l'eau avec différentes concentrations du TDS.....	60
Tableau 15 : évaluation du goût des eaux de sources	61
Tableau 16 : Valeurs de la salinité.....	61
Tableau 17 : Les analyses chimiques en élément majeurs (mg/l).....	62
Tableau 18 : Les analyses chimiques en élément mineurs (mg/l).....	74

Liste des figures

Figure 1 : Carte administrative de la wilaya de Khenchela.....	4
Figure 2 : Carte géologique de la Wilaya de Khenchela.....	6
Figure 3 : Carte Lithologique de la Wilaya de Khenchela.....	8
Figure 4: Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de l'Aurès.....	9
Figure 5: Coupe interprétative dans le bassin de Rémila.....	9
Figure 6 : Carte des reliefs de la wilaya de Khenchela.....	15
Figure 7 : Carte des pentes de la wilaya de khenchela.....	17
Figure 8: Carte hydrologique de la wilaya de Khenchela.....	21
Figure 9: Précipitation moyenne mensuelle pour une période de 18ans (1994-2011).....	24
Figure 10 : Précipitation moyenne annuelle pour une période de 18ans (1994-2011).....	24
Figure 11: Température moyenne mensuelle pour une période de 18ans (1994-2011).....	25
Figure 12 : Température moyenne annuelle pour une période de 18 ans (1994-2011).....	26
Figure 13 : le régime pluviométrique saisonnier pour une période de 18ans (1994-2011).....	26
Figure 14 : Diagramme Ombro-thermique.....	27
Figure 15: Le complexe hydrique (sol- plante-climat).....	30
Figure 16 : processus de l'évapotranspiration.....	31
Figure 17 : Evaporation et Evapotranspiration potentielle et réelle.....	32
Figure 18: Utilisation de l'eau du sol par les végétaux lors du cycle de l'eau.....	35
Figure 19 : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite.....	37
Figure 20 : Image satellite de la source d'Ain mimoun.....	48
Figure 21 : la source d'Ain Mimoun (Prise Est).....	48
Figure 22 : La localisation de la source d'Ain Elkarma.....	49
Figure 23 : la source d'Ain Elkarma (Prise Ouest).....	49

Figure 24 : La localisation de la source d'Ain Essilene.....	50
Figure 25: la source d'Ain Essilène (Prise Nord-est).....	50
Figure 26 : La localisation de la source d'El maa Lakhel (Yabous).....	51
Figure 27: la source d'El maa Lakhel (Prise Ouest).....	51
Figure 28 : La localisation de la source de Hammam Essalhine.....	52
Figure 29 : la source de Hammam Essalhine (Prise Est).....	52
Figure 30 : La localisation de la source d'Ain Sfaa.....	53
Figure 31 : la source d'Ain Sfaa (Prise Nord).....	53
Figure 32 : La localisation de la source d'Ain Thimizabine (Yabous).....	54
Figure 33 : la source d'Ain Thimizabine (Prise Sud-est).....	54
Figure 34 : La localisation de la source d'Ain Elfakroune	55
Figure 35 : la source d'Ain Elfakroune (Prise Sud).....	55
Figure 36 : La localisation de la source de Hammam Djaarir.....	56
Figure 37 : la source de Hammam Djaarir (Vue interne).....	56
Figure 38 : Représentation graphique des dix sources d'eau (les éléments majeurs).....	63
Figure 39 : Représentation graphique des trois sources d'eau thermales (les éléments majeurs).....	63
Figure 40 : Représentation graphique des sept sources d'eau minérales (les éléments majeurs).....	64
Figure 41 : Représentation graphique de la teneur en Calcium	65
Figure 42 : Représentation graphique de la teneur en Magnésium.....	66
Figure 43 : Représentation graphique de la teneur en Sodium.....	67
Figure 44: Représentation graphique de la teneur en Potassium	68
Figure 45: Représentation graphique de la teneur du Chlore	69
Figure 46 : Représentation graphique de la teneur en Sulfate	71
Figure 47 : Représentation graphique de la teneur en Nitrates.....	72
Figure 48 : Représentation graphique de la teneur en Bicarbonates.....	73

Figure 49 : Représentation graphique des dix sources d'eau (les éléments mineurs).....	75
Figure 50 : Représentation sur diagramme de Piper des compositions en éléments majeurs des sources d'eau de la zone d'étude.....	78
Figure 51 : Représentation sur diagramme de Schoëller Berkalov des compositions en éléments majeurs des sources d'eau de la zone d'étude.....	79
Figure 52 : Détermination de l'origine du calcium.....	81
Figure 53 : Détermination de l'origine du Sodium.....	82
Figure 54 : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique.....	83
Figure 55 : Evolution des Sulfates et les Chlorures en fonction de la conductivité électrique.....	84

Introduction générale

Introduction générale

Depuis la création du globe, l'eau est un élément essentiel pour la vie et fait partie de tous les phénomènes qui se déroulent sur notre planète bleue qui tire son nom de cette précieuse ressource.

Dès l'aube des âges, toutes les civilisations humaines naissaient et se développaient autour des points et plans d'eau. Et souvent s'étaient la cause des conflits, des compromis et aussi des lieux sacrés.

L'eau recouvre plus que les deux tiers de la superficie du globe, mais malheureusement cette eau est salée et donc non potable et ne convient pas à l'irrigation. L'eau douce, elle, représente 3% de l'eau totale de notre planète. Dans ce faible pourcentage, les rivières et les lacs représentent 0,3%, alors que tout le reste est stocké dans les glaciers polaires (**Ramade F., 2005 ; Hernández L., 2006**).

Les activités humaines bouleversent les eaux superficielles telles que les rivières, les oueds, les lacs...etc. Nonobstant ces profanations restent relativement protéger les aquifères souterrains qui se manifestent à la surface par des exutoires qu'on nomme « source d'eau ».

Une source naît de la conjonction de facteurs topographiques et hydrogéologiques comme une meilleure perméabilité locale. Si une source coule en permanence elle est dite pérenne. Dans les aquifères karstiques les sources peuvent ne se mettre à couler qu'en fonction d'un évènement pluvieux.

Vue l'importance de ces sources, leur protection passe d'abord par la compréhension de leur système de fonctionnement c'est-à-dire les zone de recharge, les réservoirs souterrains, les cheminements des eaux et le temps de séjour.

La meilleure façon d'appréhender ce système de fonctionnement est le traçage chimique, car il nous permet de mieux connaître l'origine et l'itinéraire de ces eaux de sources pour une protection idéale et une exploitation rationnelle et optimale.

Ce modeste travail se base sur ce qui est précédemment relaté, pour apporter une contribution à l'étude et l'identification des caractéristiques physico-chimiques ainsi que les origines des eaux de sources du Nord-est des Aurès.

Chapitre I:
Présentation de la zone d'étude

Chapitre I

Présentation De La Zone D'Etude

I.1.Cadre géologique, géomorphologique et structurel

I.1.1. Situation géographique

La wilaya de Khenchela est située au Nord-est de l'Algérie, au Sud-est du constantinois, et au contrefort du mont des Aurès entre **34° 06' 36''** et **35° 41' 21''** latitudes Nord ; et entre **06° 34' 12''** et **07° 35' 56''** de longitudes Est. Sa superficie est de **9715,6 km²**. Elle est limitée administrativement au :

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

La wilaya de Khenchela se distingue par ses milieux physiques et naturels très diversifiés et à facettes multiples, alliant entre :

- Paysages telliens (zones de haute montagne, bien arrosées et bien boisées à paysages verdoyants) : Monts des Aurès occupant la partie ouest de la wilaya ;

- Paysages de hautes plaines (hautes plaines céréalières semi-arides) pour la partie Nord de la wilaya.

- Paysages steppiques et sahariens composés : de monts totalement dénudés et érodés (monts des Némenchas à l'Est), d'oasis (Siar, Khirane et El Ouldja) et de basses plaines (El Meita et Ouazerne). (CENEAP ; PAW 2009)

Elle est caractérisée par sa vocation agro-sylvo-pastorale ou la superficie agricole représente **22%**, les forêts, **12%** et la steppe représente **49%** de la superficie totale.

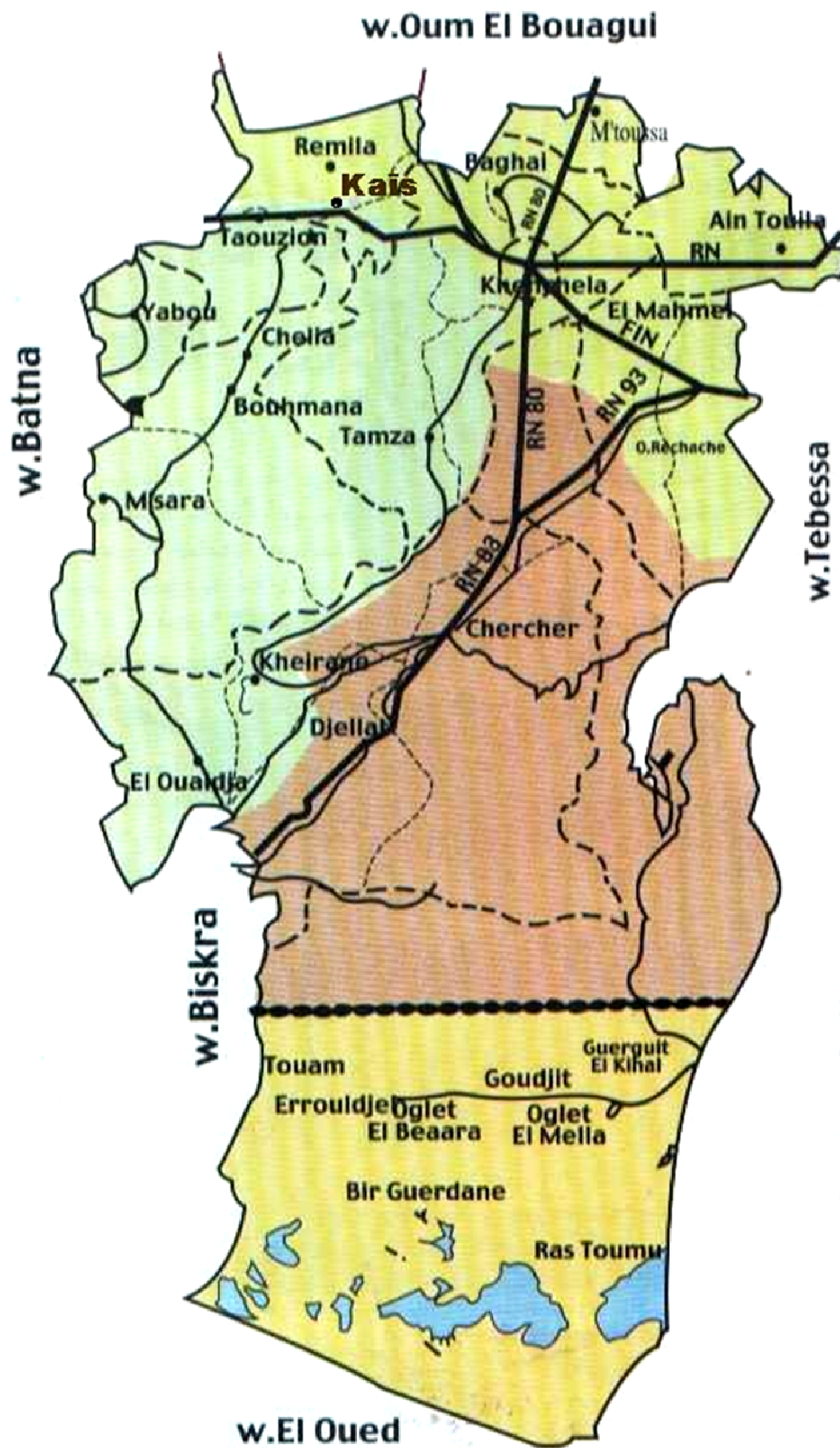


Figure 1 : Carte administrative de la wilaya de Khenchela (Source PAW ; 2009)

I.1.2.Approche géologique générale

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydrochimique. Ainsi, la lithologie, la tectonique et la structure géologique jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux qui se trouvent dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltré selon le type du terrain (perméable ou imperméable), elle est un moyen d'investigation, parce qu'elle permet la prévision des formations susceptibles d'être aquifère et de suivre leurs évolutions dans l'espace du terrain d'étude. (CENEAP ; PAW 2009)

Les nombreuses études géologiques en Algérie avaient pour principal objectif d'en améliorer la connaissance afin de faciliter l'identification et la localisation de gisements (d'eaux, souterrains, miniers, pétroliers,). Selon les nombreux travaux qui existent [Joleaud, 1936 ; Kieken, 1961 ; Durand Delga, 1969 ; Raoult, 1974 ; Vila, 1980 ;...] la géologie de la région est très complexe en raison de nombreuses surfaces de chevauchement et de failles qui perturbent les successions de formations essentiellement sédimentaires.

Les massifs, motionnés plus haut sont essentiellement crétacés. Les formations s'étagent du crétacé inférieur (DJEBEL SIDI REGHISS) au crétacé supérieur (DJEBEL DJEZIA) en passant par le crétacé moyen (DJEBEL EL HAMMIMAT).

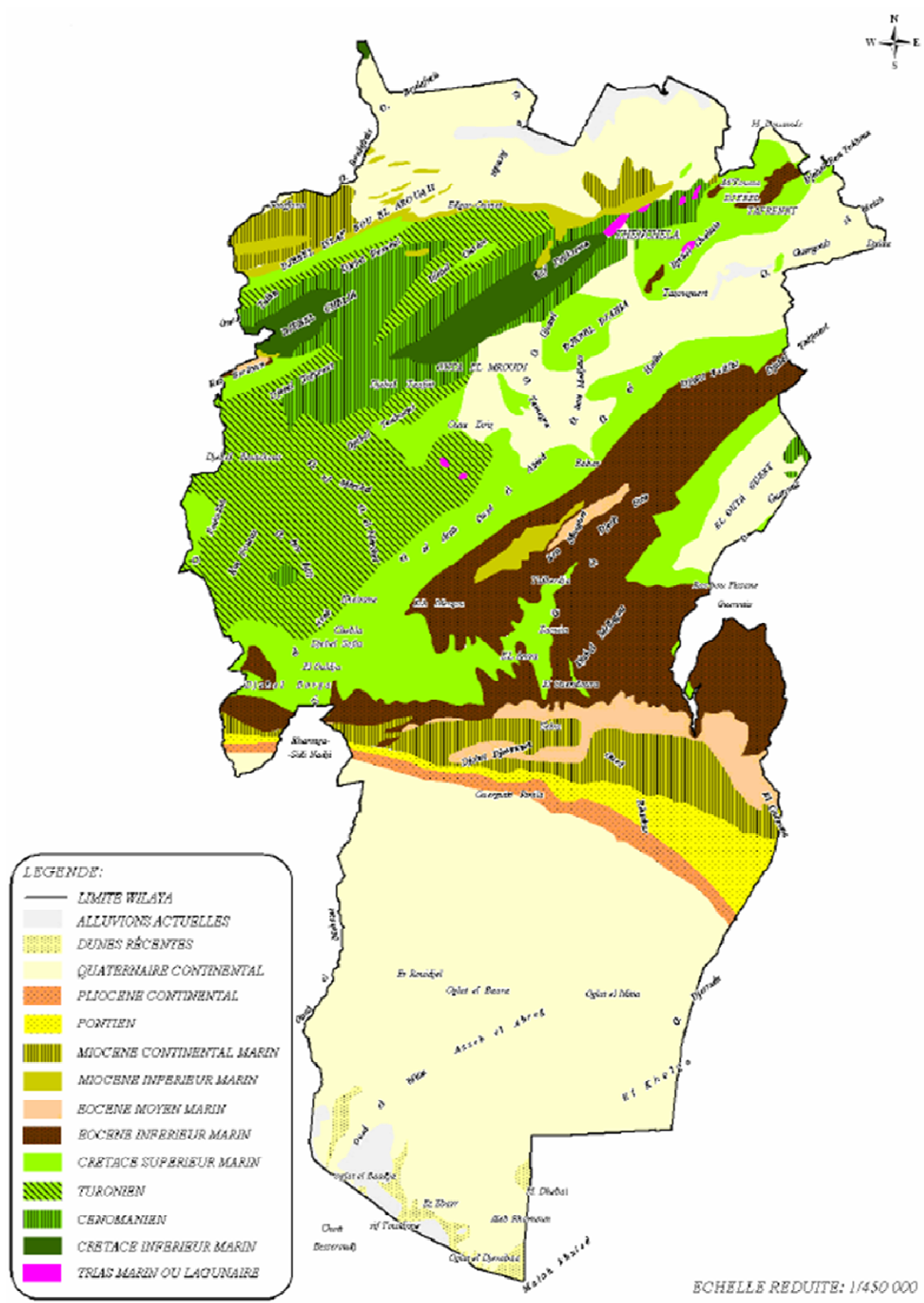


Figure 2 : Carte géologique de la Wilaya de Khenchela (Source PAW ; 2009)

La région de Khenchela est caractérisée par trois (03) zones naturelles qui peuvent être distingué comme suit :

- Au Nord : c'est le bassin miocène de Timgad et de Douffana. C'est une zone plate, steppique qui correspond à la bordure méridionale de la grande dépression de Garat El Taref.
- les parties occidentales et centrales constituent la terminaison périclinale Nord-est de la chaîne des Aurès, région caractérisée par les Diapirs triasiques.
- La zone méridionale au Sud constitue les monts des Nememchas ; et plus au Sud, c'est la zone plate qui correspond à la bordure septentrionale du pays des chotts.

Du point de vue tectonique, le territoire de la Wilaya de Khenchela est situé au Nord de la flexure sud atlasique. Les reliefs montagneux sont très accidentés par des failles. On rencontre deux principales familles :

La première correspond aux plus grande failles de direction Est-ouest à Nord-est/ Sud-ouest, la seconde celle des plus petites et dont la direction est de Nord-ouest/Sud-est. Ces deux types de failles sont verticaux.

Du point de vue tectonique, le territoire de la Wilaya de Khenchela est situé au Nord de la flexure sud atlasique. Les reliefs montagneux sont très accidentés par des failles. On rencontre deux principales familles :

La première correspond aux plus grande failles de direction Est/Ouest à Nord-est/ Sud-ouest, la seconde celle des plus petites et dont la direction est de Nord-ouest/Sud-est. Ces deux types de failles sont verticaux.

Il est à noter que les Diapirs ou dômes triasiques, qui se rencontrent dans la partie orientale, empruntent généralement les zones de failles et de faible résistance pour remonter à la surface du sol et affleurer.

Du point de vue lithologie et pétrographie, on rencontre des calcaires, des marnes, des argiles, du gypse, des sables, des grès et des conglomérats. (Houha ; 2007).

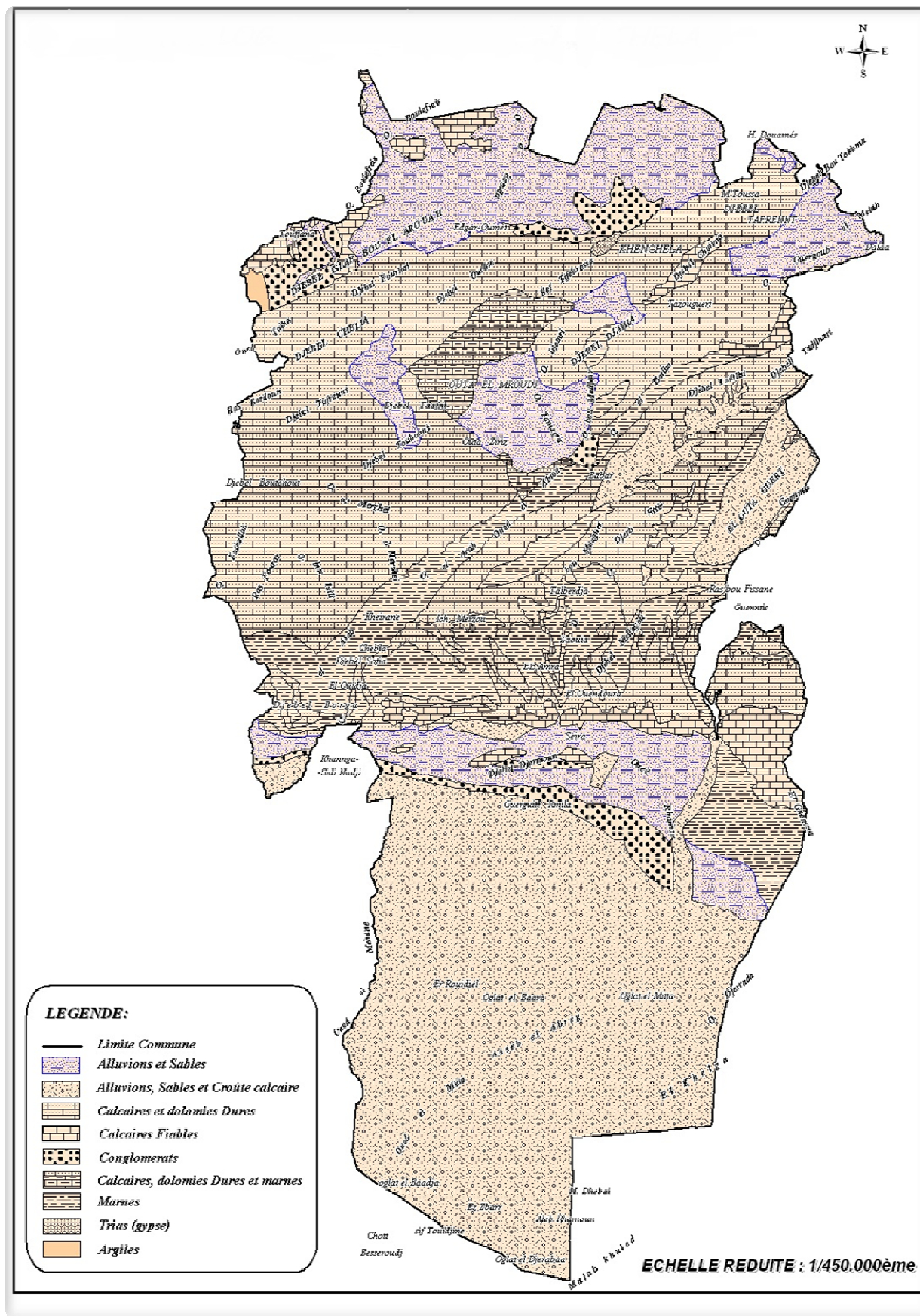


Figure 3 : Carte Lithologique de la Wilaya de Khenchela (Source PAW ; 2009)

I.1.3.Stratigraphie générale

La puissante série stratigraphique du bassin étudié est composée à sa base par un socle mésozoïque sur lequel repose, en discordance, une couverture sédimentaire allant du Trias supérieur jusqu'au Quaternaire (figure 4 et figure 5).

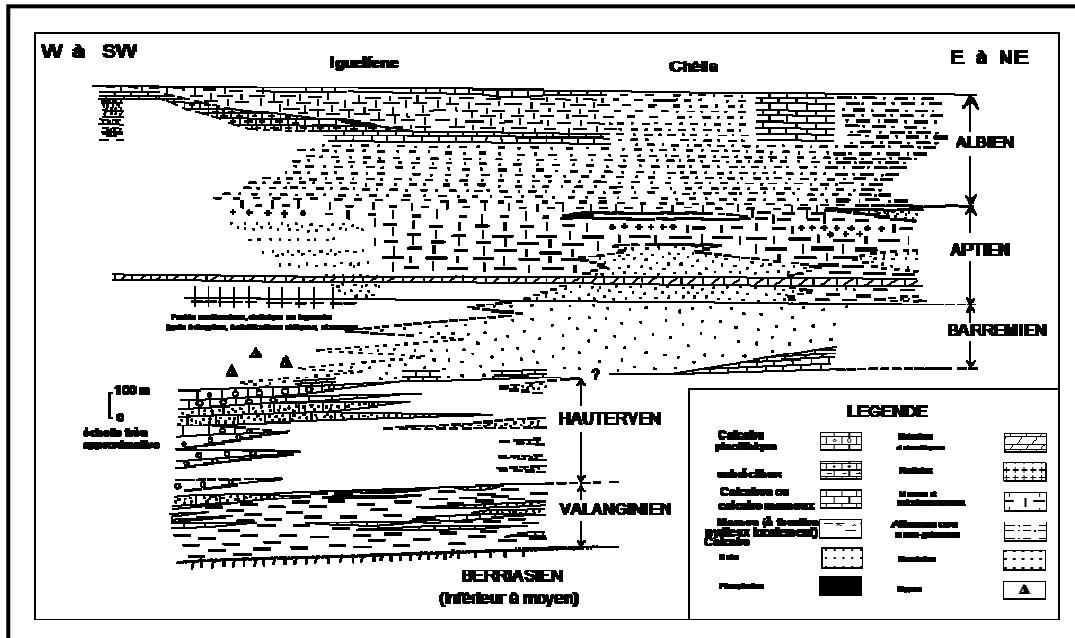


Figure 4: Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de L'Aurès d'après R. Laffitte (1939) et modifié par R. Guiraud (1973) (Source Houha ; 2007)

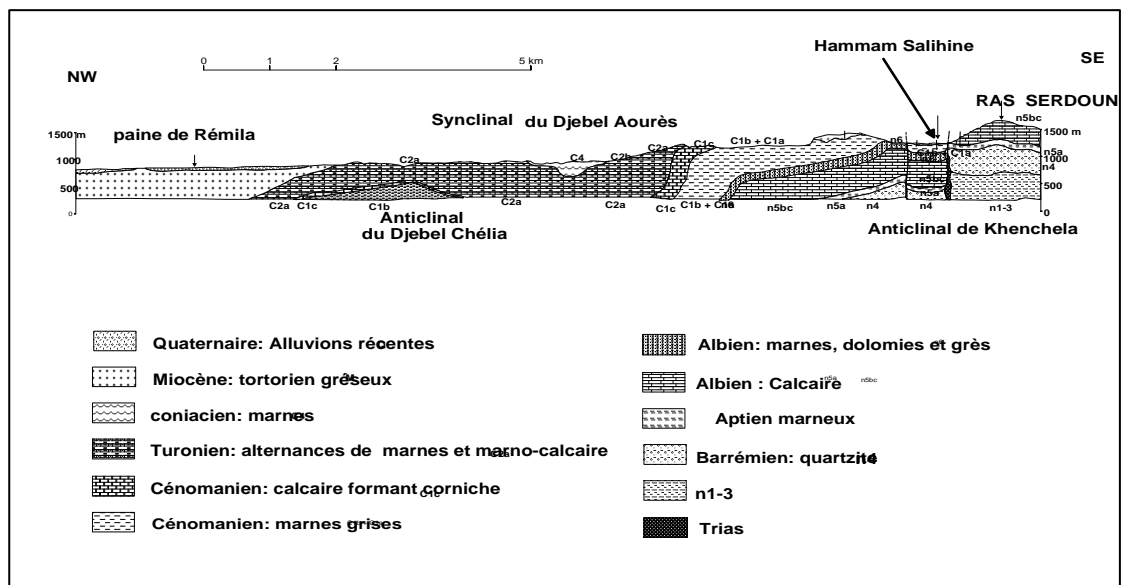


Figure 5: Coupe interprétative dans le bassin de Rémila (Source Houha ; 2007)

I.1.3.1. Le Mésozoïque

a) Trias

Dans les régions qui entourent la dépression de Hammam El Salhine les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela (**figure 4 et figure 5**), où il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de **4 à 5km** de long et de **300 à 400 m** de large et, du côté de Ain Essilene en contact anormal avec l'Albien, (Houha ; 2007).

La série triasique comportait probablement à l'origine, de la base vers le sommet : une formation évaporitique épaisse, en particulier sous la forme d'amalgames intensément replissés, représentent les indices les plus sûrs de la présence du Trias. (Houha ; 2007).

Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux.

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Ain Silene, mais cela tient, non pas à un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont anti-miocènes, il a disparu depuis longtemps.

Les argiles et marnes bariolées, de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement.

Des passées calcaire-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasiques (Houha ; 2007).

b) Le Crétacé

b.1. Crétacé inférieur

Dans le vaste massif de l'Aurès, le Crétacé inférieur constitue l'essentiel des reliefs les plus élevés : Dj. Chelia et Dj. Aidel (**figure 4**)

R. Laffitte (1939) a soigneusement décrit la plupart des faciès et c'est à partir de ses descriptions, modifiés ou complétés en quelques points, que R. Guiraud (1973) a établi la figure 4 qui résume de façon schématique les principales variations observables. (Houha ; 2007).

On notera dans l'Aurès le développement important des dépôts gréseux aux dépens des dépôts carbonatés.

b.1.1. Barrémien- Aptien

Dans le sud ouest du massif de l'Aurès, le Barrémien est représenté par un faciès continental net grès à dragées, marnes rouges, montant jusque dans l'Aptien. Lorsque l'on se déplace vers le Nord Ouest, les couches passent à des marnes fossilifères (Aptien inférieur) au sommet.

Dans le S.E présent, surtout à la base de l'étage, des intercalations de calcaires marins (Djebel Aidel), l'épaisseur de l'étage varie de **400 m** environ (Sud) à **250 m** (Nord).

Les couches précédentes sont surmontées par des marnes puis par des masses calcaires avec rares intercalations marneuses. Une barre de calcaire dolomitique roux, reconnus à ce niveau dans le massif de Khenchela. Viennent ensuite des calcaires à Orbitolines, pouvant alterner avec des marnes et surtout des grès. (Houha ; 2007).

Enfin R. Laffitte a remarqué la présence assez constante, au dessus des calcaires à Orbitolines d'un niveau peu épais (quelques dizaines mètres au maximum) de marnes ou calcaire marneux. (Houha ; 2007).

b.1.2. Albien

L'Albien débiterait dans l'Aurès (**figure 4 et figure 5**), selon la description de R. Laffitte, par des alternances de grès et de marnes atteignant le plus souvent **150 à 200 m** d'épaisseur.

Puis les calcaires, assez rares jusque là, tendent à se substituer aux grès, sur une cinquantaine de mètres environ. Au dessus de ces assises viennent des alternances de calcaires et de marnes (**40 m** environ).

L'Albien affleure dans les anticlinaux de l'Aurès (**figure 4 et figure 5**), en bordure Sud du bassin de Rémila au cœur de Djebel Aidel dans l'anticlinal de Khenchela où l'on distingue un ensemble à dominante marneuse surmonté par des grès fins. Le passage aux marnes cénomaniennes étant assez progressif. (Houha ; 2007).

b.2. Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur forme l'essentiel des affleurements mésozoïques dans les confins de l'Aurès.

b. 2.1.Cénomanién

Le Cénomanién comporte une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fins argileux, une partie médiane formée de marnes grises, vertes ou ocre, contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses (**figure 4 et figure 5**). (Houha ; 2007).

Le Cénomanién est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès (**figure 4**). Il est essentiellement calcaire-marneux. La partie inférieure est surtout marneuse. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais. L'épaisseur de cette formation est très variable. Elle peut atteindre **500 à 600** mètres au cœur de l'Aurès.

b. 2.2.Turonien

Le Turonien comporte, en effet, au dessus des marno-calcaires de base, un ensemble de marnes beige et calcaires. Dans le Djebel Amrane, le Turonien est schisteux à la base, calcaire dans la partie moyenne, et Marno-calcaire au sommet. L'épaisseur du Turonien peut atteindre 800 mètres dans les faciès Marno-calcaires du cœur de l'Aurès, mais varie de **1000 à 300** mètres dans les calcaires. (Houha ; 2007).

b.3.Sénonien

Le sénonien est présent au Sud de la plaine de Rémila, sur le flanc Nord de l'Anticlinal du Djebel Chélia avec un faciès principalement marneux. Son épaisseur peut être très importante et atteindre **1000 à 2000** m. (Houha ; 2007).

I.1.3.2. Le Cénozoïques

a) Le Néogène

Le Néogène est assez bien conservé au Nord de l'Aurès dans un bassin qui s'étend approximativement de Batna à Khenchela (**figure 4 et figure 5**).

Reposant en discordance sur le Crétacé on observe généralement à la base de la série des conglomérats et calcaires à Algues, dont la puissance dépasse rarement une vingtaine de mètres. Au dessus viennent des alternances de marnes gréseuses gris-brun et de grès calcaireux qui, D'après R. Laffitte (1939), peuvent se poursuivre aux environs **250** m entre Lambèse et Timgad et **300** m entre Khenchela et Kais sur la bordure Nord du massif de l'Aurès, où elles sont surmontées par **150** m de marnes gréseuses grises.

Il convient de préciser que ces formations Miocènes marines, classées fréquemment sous le terme de « grès », ne comportent en réalité que quelques bancs de grès noyés dans une

importante épaisseur de marnes gréseuses. Ce qui fait que ces marnes gréseuses, paraissant très friables à l'affleurement, constituent en réalité une roche assez dure et probablement peu perméable. (Houha ; 2007).

I.1.3.3. Quaternaire

Le Quaternaire ne comporte que des formations continentales généralement épaisses par endroits, souvent en présence de croûtes calcaires.

CGG (1970), Laffitte (1939), Lessard (1951), Gasmi (1989) et Durozoy (1948) ont eu le mérite de présenter successivement de courtes synthèses dans lesquelles les principaux problèmes étaient abordés. (Houha ; 2007).

Mais la seule analyse stratigraphique, Tectonique et morphologique assez poussée publiée est celle de R. Laffitte (1939) qui est, malheureusement, limitée au voisinage de l'Aurès et ses confins.

Les formations quaternaires sont particulièrement bien développées dans les régions comprises entre les reliefs crétacés des monts des Aurès au sud et la dépression centrale du bassin de Rémila, établie principalement sur le Néogène (**figure 4 et figure 5**). (Houha ; 2007).

Les piémonts sont ici généralement modelés en glacis à couverture détritique peu épaisse, dont les plus visibles sont situés au sud d'El Hamma et Kais, à matériel grossier. Ces glacis sont constitués au voisinage immédiat des reliefs par des alternances de couches de cailloutis et blocailles et de colluvions avec un enrichissement en calcaires dans les horizons superficiels.

Lorsqu'on s'éloigne du piémont l'épaisseur des couvertures de glacis diminue rapidement. Les formations anciennes sont constituées par des alternances de conglomérats et de sables surmontés par des sédiments fins argilo sableux, rouge au sommet desquels apparaît une croûte calcaire blanche. (Houha ; 2007).

L'examen de quelques coupes de forges, montre que la sédimentation est en majeure partie argileuse et marneuse, avec une proportion importante de gypse et présente un maximum d'épaisseur au centre de la plaine et au voisinage du Chott.

Au Sud du bassin, dans la région de Kais à El Hamma, le Plion-Quaternaire est constitué d'alluvions récentes formé de graviers et galets roulés à éléments gréseux sur une

épaisseur de **3m 50cm**. En dessous on trouve des alluvions marneuses d'épaisseur inconnue d'une épaisseur de **7m 50cm**.

Les éboulis sont constitués par des blocs de grès toutes tailles. Un cône de déjection torrentiel qui occupe la partie Sud-est et est formé de cailloux gréseux et d'argile sableuse d'une épaisseur de 3 m.

I.1.4. Aperçu géomorphologique et structurel

I.1.4.1. Cadre géomorphologique

Le territoire de la région de Khenchela est situé dans une zone de transition entre le domaine atlasique, assez plissé au Nord et la plate forme saharienne au Sud.

Le contact entre ces deux domaines est très brutal ; est marqué par un grand accident tectonique, appelé « flexure Sud-atlasique ».

Dans la wilaya, on rencontre deux grands ensembles sédimentaires :

- Un ensemble souple affecté par des plis ayant généralement une direction Sud-ouest/Nord-Est ;
- Un ensemble rigide affecté par des failles. (Houha ; 2007).

I.1.4.1.1. Les reliefs

Le relief de la wilaya de Khenchela présente, d'une manière générale, trois compartiments distincts (**Figure 6**):

- Une zone de hautes plaines, au nord, qui se singularise par une altitude d'ensemble oscillant entre **825** et **900** mètres et une pente généralement faible (inférieure à **3%**). Ces hautes plaines, sorte de belvédère, constituent un prolongement Nord aux affleurements calcaires du site naturel du Hammam et occupée par la plaine de Rémila.
- Une zone de montagnes au centre de la wilaya, formée par le massif des Aurès E-Némenchas, dont le point culminant atteint **2169 m** sur le Djebel Chélia, ce qui fait de lui l'un des sommets les plus élevés de l'Atlas Algérien. Cette zone, dont l'altitude oscille entre **1000** et **2169** mètres, est entrecoupée par des vallées étroites, de direction générale nord-est et dans l'une desquelles se trouve engouffré Hammam El Salihine ceinturé par des reliefs de moyenne altitude.

- Une zone de plaines steppiques et présahariennes au sud, dont une partie se situe au dessous du niveau de la mer (Oglat El Djerabaa : moins **26 m**). De topographie relativement plane, elle appartient à la grande cuvette du bassin de chott Melghir où se situe le grand Erg oriental. (CENEAP ; PAW 2009)

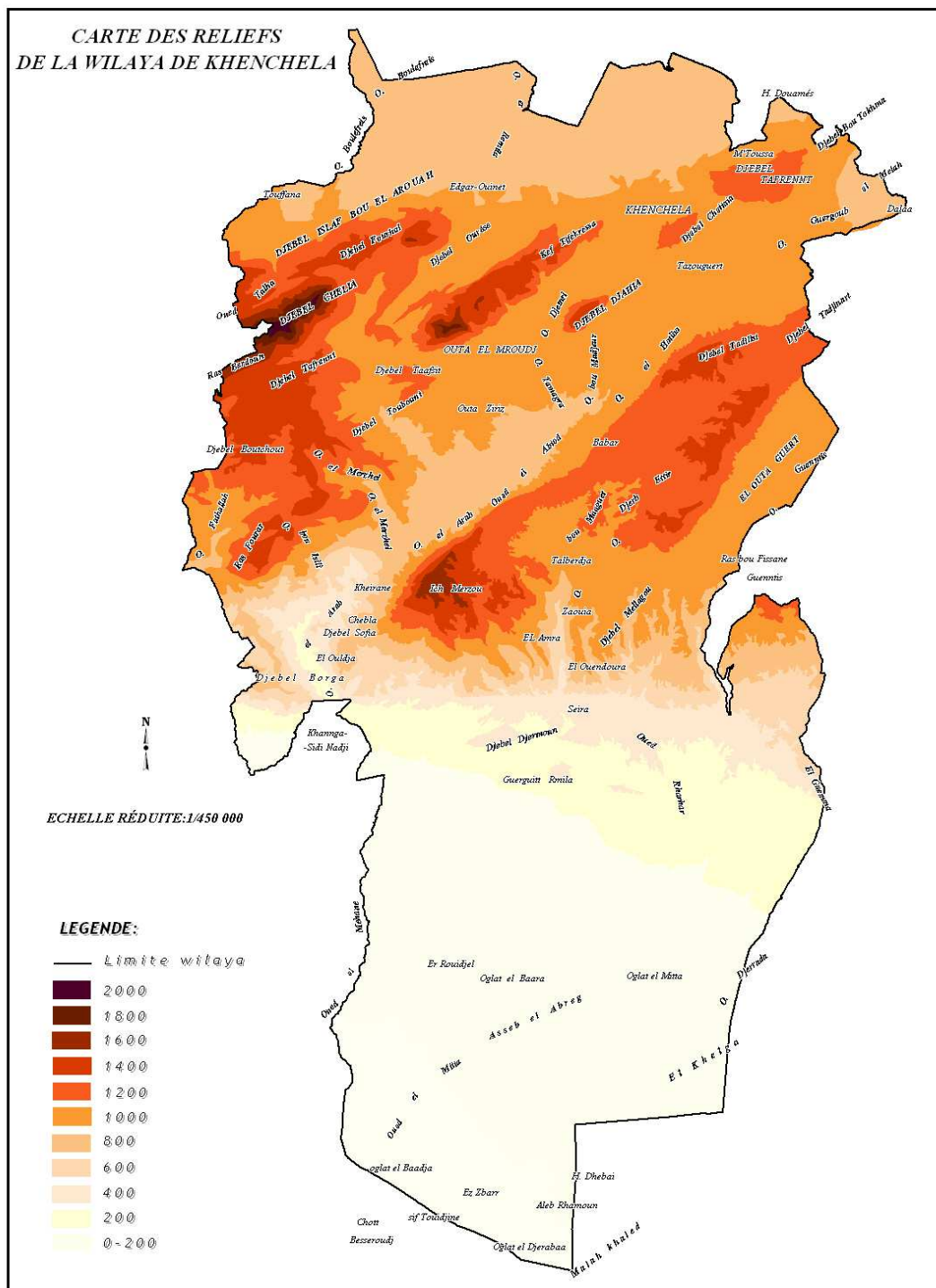


Figure 6 : Carte des reliefs de la wilaya de Khenchela (Source PAW ; 2009)

I.1.4.1.2. Les pentes

Comme pour les classes d'altitude, une carte des classes de pente caractérisant le territoire de la wilaya a été dressée, sur la base de la grille retenue par le MATET (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme) pour le classement des zones de montagnes. Cette grille, qui tient compte de l'utilisation souhaitable des terres, préconise 04 classes (**Figure 7**):

- Classe 1 : pente comprise entre 0 et 3,5% : Relativement favorable à l'intensification agricole (mécanisation et irrigation) et à la réalisation d'infrastructures techniques.
- Classe 2 : pente comprise entre 3 et 12,5% : elle est favorable au développement d'une agriculture intensive à semi intensive.
- Classe 3 : pente comprise entre 12,5 et 25% : Favorable à l'arboriculture fruitière et autres cultures pérennes fixatrices du sol au détriment des cultures annuelles et notamment les grandes cultures.
- Classe 4 : pente supérieure à 25% : constituant de ce fait une contrainte majeure pour la pratique des activités agricoles et un handicap pour la réalisation des infrastructures socioéconomiques. A ce titre, l'occupation du sol au niveau de cette classe doit privilégier la sylviculture. (CENEAP ; PAW 2009)

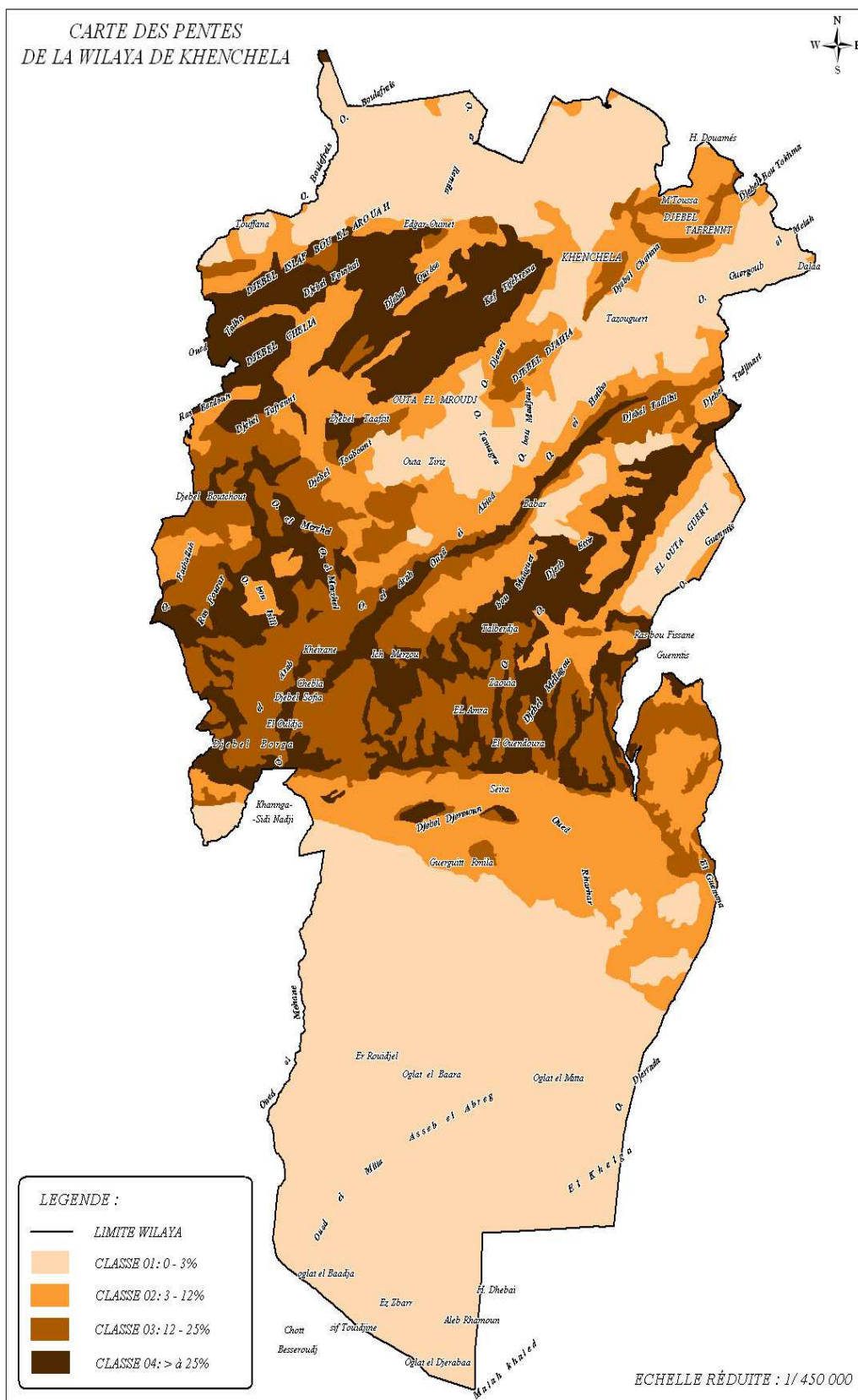


Figure 7 : carte des pentes de la wilaya de khenchela (Source PAW ; 2009)

I.1.4.2. Cadre structurel

La région de Khenchela se caractérise par un anticlinal naissant sous forme de replis à **70 Km** à l'ouest de Khenchela, dans des terrains nummulitiques du synclinal des Rassira, mais il est à peine sensible, il se continue vers le Nord-Ouest au milieu des terrains de crétacé supérieur en s'accroissant légèrement. (Houha ; 2007).

A partir du djebel Tanout à **45 Km** à l'ouest de Khenchela, l'anticlinal subit un abaissement d'axe et un faible décrochement correspondant à l'accident du djebel Chélia. Plus loin, à partir d'Ain Giuguel, un relèvement d'axe rapide fait apparaître le crétacé inférieur, où le synclinal du djebel Aidel fait apparaître la base du barrémien ou le sommet de l'intervien. (Houha ; 2007).

Sur le plan sud du djebel Aidel, au sein des quartzites particulièrement durs du barrémien, on voit un repli synclinal très aigu, contrastant avec l'allure tranquille de l'ensemble de l'anticlinal, ce repli est particulièrement visible lorsque, de Chentagoum au sud-ouest de Khenchela (**2119 m**), on regarde le versant sud-est du djebel Aidel. Ce dispositif semble un cas particulier. (Houha ; 2007).

Vers le nord-ouest, l'anticlinal subit un abaissement d'axe et les terrains crétacés inférieurs disparaissent aux environs de Khenchela.

Dans cette région, l'anticlinal est accidenté de failles qui précipitent la disparition du crétacé inférieur sur son plan nord.

La présence de ces failles est marquée par la présence de thermes (Aqua-Flavianus), situés à **7 Km** à l'ouest de Khenchela, dont l'eau riche en chlorure de sodium et sulfate de calcium, sort à la source à une température de **70 °C**. L'origine de cette eau doit être recherchée dans le trait qui forme en effet, le pointement de cet accident à **4 Km** vers le nord-est. (Houha ; 2007).

I.2. Végétation, activité humaine et réseau hydrographique

I.2.1. Végétation et activité humaine

Les zones forestières occupent les reliefs montagneux des communes de la zone. La commune d'El Hamma est dotée d'une zone forestière assez dense dans laquelle se trouve la forêt de Tarbat, qui est considérée comme l'une des plus grandes forêts de la zone, ainsi que

la forêt de Ras Serdoune située à l'Est et qui s'étend dans la commune de Khenchela, limitant ainsi la ville à l'Ouest.

On trouve au niveau des montagnes entourant la station thermale, culmination de **1200 à 1900** mètres pour Kaf Amalal (mont blanc), une association végétale liée au Cèdres : les Chênes-verts, les houx, les Genévriers, les Chèvrefeuilles, les Lauriers-tins, les Garons,... etc.

Les Cistes et les Cytises se massent autour des arbousiers, Myrtes, Genévriers romains et lentisques. il existe toutefois plusieurs types de maquis selon les types des sols, l'altitude et même la dominance d'une plante particulière, par exemple les cistes.

Dans les zones ou les maquis, elle est encore soumise aux activités de l'homme qui l'exploite, surtout pour le bois (souvent convertible en charbon de bois) comme le cas des familles des charbonniers Hoggas, Ouled Yaagoub, mais aussi pour les colorants, le mastic ou d'autres produits qu'ils extraient des plantes.

La population est concentrée au niveau des communes et des mechtas. L'agriculture, le pâturage et l'exploitation forestière sont les activités traditionnelles de la région.

L'industrie est quasi absente, on en trouve celle du bios, des minoteries, et des unités de collecte et transformation de lait.

Le tourisme est peu développé et il est lié à la présence de stations thermales (Hammam El Salihine, Hammam El Kenif).

I.2.2. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la zone est de type endoréique, il est assez dense sur la quasi totalité du territoire (**Figure 8**)

L'aire urbaine de Khenchela est traversée du Nord-est au Sud-est par l'oued Baghai. La commune d'El Hamma est drainée du Nord au Sud par l'oued El Hammam.

La commune de Baghai est traversée par plusieurs oueds parmi lesquels nous citons oued Aimer au Nord-est et oued Baghai au Nord-ouest. La commune d'Ensigna est drainée par plusieurs oueds, dont les plus importants sont oued Aimer au Nord-est, oued Mahdi et oued Djemri au centre et oued Bou Madjeur au Sud. Enfin, Oued Zoni au Nord-est, oued Oullal et oued Fournis au Sud traversent la commune d'El Mahmel.

Les ressources en eau de l'aire d'étude proviennent, essentiellement, des eaux souterraines, à l'exception de la commune de Baghai qui dispose aussi d'un potentiel en eaux superficielles destiné à l'irrigation,

Les eaux de hammam El Salhine sont drainées par oued El kissen, d'une longueur de 6 km, et qui prend naissance sur les hauteurs de dj ; Aourès et longe les hautes plaines de Rémila pour se terminer dans Chott Ezzahar.

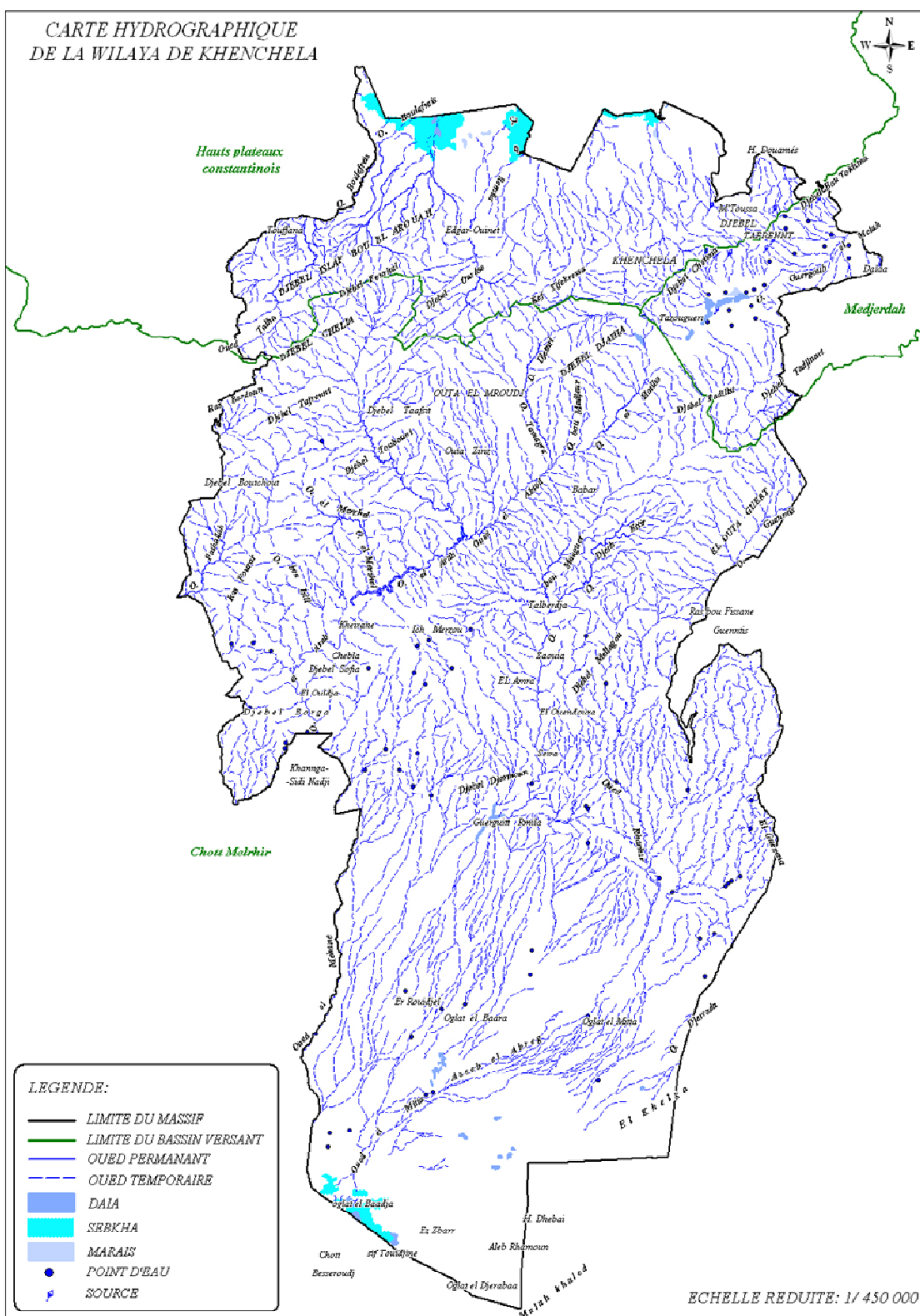


Figure 8: Carte hydrologique de la wilaya de Khenchela (Source PAW ; 2009)

Chapitre II
Cadre Hydro-climatique

Chapitre II

Cadre Hydro-climatique

Introduction

La climatologie s'intéresse à l'analyse quantitative à plus long terme de la moyenne des paramètres requis pour caractériser les états de l'atmosphère, principalement la température de l'air, la lame d'eau précipitée, la durée d'insolation, la direction et la vitesse du vent. Le climat représente donc le « temps moyen » en un lieu donné (Emselem, 1989).

Le cycle souterrain de l'eau et le climat sont étroitement liés. L'évolution du climat a une influence déterminante sur la variation de l'ensemble des réserves et les fluctuations des nappes d'eau souterraines qui s'alimentent par infiltration directe et se décharge par évaporation au cours de la saison en pays aride et semi-aride. Le climat intervient par sa composition hydrique (pluviométrie), qui régit fortement le régime des eaux souterraines et superficielles.

Le climat algérien est un climat de transition. Il varie du type méditerranéen dans le nord au type désertique dans le Sahara. Du fait de son appartenance géographique et bioclimatologique à la zone aride et semi-aride.

L'Algérie du Nord est soumise à des conditions hydro climatiques défavorables, caractérisées par des précipitations irrégulières avec des variations interannuelles importantes et une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements.

De point de vue climatique, la wilaya de Khenchela se caractérise par un climat continental, **semi-aride** ; à hiver froid et été chaud et sec. Les caractéristiques climatiques de la zone d'étude sont celles de la station météorologique de Khenchela.

II.1. Les données climatiques

Les données de température et de précipitation correspondent à des hauteurs mensuelles des pluies et de température qui ont été recueillies à la station de **l'office national de météorologie (OMN) de Khenchela** situées à **890 m** d'altitude suivant une période de mesures de **1994 à 2011**.

II.1.1. La pluviométrie

La pluviosité est définie selon Djebaili en 1984, comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat.

Elle conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosions d'une part, elle a un rôle social et économique d'autre part.

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat.

La chute des pluies dans la région et, en général, en Algérie est déterminée par la situation géographique, par la topographie et notamment la direction des axes montagneux par rapport à la mer et l'altitude.

Cela conduit à une irrégularité des précipitations à travers toute la région : augmentation des pluies en altitudes, diminution de leur taux du Nord vers le Sud (Halimi, 1981)

Le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains. Plus la pluviométrie est forte, plus la dilution des sels restants passant en solution est grande.

Les régimes des précipitations mensuelles sont à l'origine de l'écoulement saisonnier, des régimes de cours d'eau, de l'adaptation de la végétation et de l'agriculture (Djebaili, 1978), les hauteurs des précipitations mensuelles calculées pour le site étudié sont portées dans le Tableau 2.

Les précipitations annuelles n'ont qu'une valeur indicatrice, le plus important c'est leur répartition mensuelle et saisonnière.

Tableau 1: Précipitation moyenne mensuelle de la station de Khenchela (1994-2011) en mm

(Source : station météorologique de Khenchela).

P. (mm)	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
(1994-2011)	47,88	28,6	38,63	50,09	62,61	31,49	16,32	36,63	55,14	41,69	38,39	40,48	487,96

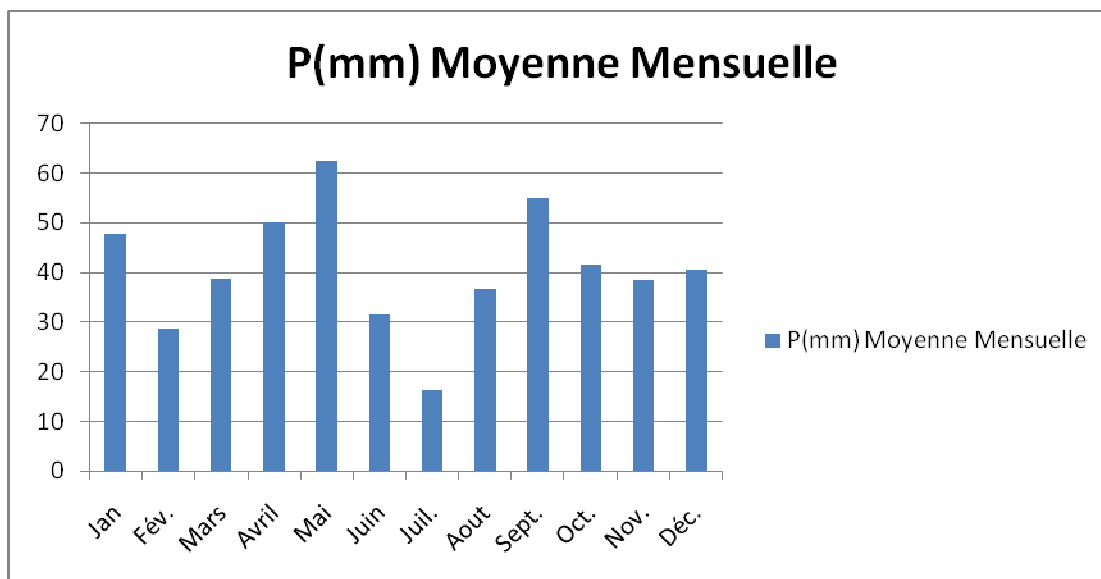


Figure 9: Précipitation moyenne mensuelle pour une période de 18ans (1994-2011).

Le mois de Mai est le plus arrosé avec une moyenne de **62.61mm**. Juillet étant le mois le plus sec avec une moyenne de **16.32mm**.

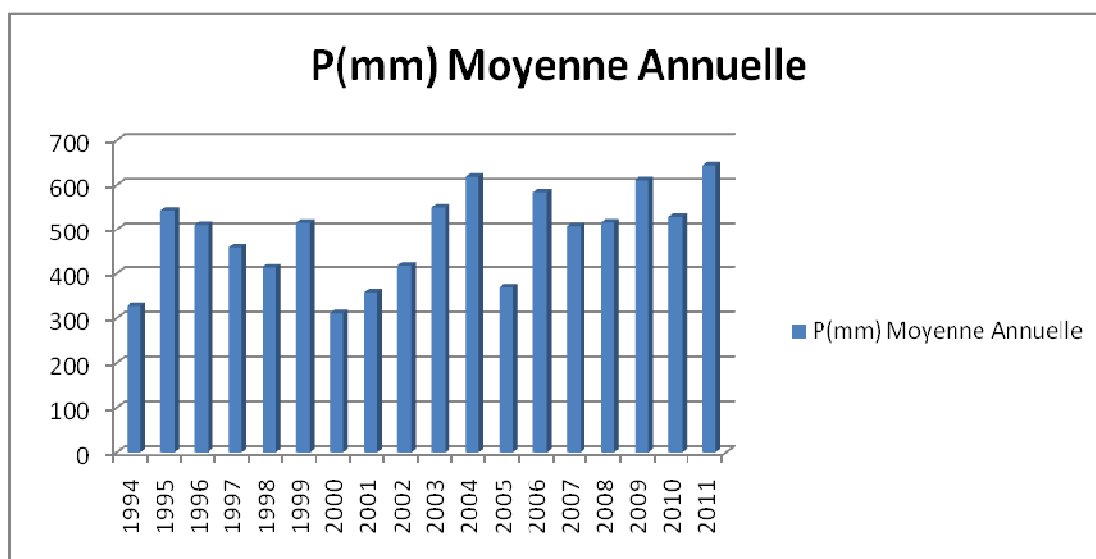


Figure 10 : Précipitation moyenne annuelle pour une période de 18ans (1994-2011).

L'année la plus pluvieuse étant **2011**, avec une moyenne annuelle de **53.69mm**. L'année **2000** étant la plus sèche avec une moyenne annuelle de **25.91mm**.

II.1.2. La température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car, elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (Ramade, 2002).

Pour la caractérisation de ce paramètre il faut connaître plusieurs variables: la moyenne des maxima (M), la moyenne des minima (m) la moyenne mensuelle $(M+m)/2$ et l'amplitude thermique $(M-m)$.

Les données de la température durant la période (1994-2011) sont représentées sur le tableau avec des courbes de variation de la moyenne mensuelle et annuelle de température.

Tableau 2: température moyenne mensuelle à la station de kenchela (1994-2011) en (°C).

(Source : station météorologique de Khenchela).

T (°C)	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
(1994-2011)	6,8	7,52	10,38	13,3	18,3	23,2	26,74	26,2	21,3	16,53	11,15	7,64

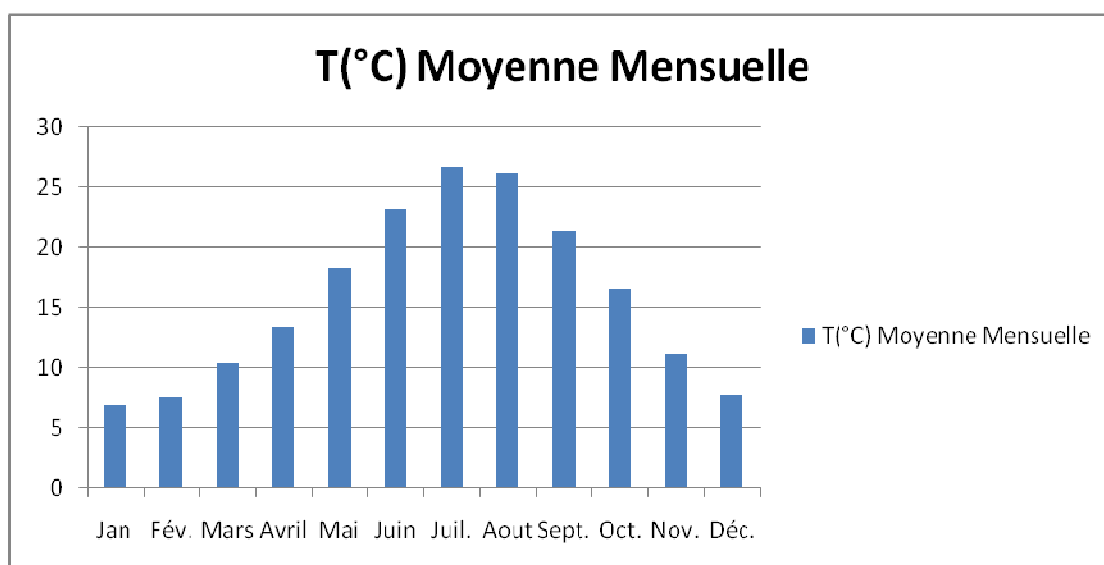


Figure 11: Température moyenne mensuelle pour une période de 18ans (1994-2011).

La courbe des variations des températures moyennes mensuelles (Fig.11) montre que le mois de Janvier est le mois le plus froid avec **6.8 °C** et le mois de Juillet est le plus chaud avec **26.74 °C**.

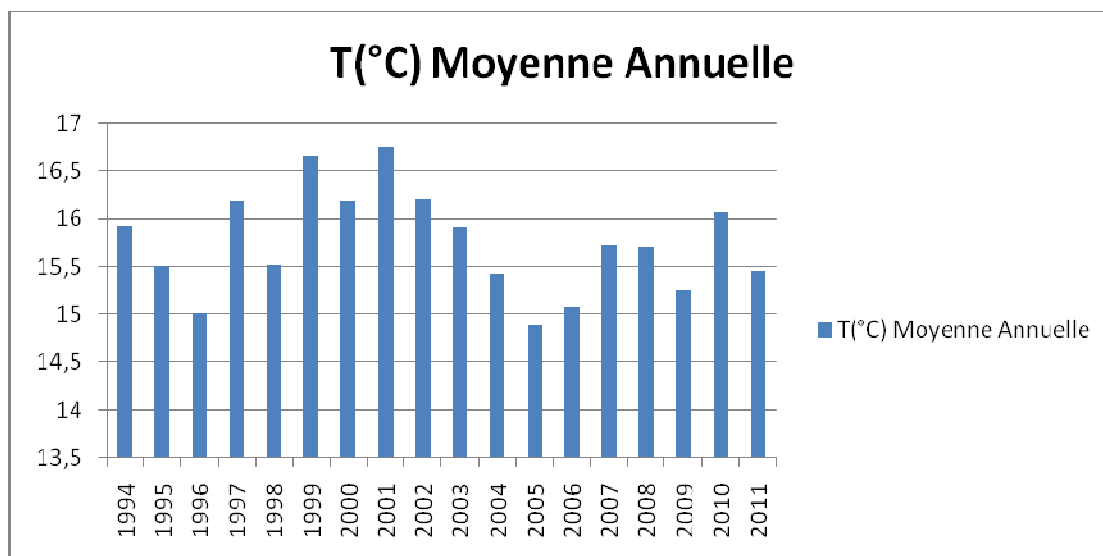


Figure 12 : Température moyenne annuelle pour une période de 18 ans (1994-2011).

L'année la plus Froide étant **2005**, avec une moyenne annuelle de **14,9°C**, et l'année **2001** étant la plus chaude avec une moyenne annuelle de **16,76°C**.

II.1.3. Le régime pluviométrique saisonnier

Tableau 3 : Le régime pluviométrique saisonnier pour une période de 18 ans (1994-2011).

station	/	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Total	Type
El-HAMMA	P (mm)	135,22	116,96	151,33	84,44	482,1	PAHE
	%	27,71	23,97	31,01	17,31	100,00	PAHE

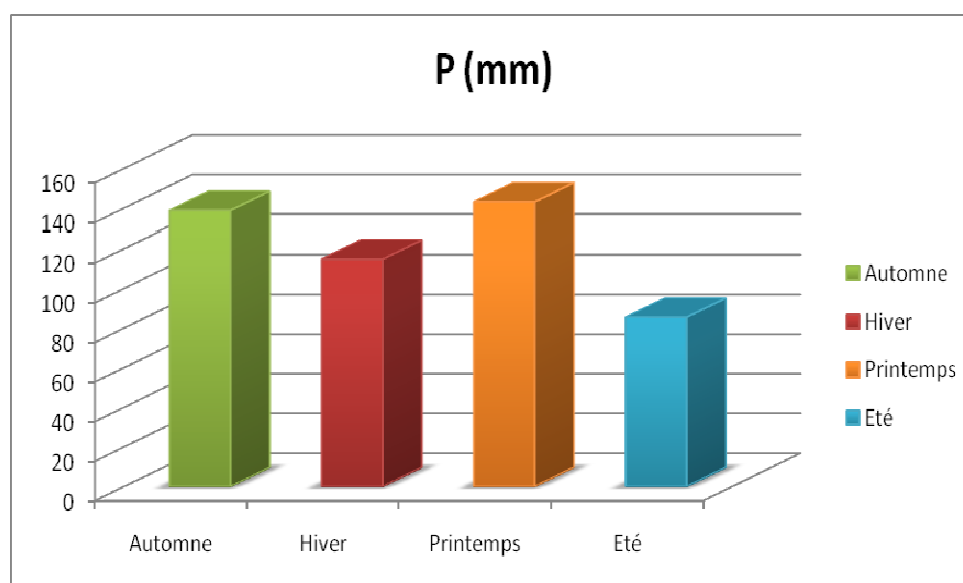


Figure 13 : le régime pluviométrique saisonnier pour une période de 18 ans (1994-2011)

Les régimes saisonniers, schématisés par la figure 13 ont de type P.A.H.E. Ce régime saisonnier des précipitations correspond à notre zone d'étude, le total des pluies d'automne est 27,71%, de l'hiver est 23,97%, et celui de printemps 31,01%, et de l'été est 17,31%.

II.2. Caractérisation du climat

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques: la température et les précipitations permettent de déterminer les périodes sèches et humides ainsi que la localisation de l'étage bioclimatique bien définie d'une région donnée à l'aide du Diagramme pluvio-thermique et du coefficient pluviométrique d'EMBERGER. (Ladlani I. 2007).

Pour cette étude on a établi un diagramme pluvio-thermique dans lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations,

La caractérisation du climat d'une zone donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes permet de comparer les climats d'une région à l'autre. Ils prennent généralement en compte l'offre pluviométrique, la demande évaporative et les températures. Ceux qui sont les plus couramment utilisés sont les suivants :

II.2.1. Diagramme Pluvio-thermique

Le Diagramme Pluvio-thermique de BAGNOULS et GAUSSEN met en évidence la notion des saisons humides et sèches, comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T^\circ$). Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs.

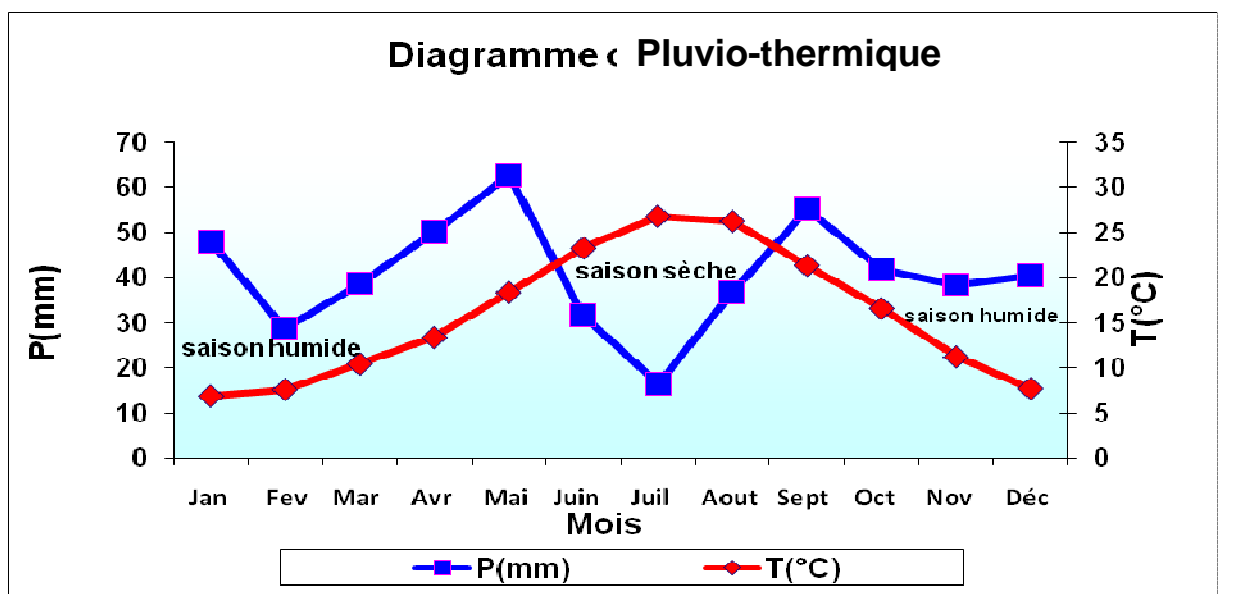


Figure 14 : Diagramme Pluvio-thermique.

On constate que la région de kenchela présente une période humide débutant au mois de septembre et qui se termine au mois de mai et une période sèche qui s'étend de début de mois de juin au début de mois de septembre.

II.2.2. Indice de Martonne

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (I_a). Cet indice est fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude

Cet indice est calculé par la relation suivante :
$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Où :

I : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Application : **P** = 487,96mm ; **T** = 15,77°C

⇒ **I** = 18,95

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

I < **5** : climat hyperaride ;

5 < **I** < **7,5** : climat désertique ;

7,5 < **I** < **10** : climat steppique ;

10 < **I** < **20** : climat semi-aride ;

20 < **I** < **30** : climat tempéré ;

30 < **I** < **55** : climat humide.

I = 18,95 ce qui implique que la zone d'étude bénéficie d'un climat semi-aride.

II.2.3. Indice d'aridité mensuel

L'indice d'aridité mensuel est défini par la relation suivante :

$$I = \frac{12.P}{T^{\circ} + 10}$$

Où :

I : Indice d'aridité mensuel

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm

T° : Température moyenne mensuelle en °C.

Tableau 4: Indices d'aridité mensuels (I)

(Source : station météorologique de Khenchela).

Mois	Indice	Etage bioclimatique
Septembre	21.12	climat tempéré
Octobre	18.88	climat semi-aride
Novembre	21.78	climat tempéré
Décembre	27.55	climat tempéré
Janvier	34.2	Climat humide
Février	19.60	climat semi-aride
Mars	22.71	climat tempéré
Avril	25.76	climat tempéré
Mai	26.54	climat tempéré
Juin	11.39	climat semi-aride
Juillet	5.33	climat désertique
Aout	12.13	climat semi-aride

II.2.4. Etablissement du bilan hydrique

Le bilan hydrique est établi pour un bassin versant sur une période donnée par comparaison entre les apports et les pertes en eaux dans ce bassin et pour cette période.

Il tient aussi compte de la composition des réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations.

Les pertes sont essentiellement dues à la composition de l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme « évapotranspiration ».

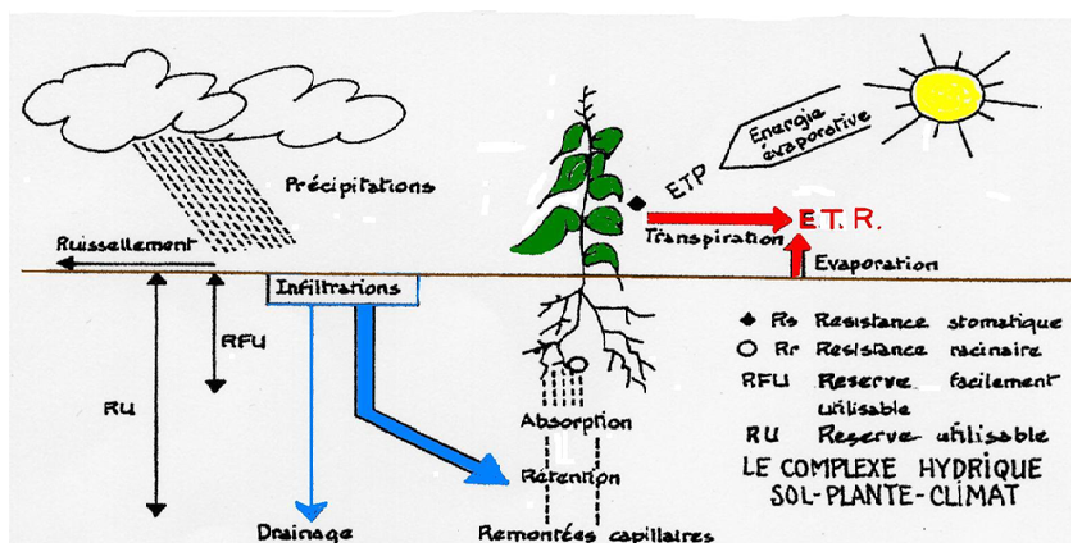


Figure 15: Le complexe hydrique (sol-plante-climat)

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur.

L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique. La précision avec laquelle elle est estimée est essentielle pour le calcul du bilan d'eau, du calcul de l'irrigation, de la gestion des ressources hydriques et également pour le dimensionnement des ouvrages d'aménagement.

L'estimation de ce paramètre a été faite à l'aide de la formule de G.W.Thornthwaite.

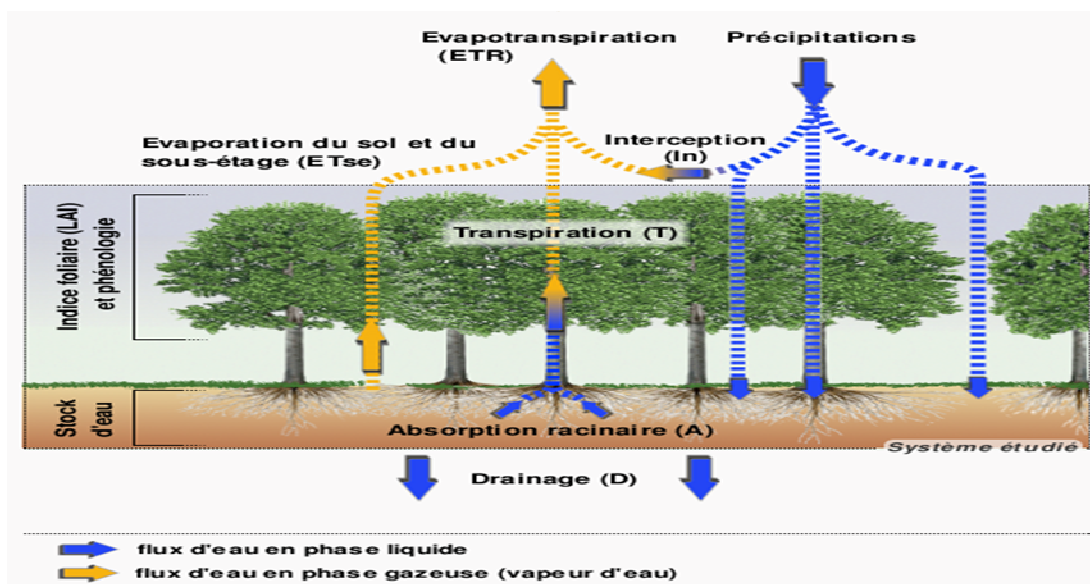


Figure 16 : processus de l'évapotranspiration

II.2.4.1. Evapotranspiration potentielle

Le terme « évapotranspiration » désigne la quantité de vapeur d'eau rejetée dans l'atmosphère tant par évaporation directe au niveau du sol lui-même que par transpiration des organes aériens des plantes (Gaume, 2002).

Lorsqu'un couvert végétal étendu et couvrant bien le sol est abondamment pourvu en eau, c'est-à-dire lorsque les végétaux qui le composent peuvent puiser sans restriction dans l'environnement aérien, l'évapotranspiration croît et tend vers une limite maximale que l'on peut considérer comme l'un des aspects de l'évapotranspiration potentielle (ETP) ». (Bouchet et Gerbier, 1975, in Musy, 2001).

L'ETP est étroitement liée :

- à la quantité d'énergie apportée à la surface évaporante;
- à l'évacuation de la vapeur d'eau de la surface évaporante;
- à la végétation: couverture du sol, profondeur des racines...;
- au sol: la rétention d'eau (PF), la profondeur, le drainage, l'écoulement et enfin l'ascension capillaire (surtout les propriétés physiques du sol).

Pilgrim et al.1988 rapportent que l'évapotranspiration recycle **80%** des précipitations dans les milieux semi-arides et **95%** en régions arides, elle joue donc un rôle majeur et ne peut pas être négligée sous ce type de climat.

On calcule l'évapotranspiration à l'aide de formules empiriques comme celle de Thornthwaite, de Penman ou de Turc. On distingue l'évapotranspiration potentielle (**ETP**) qui est le pouvoir évaporant de l'atmosphère sur un sol avec couvert végétal disposant de l'eau en abondance. L'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la perte en eau d'un sol quand l'eau vient à manquer: l'ETR est fonction de l'ETP et de la quantité d'eau présente dans le sol.

II.2.4.2. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle, on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques. Cependant le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et du type de climat de la région. La formule empirique qu'on utilise est : THORNTHWAIT.

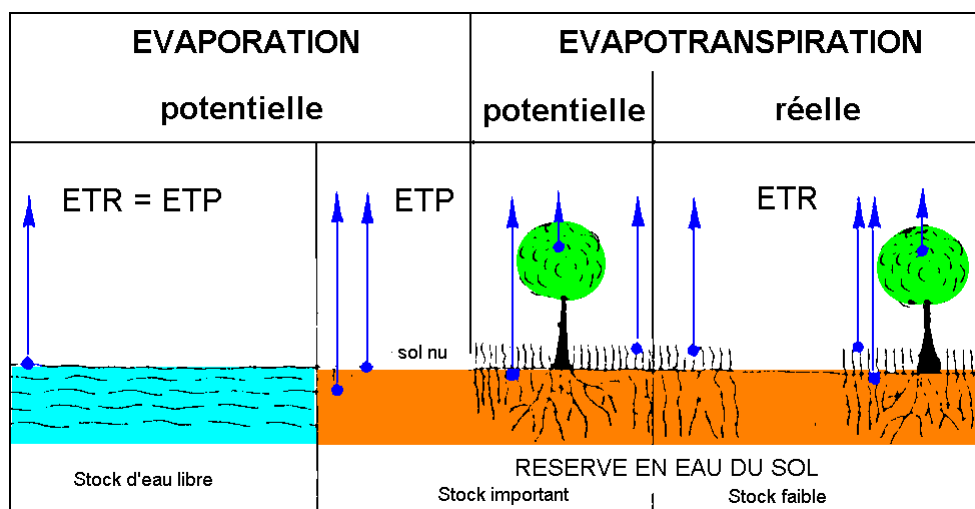


Figure 17 : Evaporation et Evapotranspiration potentielle et réelle

➤ **La formule de THORNTHWAIT**

Cette formule a été établie en 1948 et tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

La formule de l'ETP est la suivante:

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a * K, \text{ (en mm).}$$

Où:

ETP: Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

T: température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

a: Coefficient calculé par la formule suivante:

$$a = 1,6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0,5$$

Application : **a=1.65**

I : Indice thermique annuel qui est égal à la somme des douze valeurs de l'indice thermique mensuel. Cet indice est calculé par la formule suivante:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,5}$$

K : Coefficient de correction, qui dépend de la latitude.

Les résultats de calcul de l'ETP par cette méthode sont présentés dans le tableau

$$I = \sum_1^{12} i$$

Les valeurs de l'ETP ne sont pas corrigées, donc il faut faire le coefficient de correction « **K** » qui dépend de la altitude, prend en considération la durée d'insolation thermique tirée d'un abaque, notre station se trouve à une altitude de **1063** m.

ETP corrigé=ETP. K

Les résultats obtenus sont: **I = 72,08** et **a = 1,65**

Tableau 5: Coefficient de correction K dépend du site considéré (climat semi aride)

Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84

II.2.4.3. Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle c'est la quantité d'eau réellement évaporée. Elle représente la quantité de vapeur d'eau relativement dégagée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux.

Des méthodes peuvent être proposées :

- La méthode de Turc.
- La méthode de Thornthwaite.

On a choisi la méthode de TURC afin de déterminer l'évapotranspiration réelle (ETR)

➤ Formule de TURC

C'est la méthode la plus répandue, elle tient compte des précipitations et des températures moyennes annuelles.

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

ETR : évapotranspiration réelles (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : $300 + 25T + 0.05T^3$ où

T est la température moyenne annuelle en C°.

***Application numérique : L= 889.10, ETR= 447.67mm.**

II.2.4.4. Le bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

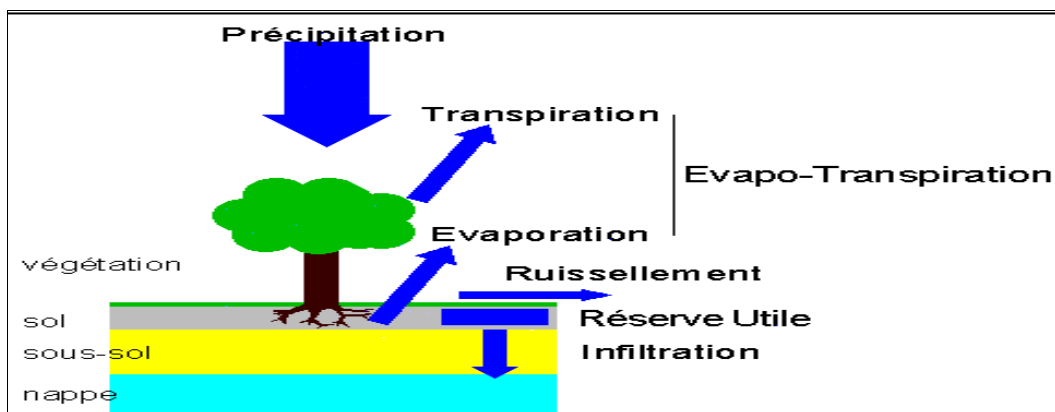


Figure 18: Utilisation de l'eau du sol par les végétaux lors du cycle de l'eau.

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Il tient aussi compte de la constitution de réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations.

Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration.

Les deux grandeurs sont évaluées en quantité d'eau par unité de surface, mais elles sont généralement traduites en hauteurs d'eau, l'unité la plus utilisées étant le millimètre. Ces deux grandeurs étant ainsi physiquement homogènes, on peut les comparer en calculant soit leur différence (Précipitations moins évaporation), soit leur rapport (Précipitations sur évaporation).

Le bilan est évidemment positif lorsque la différence est positive ou que le rapport est supérieur à un. On choisit l'un ou l'autre expression en fonction de commodités ou de diverses. L'écoulement à partir d'une unité de surface sera compté dans les pertes.

L'infiltration est considérée comme une mise en réserve sous forme de nappes souterraines ou d'eau capillaire dans le sol. Les précipitations solides constituent des réserves immédiatement constituées.

Elles ont une durée variable, inter-saisonnière dans le cas des tapis neigeux, inter-saisonnière et interannuelle dans le cas des glaciers, voire inter-séculaire dans le cas de calottes polaires ou des grandes masses de très hautes

La détermination de l'ETR en fonction de L'ETP et de la quantité d'eau disponible (pluie+RFU)

ETR peut être évalué par l'établissement du bilan comme par l'application de certaines formules empiriques .ce paramètre peut être calculé d'après G.Thornthwaite en utilisant les conditions suivantes :

1- Si : $P > ETP \rightarrow ETR = ETP \rightarrow RFU = P - ETP$.

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

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

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

Tableau 6: Bilan hydrologique moyen (1994-2011) de la station de Khenchela, par la méthode de Thornthwaite

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	55.1	41.7	38.39	40.5	47.88	28.6	38.6	50.09	62.6	31.49	16.3	36.6	487.96
T (°C)	21.3	16.5	11.15	7.64	6.8	7.52	10.4	13.33	18.3	23.17	26.7	26.2	
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETP (mm)	98.49	60.86	28.26	14.79	12.64	14.59	30.18	48.10	90.06	132.93	170.76	156.09	857.75
P-ETP	-43.39	-19.16	10.13	25.71	35.24	14.01	8.42	1.99	-27.46	-101.44	-154.46	-119.49	
RFU (mm)	00.00	00.00	10.13	35.84	71.08	85.09	93.51	95.50	68.04	00.00	00.00	00.00	
ETR (mm)	55.1	41.7	28.26	14.79	12.64	14.59	30.18	48.10	90.06	99.53	16.3	36.6	487.19
EX (mm)	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	
DA (mm)	43.39	19.16	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	33.4	154.46	119.49	369,9

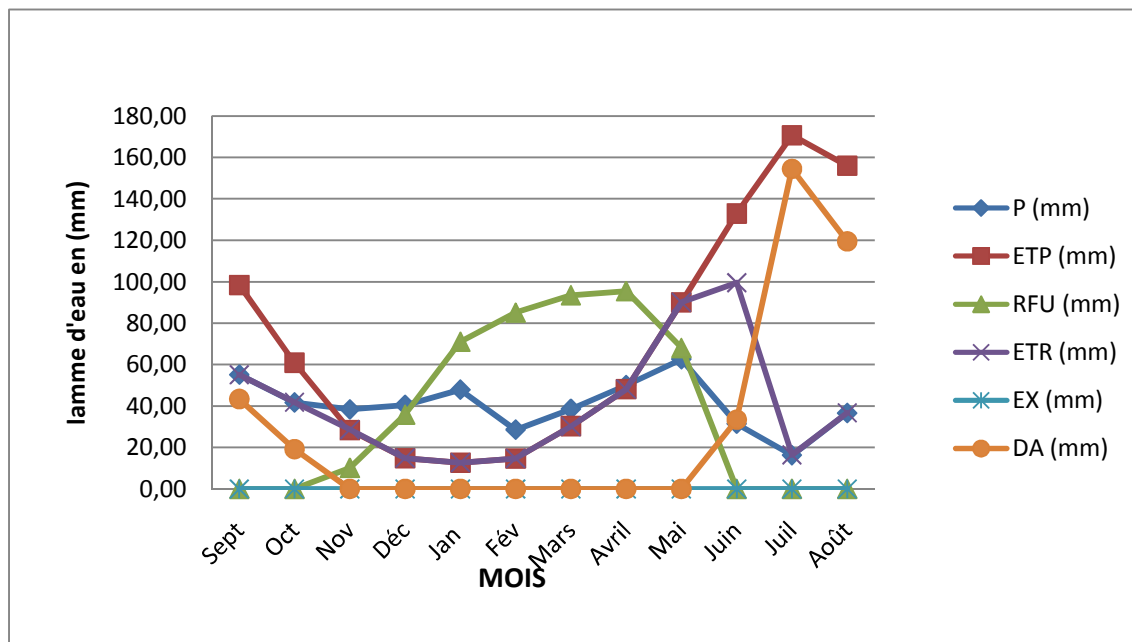


Figure 19 : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

➤ Interprétation du bilan hydrologique moyen

D'après le graphe du bilan hydrologique on constate qu'il existe deux périodes :

- **La première** est déficitaire où l'ETP est importante à partir de mois de Mai jusqu'au mois d'octobre, avec des valeurs atteignant les 170.76 mm au mois de juillet, dans cette période les sols sont secs et leur niveau de la réserve hydrique est nul, rendant la nécessité de l'irrigation.
- **La deuxième** période est humide qui commence à partir du mois de septembre où les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de Janvier et Avril. Toute la pluie non retenue par la couche superficielle du sol, s'infiltre et rejoint la zone saturée. Au-delà de cette période, la réserve commence à diminuer jusqu'à l'épuisement du stock.

Le bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants de ce bilan, à savoir : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

Le bilan est établi selon la formule suivante : $P = ETR + R + I$

Où : **P** : La précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : L'évapotranspiration réelle en (mm).

R : Le ruissellement en (mm).

I : L'infiltration en (mm).

II.2.4.5. Ruissellement superficiel et l'infiltration:

Il est estimé à partir de la formule de **Tixeront-Berkaloff** qui est la suivante :

$$R = P^3 / 3(ETPc)^2$$

L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol, il est exprimé par la formule suivante :

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

Tableau 7: Répartition de précipitation en (mm, %) à la station de Khenchela

Précipitation (P)		Evapotranspiration réelle (ETR)		Ruissellement (R)		Infiltration (I)	
(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
487,96	100,00	488,19	100,00	52,64	10,79	-52,87	-10,83

Conclusion

La zone d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de cinq mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de **18 ans** (1994 – 2011), sont estimées à **487,96 mm**, leurs répartitions mensuelles montrent deux grandes saisons bien distinctes, la première est humide, qui s'étend du mois de Septembre à Mai. La deuxième est sèche, qui s'étale sur les mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre.

L'évapotranspiration réelle est estimée à **487.19 mm** mobilisant **100%** des précipitations de la région de montagne.

Les températures moyennes mensuelles varient entre **7°C** et **26°C**, avec une moyenne annuelle de **15.77°C**. Le mois de juillet étant le plus chaud avec **26.7°C**, et le mois de Janvier est le plus froid avec **6.8°C**.

Le ruissellement ne représente que **10,79%** des précipitations, ce qui représente **52,64 mm**.

L'infiltration est estimée à **-10,83%**. Ce qui permet de percoler **-52,87mm** dans la région de montagne.

Le déficit agricole estimé est de **369,9 mm** étalé sur la période allant de Juin jusqu'à Octobre. Notons que le bilan hydrologique est déficitaire.

Chapitre III
Matériels et Méthodes

Chapitre III

Matériels et Méthodes

Introduction

Afin d'établir des études et des analyses physico-chimiques des eaux, une étape est primordiale pour atteindre l'objectif principal de toute étude hydro-chimique. Cette étape se base sur la méthodologie de l'échantillonnage et du prélèvement ainsi que le matériel affecté.

Globalement, il est donc nécessaire de mettre en place une organisation structurée, de disposer d'un personnel qualifié, de développer une méthodologie adaptée à chaque cas, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvement et d'utiliser le matériel convenable. De toute façon, les résultats de l'analyse ne seront exploitables que si le prélèvement a un caractère représentatif ; pour cela, se reporter au chapitre concernant les étapes de l'échantillonnage et préparation du matériel en hydrologie.

III.1. Echantillonnage et prélèvements

Il est bien évident qu'un prélèvement correct est indispensable à l'obtention de résultats analytiques significatifs, il est tout aussi important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'arrivée au laboratoire.

III.1.1. Les étapes de l'échantillonnage

III.1.1.1. Préparation du matériel

Les échantillons d'eau destinées aux analyses physico-chimiques sont prélevées dans des flacons en polyéthylène (plastic) stériles et bien rincées avec l'eau à échantillonnée.

Comme règle générale, le matériel de terrain consiste en une série de bouteilles d'échantillonnage, une glacière, un échantillonneur (lorsque l'accessibilité au site et/ou la profondeur du cours d'eau l'exige) et des instruments de mesure, tels qu'un multi paramètre, thermomètre et un PH-mètre.

Le volume des flacons à utiliser ainsi que le volume d'eau à prélever dépendent des paramètres qui doivent être analysés.

III.1.1.2. Calibrage des appareils

Lorsque des instruments de mesure sont utilisés sur le terrain, leur calibrage est une étape essentielle à l'obtention de données exactes et précises. Les appareils les plus communément utilisés sont Le multi paramètre, le thermomètre et le PH-mètre.

Dans le cas d'un thermomètre digital un calibrage doit être effectué à quelques reprises au cours de l'année, mais cet exercice n'est pas nécessaire avant chaque campagne d'échantillonnage. Par contre, le pH-mètre doit être calibré avant chaque sortie sur le terrain.

III.1.1.3. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). Étant donné que dans la plupart des cas le responsable du prélèvement n'est pas l'analyste, il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques. (J.Rodier ; 2009)

Globalement, il est donc nécessaire de mettre en place une organisation structurée, de disposer d'un personnel qualifié, de développer une méthodologie adaptée à chaque cas, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvement et d'utiliser le matériel convenable (J.Rodier ; 2009)

III.1.1.4. Conservation des échantillons

Le prélèvement subira obligatoirement un certain temps de transport et une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique. Ces temps devront être réduits au minimum.

Pendant cette période, des phénomènes chimiques et bactériologiques peuvent conduire à des précipitations secondaires par changement de valence, des adsorptions sur les parois des récipients, des photo-décompositions, des volatilisations, des biodégradations, d'où la nécessité d'employer des adjuvants de conservation et de réunir des conditions de température et d'obscurité favorables. (J.Rodier ; 2009).

Le processus de conservation permet de préserver l'intégrité des échantillons prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse en laboratoire. Cette étape est nécessaire puisque plusieurs paramètres peuvent subir des modifications physiques ou des réactions chimiques dans le récipient, ce qui altère la qualité originale de l'échantillon. Afin d'obtenir des analyses fiables.

Tous les échantillons doivent être conservés dans un environnement avoisinant 4°C (il faut utiliser des glacières et des agents réfrigérants ou de la glace). (CEAE ; Québec).

III.2. Mesures in situ : Paramètres physiques

Pour aboutir aux résultats souhaités, nous avons tout d'abord effectué une visite de reconnaissance des points d'eau des sources concernées dans la zone concernée, ensuite nous avons effectué une campagne d'échantillonnage.

Cinq éléments ont été mesurés : la température (°C) de l'eau, le pH, la conductivité électrique, le total des solides dissous (TDS) et la salinité.

On a utilisé un multi-paramètre pour réaliser ces mesures, ce multi-paramètre est de type « CONSORT C535 »

III.2.1. Mesure de la température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc.

Elle se fait au moyen d'un multi-paramètre, un appareil de mesure fournissant des valeurs de température en °C.

III.2.2. Mesure du pH

Dans les eaux naturelles, c'est principalement les deux équilibres de l'acide carbonique (diacide faible) qui imposent la valeur du pH, bien que d'autres espèces peuvent avoir un effet non négligeable comme les équilibres de l'acide phosphorique (triacide faible), de l'ion ammonium (acide faible) ou certaines matières organiques (acides organiques comme les substances humiques). (J.Rodier ; 2009).

III.2.3. Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ). (J.Rodier ; 2009).

Comme pour la mesure de pH, le conductimètre nécessite un étalonnage régulier. L'incertitude de la mesure est bien évidemment fonction de la minéralisation de l'échantillon. Elle est classiquement fixée à $\pm 5\%$.

La corrélation entre la conductivité électrique et différence de potentiel n'étant pas exactement linéaire, seuls deux étalons peuvent être employés pour l'étalonnage. Une mesure sortant de la gamme étalon impose à l'utilisateur un réétalonnage de l'appareil dans une gamme mieux adaptée.

III.2.4. Mesure du Total des Solides Dissous (TDS) et la salinité (SAL)

TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques.

Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions.

Ces minéraux peuvent provenir d'un certain nombre de source naturelle autant que suite aux activités humaines.

Des sources d'eau minérales contiennent de l'eau avec un taux élevé de solides dissous parce qu'elles ont coulé à travers des régions où les roches contiennent beaucoup de sel.

La salinité : Théoriquement, la salinité désigne la masse totale de substances solides dissoutes dans un kilogramme d'eau. (J.Rodier ; 2009).

Ainsi selon Sorensen (1902), la salinité est définie comme la masse exprimée en grammes des composés solides contenus dans un kilogramme d'eau. La salinité était alors notée « S » et s'exprimait en g/kg ou en ‰.

III.3. Analyse au laboratoire

Les analyses des paramètres chimiques des échantillons sont effectuées au niveau du *l'Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage (INSID) Oum-Elbouaghi* et le *Laboratoire d'Analyse Environnementales et d'Essais Chimiques sur les Matériaux (Ain M'Lila)*.

Les éléments chimiques concernés par cette étude analytique sont :

- **Éléments majeurs :** * **Cations :** Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^{++}
* **Anions:** Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^-
- **Éléments mineurs :** Fe, Mn, Cu et Zn

Tableau 8: Méthodes et laboratoires d'analyse des éléments chimiques

Elément chimique	Méthode d'analyse	Laboratoire
SO_4^{--} , NO_3^- , Cl^-	La spectrophotométrie à absorption atomique UV-visible	L.A.E.E.C.M. Ain M'Lila
Na^+ , K^+	La spectrophotométrie à flamme.	I.N.S.I.D
Fe, Mn, Cu et Zn	La spectrophotométrie à absorption atomique.	
Ca^+ , Mg^{++} , HCO_3^-	La méthode titrimétrique.	L.A.E.E.C.M. Ain M'Lila

Afin d'obtenir des résultats fiables pour la détermination de la quantité des éléments minéraux majeurs ou mineurs constituant les eaux de sources à étudier, des méthodes conventionnelles sont utilisées :

- La spectrophotométrie à absorption atomique.
- La spectrophotométrie à flamme.
- La méthode titrimétrique.

En premier lieu, et pour la préparation des échantillons pour l'analyse, l'eau doit être filtrée à l'aide d'un papier filtre n° 1 qui élimine la matière en suspension qui est toujours présente dans l'eau naturelle sous forme des particules d'origine minérale, organique ou biologique.

III.3.1. La spectrophotométrie à absorption atomique (UV-Visible)

La spectrophotométrie d'absorption atomique est essentiellement une méthode d'analyse quantitative qui convient beaucoup mieux à la détermination des traces qu'à celle des composants majeurs. Elle présente de nombreux avantages : haute sensibilité, grande spécificité, influence négligeable de la composition du milieu analysé, rapidité, faible quantité de substance nécessaire (1 ml de la solution peut suffire) et facilité de préparation des solutions étalons. (J.Rodier ; 2009).

Quand un rayonnement d'une longueur d'onde donnée λ traverse un milieu, son intensité diminue en fonction de la densité des espèces absorbantes et de l'épaisseur du milieu. (J.Rodier ; 2009).

Cette propriété est utilisée pour déterminer la concentration des espèces chimiques absorbant à une longueur d'onde déterminée.

C'est l'interaction entre les photons de la source lumineuse et les ions ou molécules de l'échantillon qui provoque l'absorption lumineuse. (J.Rodier ; 2009).

- **Lois de la spectrométrie**

L'atténuation d'un faisceau lumineux monochromatique s'exprime par sa transmittance T (ou pourcentage de transmission), définie comme le rapport entre l'intensité lumineuse transmise (I) et l'intensité incidente (I_0) : (J.Rodier ; 2009).

$$T = \frac{I}{I_0}$$

On définit également l'absorbance A par :

$$A = -\log T = \log \frac{I_0}{I}$$

III.3.2. La spectrophotométrie à flamme

Pour un atome à l'état libre, le passage de l'état fondamental à l'état excité est conditionné à la fourniture d'un quantum d'énergie correspondant à la différence d'énergie entre le niveau excité (E_n) et le niveau fondamental (E_0), plusieurs transitions électroniques étant possibles suivant la quantité d'énergie fournie, comme le montre le diagramme d'énergie ci-dessous. (J.Rodier ; 2009).

Ce transfert correspond à une absorption d'énergie, qui peut être réémise spontanément sous forme de photons lors du retour à l'état fondamental initial. (J.Rodier ; 2009).

L'utilisation de ce phénomène constitue la base de la spectrométrie d'émission, encore appelée photométrie de flamme. (J.Rodier ; 2009).

- **Principe**

Lorsqu'une solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau ou le solvant s'évapore ; les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés à l'état d'atomes ou de radicaux. Ceux-ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme ; leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'une radiation de fréquence caractéristique de l'élément mis en solution et dont l'intensité est fonction de sa concentration. (J.Rodier ; 2009).

L'élément est dosé en mesurant l'intensité des raies émises par la fraction des atomes passés à l'état excité. En effet, pour une population d'éléments atomisés dans la flamme, une fraction est excitée et provoque une émission lumineuse dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en éléments excités et donc à la concentration de cet élément dans l'échantillon. Cette relation suppose que la fraction d'éléments atomisés est rigoureusement identique tout au long de la procédure, ce qui ne peut être assuré que pour de faibles concentrations en éléments et pour des conditions instrumentales rigoureusement identiques. (J.Rodier ; 2009).

III.3.3. La méthode titrimétrique à l'EDTA pour le dosage simultané du calcium et du magnésium

- **Principe**

Le principe est le même que pour la mesure de la dureté calcique, mais l'utilisation de deux indicateurs permet de doser successivement, et sur un même échantillon, le calcium et le magnésium. (J.Rodier ; 2009).

- **Réactifs**

– Solution d'EDTA 0,02 N.

Dissoudre 3,721 g de sel di-sodique de l'acide éthylène-diamine tétracétique (cristallisé $2H_2O$) dans 1 litre d'eau déionisée. 1 ml d'EDTA 0,02 N correspond à 0,4008 mg de calcium, 1 mg de carbonate de calcium et 0,243 mg de magnésium.

– Solution tampon.

Mettre dans 400 ml d'eau déionisée 55 ml d'acide chlorhydrique concentré. Ajouter 310 ml de 2-aminoéthanol, 100 mg d'EDTA magnésien. Compléter à 1 litre par de l'eau déionisée.

- **Mode opératoire**

Ajouter à l'échantillon à analyser 3 ml de solution d'hydroxyde de sodium puis quelques gouttes de solution de bleu d'ériochrome. Verser la quantité nécessaire de solution d'EDTA pour obtenir le virage au violet. Noter cette quantité (V_1). Ajouter 3,2 ml d'acide chlorhydrique N et agiter durant 1 minute jusqu'à parfaite dissolution du précipité magnésien.

Verser 5 ml de la solution tamponne, 1 goutte de solution de noir d'ériochrome. Bien mélanger. Introduire la quantité de solution d'EDTA nécessaire au virage au bleu (V_2).

- **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 50 ml :

– La teneur en calcium est égale à
$$\text{Ca (mg/L)} = \frac{V_1 \times 0,4008 \times 1000}{50}$$

– La teneur en magnésium est égale à :
$$\text{Mg (mg/L)} = \frac{V_2 \times 0,243 \times 1000}{50}$$

– La dureté totale, exprimée en CaCO_3 (mg/L), est égale à :
$$\frac{(V_1 + V_2) \times 1000}{50}$$

III.3.4. La méthode titrimétrique de dosage du TAC

- **Principe**

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré. (J.Rodier ; 2009).

- **Réactifs**

- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5 % (voir acidité).
- Solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle :

Vert de bromocrésol 0,2 g

Rouge de méthyle 0,015 g

Éthanol à 90 % q.s.p. 100 cm³

- Eau déionisée exempte d'anhydride carbonique libre (par ébullition de 15 min).

- **Mode opératoire**

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose (pH 4,5). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO_2 qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage. Soit V' le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage. (J.Rodier ; 2009).

Chapitre IV
Hydrochimie

Chapitre IV

Hydrochimie

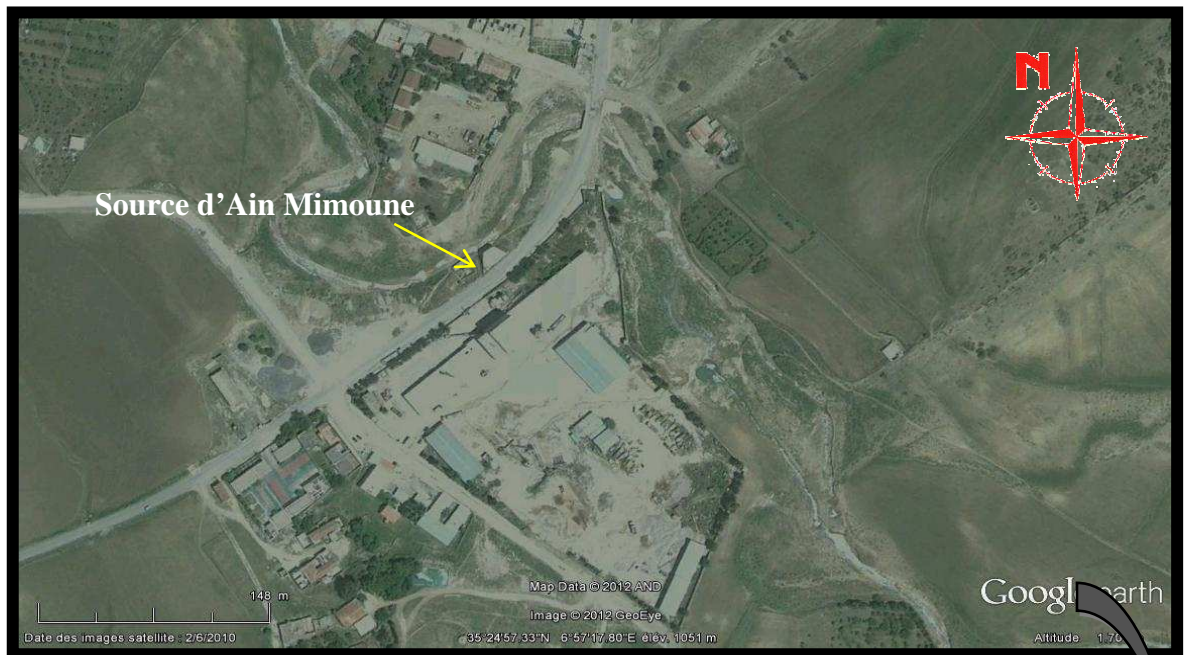
Introduction

Le présent chapitre traite du chimisme des eaux de sources, il est plus que évident que ce chimisme dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ), les concentrations des ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

Les échantillons conduits en Mai 2012, ont permis d'échantillonner l'eau de sources (thermales ou minérales). Nous présentons brièvement dans ce chapitre les sites d'échantillonnage et les résultats des paramètres physico-chimiques de ces sources afin de déterminer la composition chimique de ces dernières et l'origine de tous les éléments chimiques présentant dans les eaux de ces sources.

IV.1. Description visuelle des sites d'échantillonnage

IV.1.1. Source d'Ain Mimoun



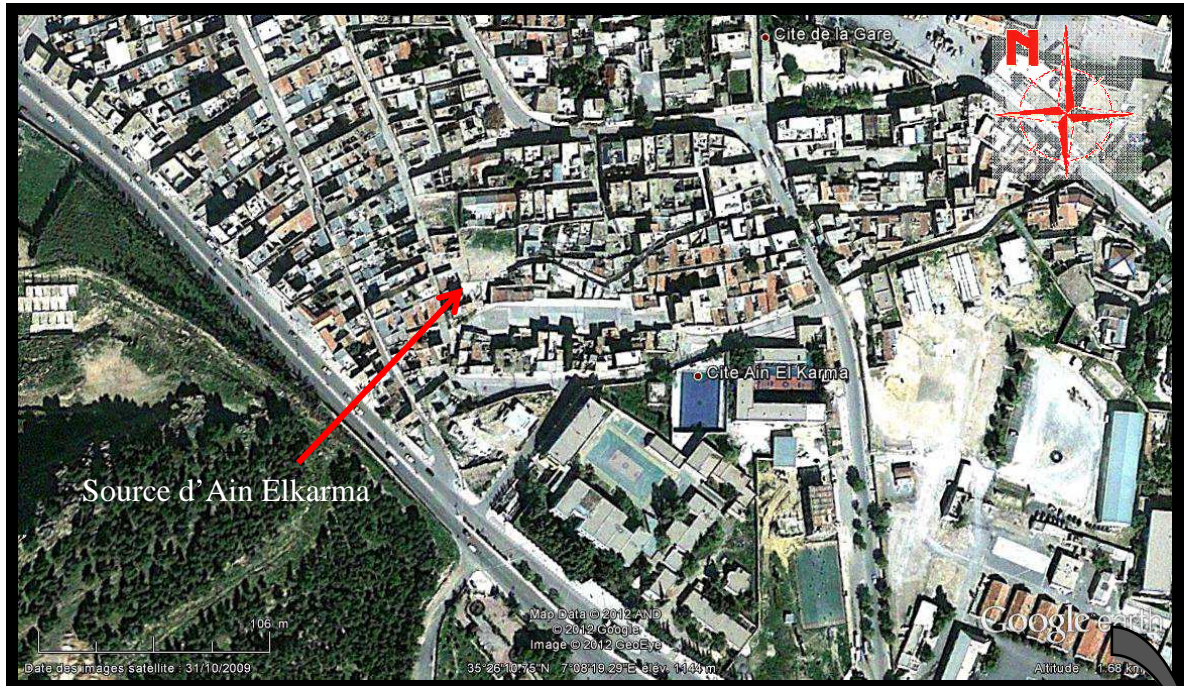
*Figure 20 : Image satellite de la source d'Ain Mimoun
(Source Google Earth-2012)*

- **Altitude:** 1051 m
- **Latitude :** 35° 24' 57,33" Nord.
- **Longitude :** 6° 57' 17,80 "Est.



Figure 21 : la source d'Ain Mimoun (Prise Est)

IV.1.2. Source d'Ain Elkarma



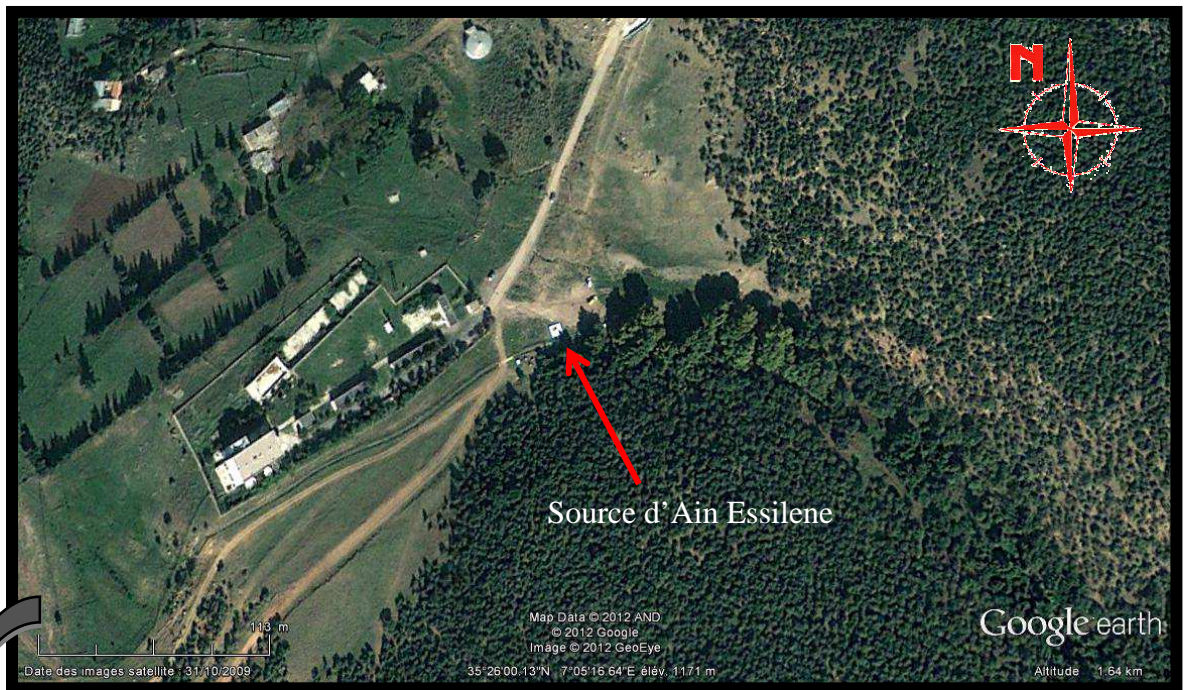
*Figure 22 : La localisation de la source d'Ain Elkarma
(Source Google Earth-2012)*

- **Altitude :** 1144 m
- **Latitude :** 35° 26' 10,75" Nord.
- **Longitude :** 7° 08' 19,29 "Est.



Figure 23: la source d'Ain Elkarma (Prise Ouest)

IV.1.3. Source d'Ain Essilène



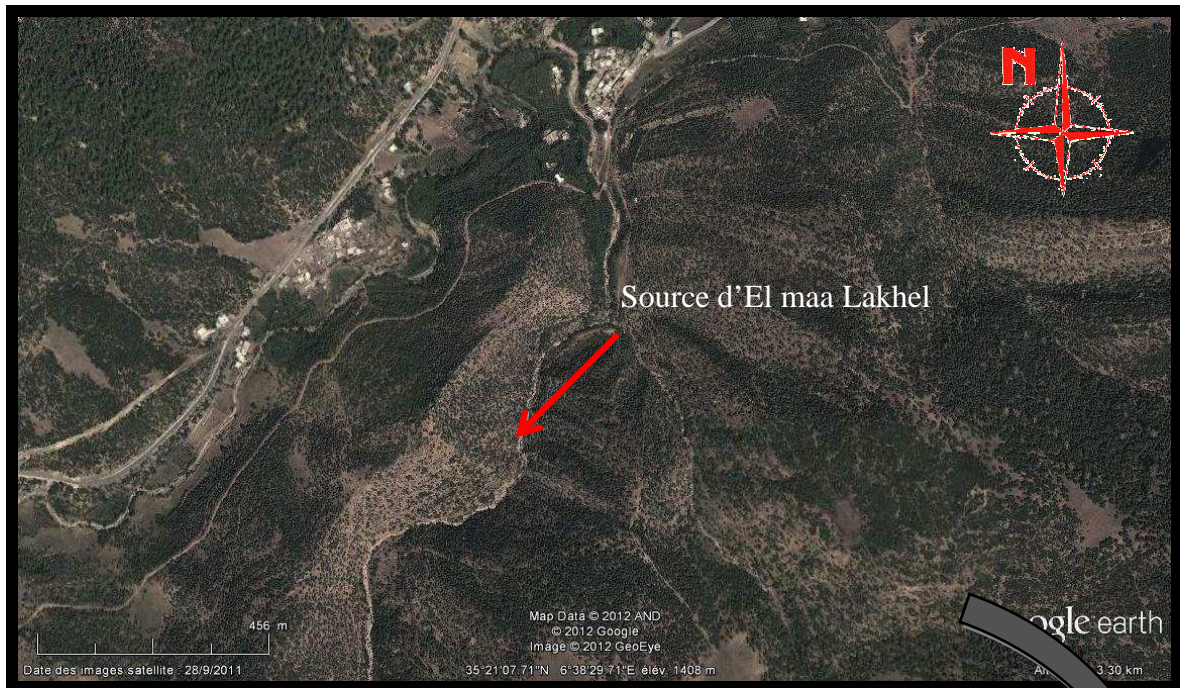
*Figure 24 : La localisation de la source d'Ain Essilène
(Source Google Earth-2012)*

- **Altitude : 1171 m**
- **Latitude : 35° 26' 00,13" Nord.**
- **Longitude : 7° 05' 16,64 "Est.**



Figure 25: la source d'Ain Essilène (Prise Nord-est)

IV.1.4. Source d'Elmaa Lakhal (Yabous)



*Figure 26 : La localisation de la source d'El maa Lakhel (Yabous)
(Source Google Earth-2012)*

- **Altitude : 1408 m**
- **Latitude : 35° 21' 07,71" Nord.**
- **Longitude : 6° 38' 29,71 "Est.**



Figure 27: la source d'El maa Lakhel (Yabous) (Prise Ouest)

IV.1.5. Source de Hammam Essalhine (les 02 griffons)

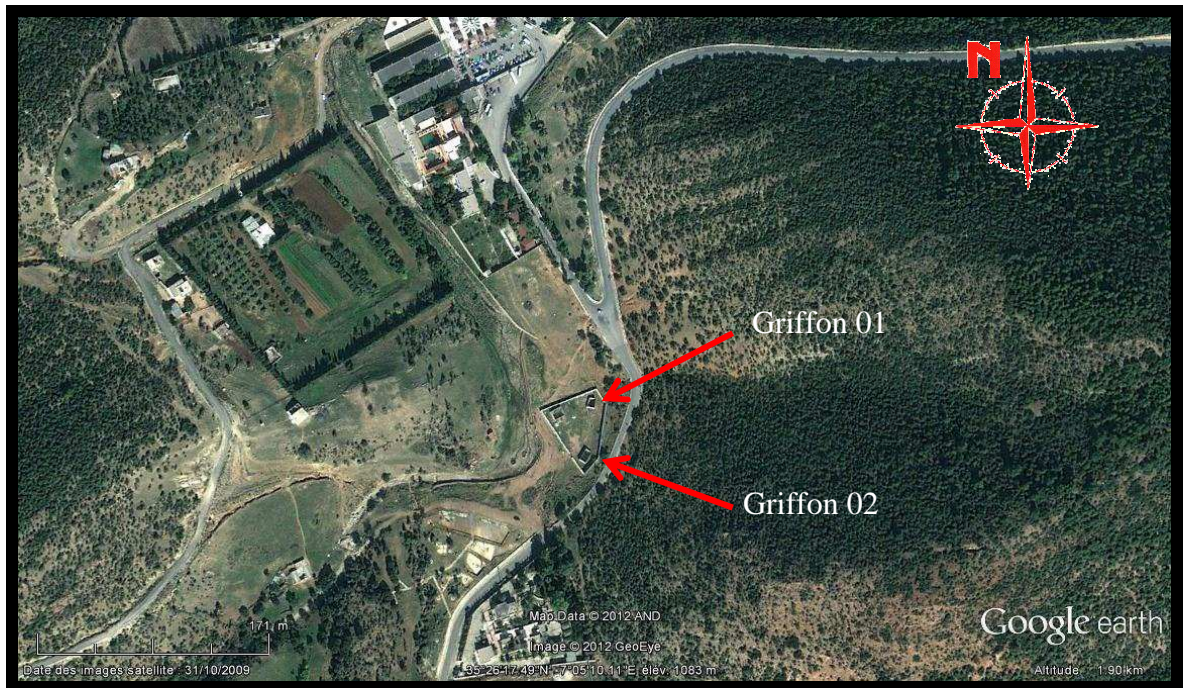


Figure 28 : La localisation de la source de Hammam Essalhine

« Les 02 griffons »

(Source Google Earth-2012)

- Altitude : 1083 m
- Latitude : 35° 26' 17,49" Nord.
- Longitude : 7° 05' 10,11 "Est.

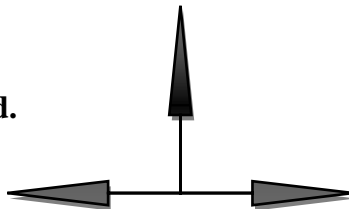


Figure 29: les 02 griffons de H.Essalhine (Prise Est)

IV.1.6. Source d'Ain Sfaa



*Figure 30 : La localisation de la source d'Ain Sfaa
(Source Google Earth-2012)*

- **Altitude : 1209 m**
- **Latitude : 35° 20' 09,36'' Nord.**
- **Longitude : 7° 02' 16,76 ''Est.**



Figure 31: la source d'Ain Sfaa (Prise Nord)

IV.1.7. Source d'Ain Thimizabine (Yabous)



*Figure 32 : La localisation de la source d'Ain Thimizabine (Yabous)
(Source Google Earth-2012)*

- **Altitude: 1211 m**
- **Latitude : 35° 23' 00,92" Nord.**
- **Longitude : 6° 38' 48,08 "Est.**



Figure 33: la source d'Ain Thimizabine (Prise Sud-est)

IV.1.8. Source d'Ain Elfakroune



*Figure 34 : La localisation de la source d'Ain Elfakroune
(Source Google Earth-2012)*

- **Altitude:** 1416 m
- **Latitude :** 35° 21' 21,26" Nord.
- **Longitude :** 6° 54' 44,67 "Est.



Figure 35: la source d'Ain Elfakroune (Prise Sud)

IV.1.9. Source de Hammam Djaarir



*Figure 36 : La localisation de la source de Hammam Djaarir
(Source Google Earth-2012)*

- **Altitude:** 1104 m
- **Latitude :** 35° 16' 45,75" Nord.
- **Longitude :** 6° 47' 21,59 "Est.



Figure 37: la source de Hammam Djaarir (Vue interne)

IV.2. Etude analytique des paramètres physiques

IV.2.1. La température

Les valeurs de la température mesurées des dix sources d'eau sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Valeurs de la température mesurée

<i>les sources</i>	<i>Température (°C)</i>
Ain Essilene	16,2
Hammam essalhineGrif 01"	61
Hammam essalhine"Grif 02"	50
Ain Mimoun	13,1
Ain Elfakroune" A.Mimoun"	11,8
Hammam Djaarir	33,5
El Maa Lakhal "Yabous"	10,4
Ain Thimizabine "Yabous"	11,9
Ain Essfaa	12,4
Ain Elkarma	20,3

On remarque que les températures s'étalent entre 10°C et 61°C, celles élevées témoignent d'une origine profonde des ses eaux (Hammam Essalhin et hammam Djaarir)

La température de l'eau est influencée par la température de l'air, elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, c'est l'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques,

Les mesures de la température de ces sources nous permettent de les classer selon leur température en :

1* Eaux froides : moins de 20°C

2* Eaux hypothermales : de 21° à 35°C

3* Eaux mesothermales : de 35° à 45°C

4* Eaux hyperthermales : plus de 45°C

Tableau 10 : classification des eaux étudiées, selon leur température

<i>les sources</i>	<i>Températures (°C)</i>	<i>classification</i>
Ain Essilene	16,2	Eaux froides
Hammam essalhine "Grif 01"	61	Eaux hyperthermales
Hammam essalhine "Grif 02"	50	Eaux hyperthermales
Ain Mimoun	13,1	Eaux froides
Ain Elfakroune	11,8	Eaux froides
Hammam Djaarir	33,5	Eaux hypothermales
El Maa Lakhhal "Yabous"	10,4	Eaux froides
Ain Thimizabine "Yabous"	11,9	Eaux froides
Ain Essfaa	12,4	Eaux froides
Ain Elkarma	20,3	Eaux froides

IV.2.2. Le pH

Le potentiel hydrogène mesure l'activité des ions H^+ dans une eau, plus simplement, il mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une solution.

Les valeurs du pH mesurées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Valeurs du pH mesuré

<i>les sources</i>	<i>PH</i>
Ain Essilene	7,42
Hammam essalhine "Grif 01"	7,62
Hammam essalhine "Grif 02"	7,55
Ain Mimoun	7,43
Ain Elfakroune	7,46
Hammam Djaarir	7,55
El Maa Lakhhal "Yabous"	7,51
Ain Thimizabine "Yabous"	7,46
Ain Essfaa	7,44
Ain Elkarma	7,4

Le *Ph* de toutes les eaux est voisin de la neutralité et varie de 7,40 à 7,62, avec un caractère plus ou moins alcalin. Ces valeurs témoignent des variations de la CO₂, dissous dans l'eau et aussi de la diffusion du gaz carbonique atmosphérique.

IV.2.3. La conductivité électrique

Les valeurs la conductivité électrique mesurées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Valeurs de la conductivité électrique mesurées

<i>les sources</i>	<i>Conductivité (μs)</i>
Ain Essilene	551
Hammam essalhine "Grif 01"	3150
Hammam essalhine "Grif 02"	3270
Ain Mimoun	562
Ain Elfakroune	890
Hammam Djaarir	5420
El Maa Lakhal "Yabous"	429
Ain Thimizabine "Yabous"	647
Ain Essfaa	526
Ain Elkarma	589

Les valeurs mesurées de la conductivité des sources de : Hम्मam Essalhine et Hammam Djaarir, indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1500 μS/cm, cela traduit la grande solubilité des sels à des grandes températures.

Ces valeurs indiquent que les eaux thermales de Khenchela sont minéralisées et auraient traversé les terrains triasiques gypso-salifères et sont liées à la grande solubilité des sels (Na Cl, CaSO₄ 2H₂O, CaSO₄ et Na₂SOH).

IV.2.4. Le Total des Solides Dissous (TDS)

Les valeurs du Total des Solides Dissous (TDS) mesurées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Valeurs du Total des Solides Dissous (TDS)

<i>les sources</i>	<i>TDS (mg/l)</i>
Ain Essilene	294
Hammam essalhine "Grif 01"	1690
Hammam essalhine "Grif 02"	1750
Ain Mimoun	301
Ain Elfakroune	461
Hammam Djaarir	2930
El Maa Lakhal "Yabous"	228
Ain Thimizabine "Yabous"	344
Ain Essfaa	282
Ain Elkarma	313

Les valeurs mesurées du TDS des sources de : Hammam Essalhine et Hammam Djaarir, indiquent un taux très élevée des sels dissous, cela traduit la grande solubilité des sels à des grandes températures.

Les mesures du TDS de ces sources nous permettent de les classer selon le goût car dans une étude réalisée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), un jury de dégustateurs sont venu à la conclusion sur la quantité de TDS préférable dans l'eau :

Tableau 14 : Goût de l'eau avec différentes concentrations du TDS

(Source : Organisation Mondiale de la Santé)

<i>Niveau du TDS en (mg/l)</i>	<i>Evaluation</i>
Mois de 300	Excellent
300 – 600	Bien
600 – 900	Passable
900 – 1200	Faible
Plus de 1200	Inacceptable

Tableau 15 : évaluation du goût des eaux de sources

<i>les sources</i>	<i>Evaluation</i>
Ain Essilene	Excellent
Hammam essalhine"Grif 01"	Inacceptable
Hammam essalhine"Grif 02"	Inacceptable
Ain Mimoun	Bien
Ain Elfakroune	Bien
Hammam Djaarir	Inacceptable
El Maa Lakhhal "Yabous"	Excellent
Ain Thimizabine "Yabous"	Bien
Ain Essfaa	Excellent
Ain Elkarma	Bien

IV.2.4. La salinité (S)

Les valeurs de la salinité mesurées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Valeurs de la salinité

<i>les sources</i>	<i>Salinité (‰)</i>
Ain Essilene	0,3
Hammam essalhine"Grif 01"	1,7
Hammam essalhine"Grif 02"	1,7
Ain Mimoun	0,3
Ain Elfakroune	0,4
Hammam Djaarir	3
El Maa Lakhhal "Yabous"	0,2
Ain Thimizabine "Yabous"	0,3
Ain Essfaa	0,3
Ain Elkarma	0,3

D'après les valeurs mesurées de la salinité mentionnées dans le tableau ci-dessus, on remarque que les sources ayant un caractère thermal (Hammam Essalhine et Hammam Djaarir) présentent les taux les plus élevés, ce qui explique que la salinité des eaux est influencée par l'augmentation de la température.

IV.3. Etude analytique des paramètres chimiques

Les eaux naturelles constituent un milieu complexe. Si leurs compositions sont en relation directe avec les constituants des sols et des couches géologiques traversées, la qualité des eaux est largement affectée par le couvert végétal, les pratiques agricoles, l'urbanisation et plus généralement par l'activité économique développée dans les paysages où elles coulent. (J.Rodier ; 2009).

IV.3.1. Les éléments majeurs

Les composés minéraux présents dans les eaux naturelles trouvent leur origine dans les échanges qui se produisent entre l'eau et le sol et entre l'eau et l'atmosphère pour les gaz (CO₂ et oxygène dissous). Certains éléments conditionnent pour une part importante le développement de la biomasse, qui éventuellement, peut modifier les caractéristiques physicochimiques d'une eau de surface. (J.Rodier ; 2009).

Les résultats d'analyses chimiques en éléments majeurs des eaux de sources concernées sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Les analyses chimiques en élément majeurs (mg/l)

Les sources	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
H.Salhine G1	110,22	29,16	525,00	20,00	770,35	290,00	1,30	274,5
H.Salhine G2	114,23	30,38	543,00	16,00	852,00	185,00	1,30	268,4
Ain el Fakroun	122,24	42,53	2,10	2,20	3,55	28,00	1,53	305
Ain Thimizabine	86,17	29,16	5,80	1,60	7,10	33,00	1,91	305
Ain El Karma	76,15	35,24	0,75	1,00	17,75	19,00	2,06	335,5
H Djaarir	282,56	42,53	762,00	18,00	1 448,40	510,00	1,22	195,2
Ain Essfaa	84,17	13,37	4,80	1,90	24,85	19,00	24,31	274,5
Ain Mimoune	70,14	17,01	3,20	2,70	7,10	29,00	1,83	274,5
El Maa Lakhal	56,11	29,16	0,30	3,50	28,40	14,00	1,60	274,5
Ain Essilene	88,18	21,87	0,70	0,20	21,30	16,00	1,68	317,2

Le tableau ci-dessus montre qu'au niveau des dix points d'échantillonnage, les valeurs des éléments majeurs dosés sont différentes d'un point à un autre.

On remarque que l'anion HCO_3^- est prédominant (sept points sur dix) sur les ions SO_4^{-2} et Cl^- et le cation Ca^{+2} , sont prédominants (sept points sur dix) sur les ions K^+ , Mg^{+2} et Na^+

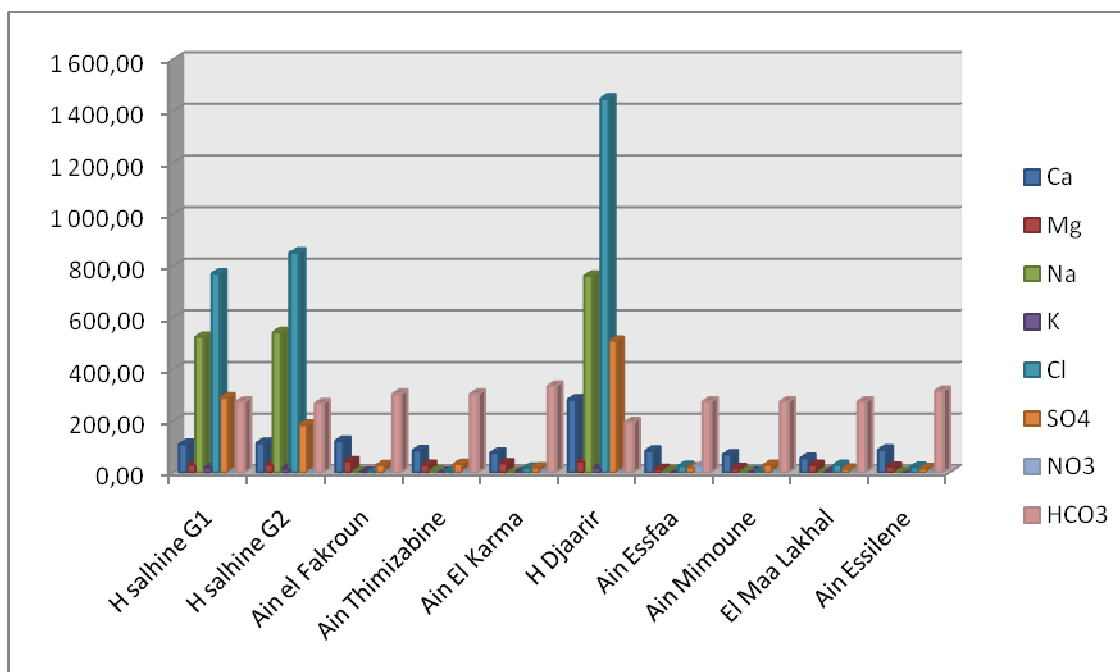


Figure 38 : Représentation graphique des dix sources d'eau (les éléments majeurs)

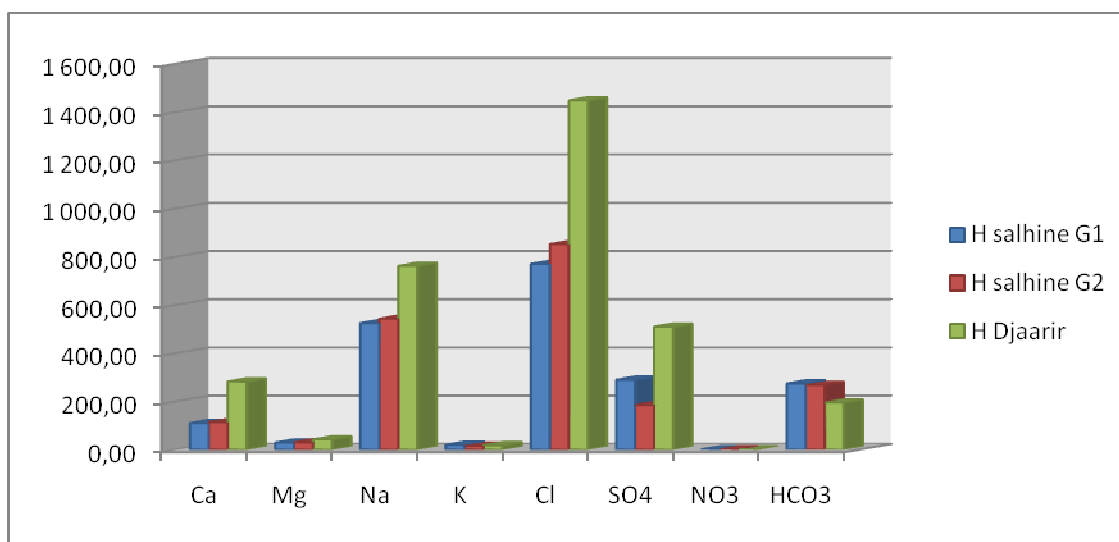


Figure 39 : Représentation graphique des trois sources d'eau thermale (les éléments majeurs)

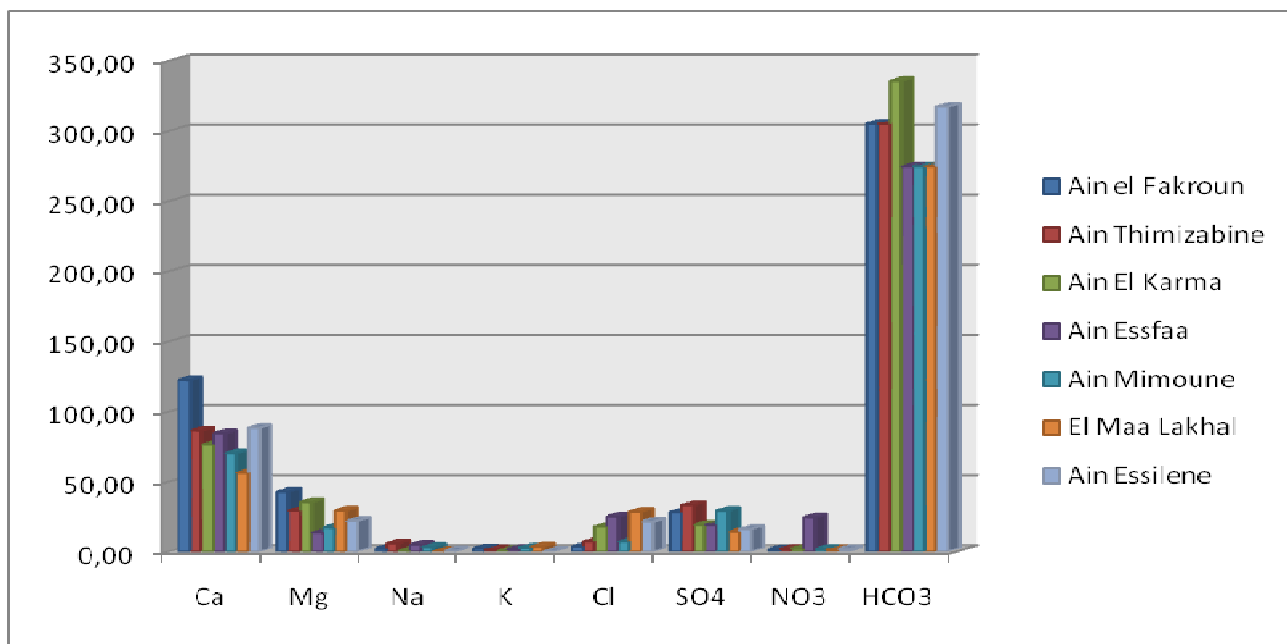


Figure 40 : Représentation graphique des sept sources d'eau minérales (les éléments majeurs)

IV.3.1.1. Le Calcium (Ca)

Le calcium est un métal alcalino terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates.

C'est un composant majeur de la dureté de l'eau, il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogencarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc. les eaux de pluies, de citernes n'en refferment que des traces. Certaines eaux minérales en contiennent plusieurs centaines de milligrammes par litre. (J.Rodier ; 2009).

La présence des ions Ca^{+2} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles :

- Soit la dissolution des formations carbonatées : $(\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^{-2})$
- Soit la dissolution des formations gypseuses : $\text{CaSO}_4 + 2(\text{H}_2\text{O}) \rightarrow \text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} + 2(\text{H}_2\text{O})$.

Dans le cas où on a un échange contre le sodium ou l'absence de minéraux riches en calcium, la teneur en calcium sera faible. Par contre la teneur élevée en calcium provient de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite.

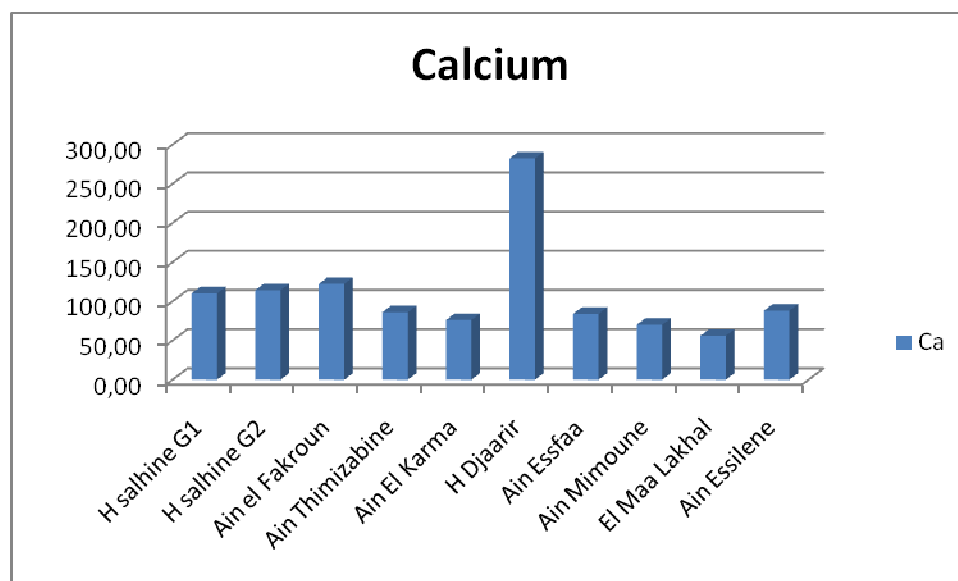


Figure 41 : Représentation graphique de la teneur en Calcium

On remarque que les sources comprennent des valeurs de teneur en calcium variant entre **56,11 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source d'El Maa Lakhhal, et **282,56 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Hammam Djaarir.

L'interprétation de cette variation des valeurs est que ces concentrations indiquent que les eaux sont influencées par la dissolution des formations carbonatées et les formations gypseuses contenues dans les terrains salifères du Trias.

Concernant la potabilité et la consommation humaine de l'eau de ces sources, les teneurs retenues en Calcium sont dans les normes selon l'OMS, et la réglementation européenne.

IV.3.1.2. Le Magnésium (Mg)

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre.

La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/L, à 20 °C. Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (chimie de la potasse, alliages, pyrotechnie, batteries sèches, réducteur chimique, etc.) font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes, allant de quelques milligrammes à, quelquefois, plusieurs centaines de milligrammes par litre. (J.Rodier ; 2009).

La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques : $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{Mg}^{+2} + \text{CO}_3^{-2}$, dolomies : $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Mg}^{+2} + \text{Ca}^{+2} + 2(\text{CO}_3^{-2})$)

du Jurassique ou du Trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens. (J.Rodier ; 2009).

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. (J.Rodier ; 2009).

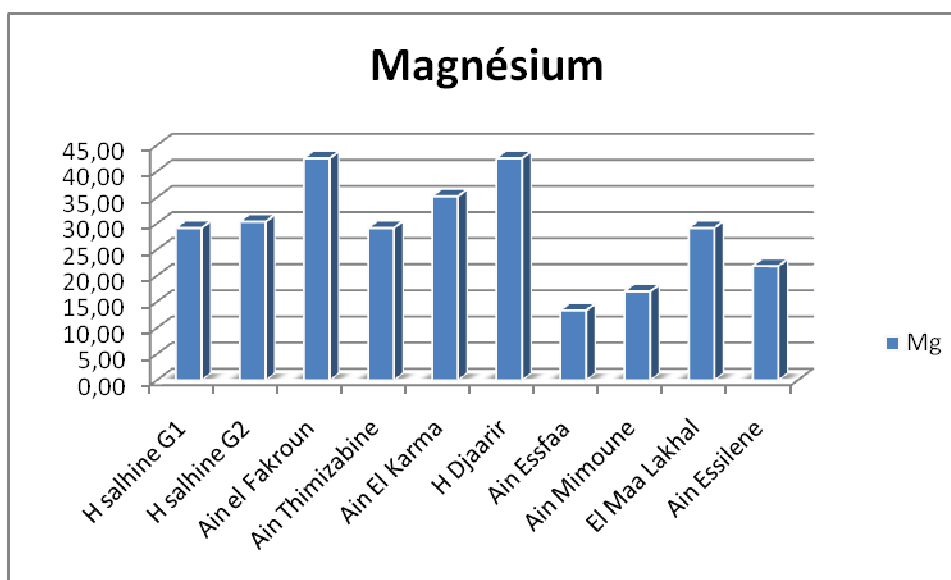


Figure 42 : Représentation graphique de la teneur en Magnésium.

On remarque que les sources comprennent des valeurs de teneur en magnésium variant entre **13.37 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source de Ain Essfaa, et **42.53 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Hammam Djaarir et Ain Elfakroun.

L'interprétation de cette variation des valeurs est que ces concentrations indiquent que la teneur en Magnésium est influencée par le passage des eaux à travers les roches sédimentaires rencontrées qui sont les calcaires dolomitiques et les dolomies du Jurassique ou du Trias moyen.

Toutes les sources étudiées présentent des teneurs en Magnésium qui sont dans l'ordre et l'intervalle de la réglementation européenne et la norme de l'OMS (la valeur guide 50mg/l).

IV.3.1.3. Le Sodium (Na)

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au-delà.

Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères, de son emploi pour faire fondre la neige, des nombreux usages industriels, etc. (J.Rodier ; 2009).

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères. La plus importante source de sodium se trouve dans les évaporites.

L'existence d'inclusion évaporitiques sous forme de roches salines riches en NaCl et CaSO₄ et Na₂SO₄ (Halite, gypse et mirabilites) peut être aussi à l'origine de cet élément.

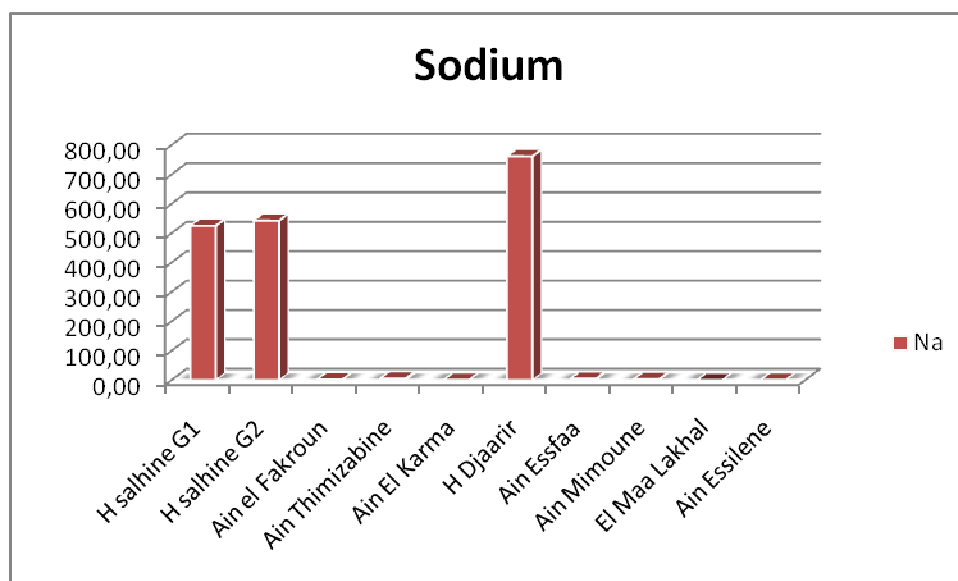


Figure 43 : Représentation graphique de la teneur en Sodium.

On remarque que les sources comprennent des valeurs de teneur en sodium variant entre **0.30 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source d'El Maa Lakhal, et **762 ,00 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Hammam Djaarir.

Ces concentrations témoignent d'un apport salifère à partir des formations évaporitiques liées aux Sebkhass qui se trouvent près de la région de Khenchela.

Selon la réglementation européenne (150 mg/l), on remarque que toutes les sources minérales présentent des teneurs acceptables sauf celles thermales qui sont caractérisées par des valeurs très élevées, peut être due aux apports de la décomposition des sels minéraux de surface et de la nature des terrains et l'acheminement des sels dans les profondeurs et en présence des températures élevées.

IV.3.1.4. Le Potassium (K)

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (Gneiss, Schistes), des argiles potassiques.

En générale, le potassium dépasse rarement les 10 ou 15 mg/l dans les eaux naturelles. Dans les eaux de mer le potassium avoisine les 380 mg/l.(M.Athemena ; 2006).

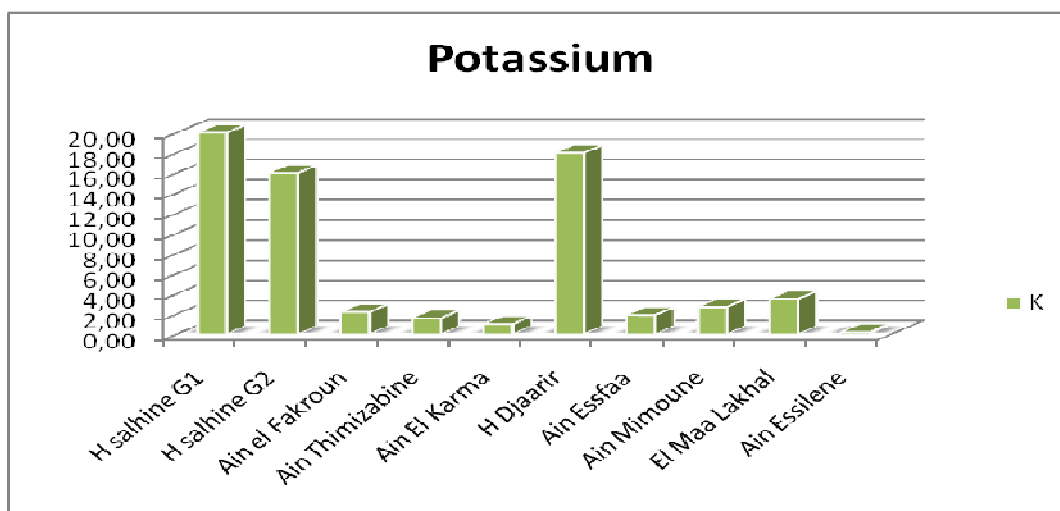


Figure 44: Représentation graphique de la teneur en Potassium

D'après les résultats, On remarque que les sources comprennent des valeurs de teneur en potassium varient entre **0.20 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source de Ain Essilene, et **20.00 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Hammam Essalhine (griffon n°02).

L'interprétation de cette variation des valeurs est que ces concentrations indiquent que la teneur en Potassium est influencée par le passage des eaux à travers les roches métamorphiques (Gneiss, Schistes) dans les profondeurs.

En matière de potabilité, on peut dire que les teneurs en Potassium sont dans l'ordre des instructions du conseil des communautés Européennes (12 mg/L), sauf pour les sources thermales qui sont caractérisées par des valeurs un peu élevées.

IV.3.1.5. Les Chlorures (Cl)

L'origine de cet élément est comme pour le sodium, liée principalement à la dissolution des formations salifères. Les évaporites constituent la source principale de cet élément. L'effet de la salinité marine, les bassins endoréiques (Chotts, Sebchas), les eaux fossiles ou connées, le salage des routes et l'adoucissement des eaux par les résines peuvent être à l'origine de cet élément. (M.Athemena ; 2006).

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/L, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1 000 mg/L. (J.Rodier ; 2009).

Le chlore est présent dans les eaux naturelles bien qu'il soit en faible quantité. Dans les eaux de pluies il avoisine les 4 mg/l et dans les eaux de mer il avoisine les 18,98 g/l. La teneur du chlore dans les eaux continentales peut être maximum sur les zones côtières et moindres en s'éloignant de la mer. Généralement les eaux riches en chlore sont riches en sodium, parfois le calcium remplace le sodium. (M.Athemena ; 2006)

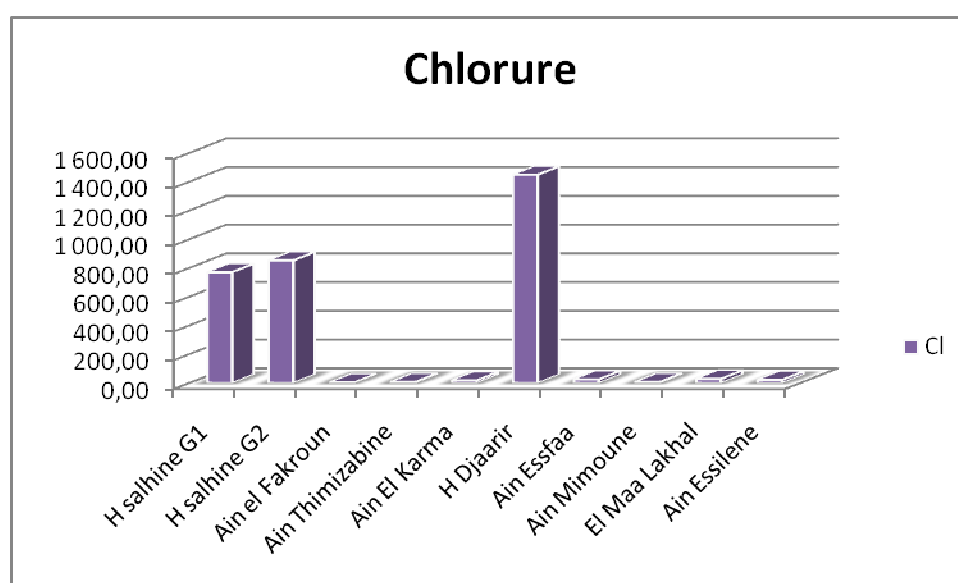


Figure 45: Représentation graphique de la teneur du Chlore

On remarque que les sources comprennent des valeurs de teneur du Chlore varient entre **3,55 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source de Ain Elfakroune, et **1448,40 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Hammam Djaarir.

Ces teneurs présentent des valeurs importantes par rapport à celle du sodium, à cause des caractéristiques spéciales de cet élément qui ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation chimique, ne s'adsorbe pas par les formations géologiques et qui est très mobile. (M.Athemena ; 2006)

Comme pou le sodium, Ces concentrations témoignent d'un apport salifère à partir des formations évaporitiques liées aux Sebkhass qui se trouvent près de la région de Khenchela.

Pour les eaux de sources minérales, elles sont acceptables et admissibles à la consommation humaine car elles présentent des teneurs dont la norme de l'OMS est assurée (≤ 250 mg/l.)

IV.3.1.6. Les Sulfates (SO₄)

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. (J.Rodier ; 2009).

Donc la présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses, à la dégradation de la matière organique dans le sol (Vieville ; 1983) ainsi qu'à l'apport anthropique (origine agricole). Dans les eaux de pluie les sulfate sont de l'ordre du 1 mg/l. (M.Athemena ; 2006)

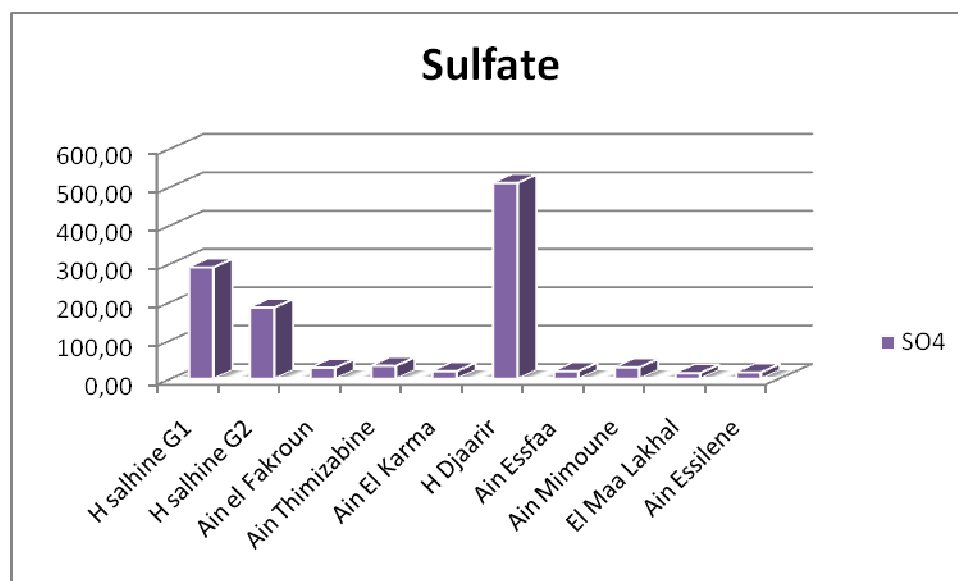


Figure 46 : Représentation graphique de la teneur en Sulfate

On remarque que les sources comprennent des valeurs de teneur en sulfate variant entre **14,00 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source d'El Maa Lakhal, et **510,00 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Hammam Djaarir.

La présence des Sulfates dans les eaux de nos sources est liée plus beaucoup à la dissolution des formations gypseuses.

Même pour les Sulfates, les eaux de sources minérales sont les plus destinées à la consommation humaine, car elles respectent la valeur limite de la norme de l'OMS (250 mg/l), par rapport aux celles thermales qui présentent des taux élevés en Sulfates.

IV.3.1.7. Les Nitrates (NO₃)

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux ; il peut varier de 1 à 15 mg/l et une concentration de 2 ou 3 mg/l peut être considérée comme normale.

À l'origine du cours d'eau, la teneur en nitrates est très souvent comprise entre 0,05 et 0,2 mg/l, puis elle s'élève progressivement jusqu'à quelques mg/L le long du parcours au fur et à mesure que croît la distance aux sources. (J.Rodier ; 2009).

La teneur naturelle des eaux souterraines en cet élément est également faible : elle dépend des types de sols, de la végétation qui les recouvrent ainsi que du taux d'oxygénation dans la zone noyée.

On peut dire que l'origine des nitrates dans les eaux souterraines est essentiellement externe (apport anthropique). Les nitrates sont utilisés comme indice de pollution. (M.Athemena ; 2006).

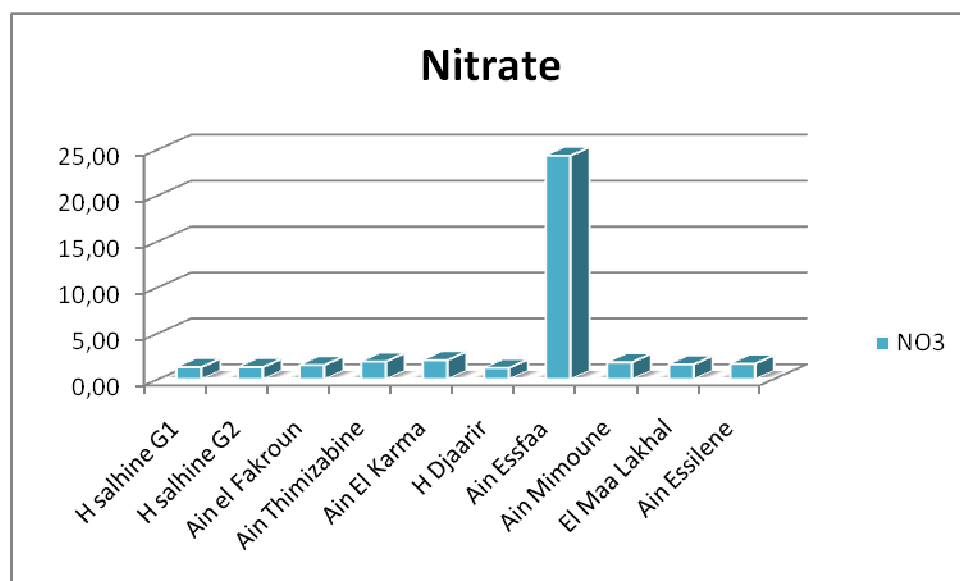


Figure 47 : Représentation graphique de la teneur en Nitrates

On remarque que les sources comprennent des valeurs de teneur en nitrates variant entre **1,22 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source de Hammam Djaair, et **24,31 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Ain Essfaa.

Donc la présence des nitrates peut être due à la végétation qui les recouvre le sol ainsi que du taux d'oxygénation de la zone noyée.

On remarque que les teneurs en Nitrates sont dans l'intervalle de la norme de l'OMS (≥ 50 mg/l). Mais on a enregistré que la source d'Ain Esfaa présente le taux le plus élevé, peut être due à l'activité agricole caractérisant la région (infiltration des engrais riche en Azote).

IV.3.1.8. Les Bicarbonates (HCO_3)

Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable. (M.Athemena ; 2006).

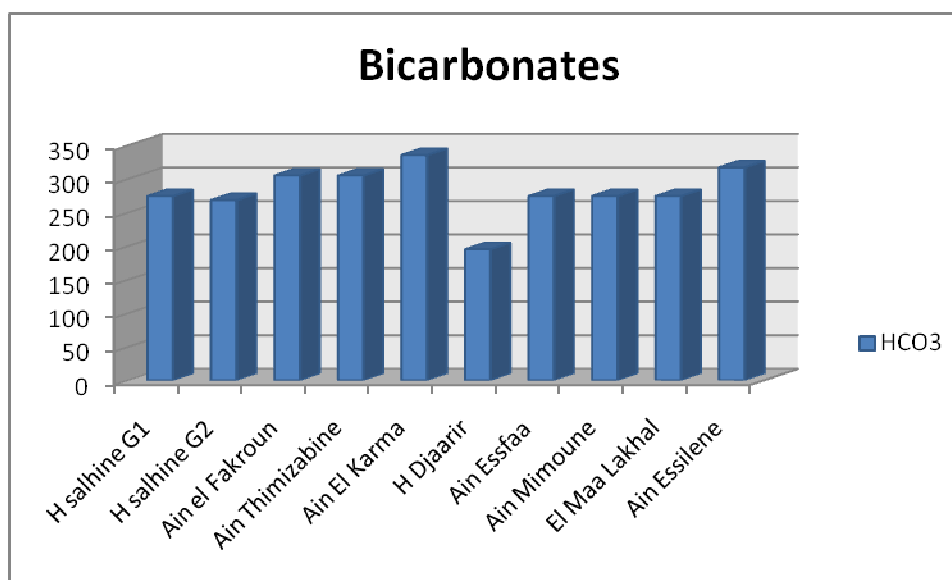


Figure 48 : Représentation graphique de la teneur en Bicarbonates

On remarque que les sources comprennent des valeurs de teneur en bicarbonates variant entre **195,2 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source de Hammam Djaarir, et **335,5 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Ain Elkarma.

Donc la présence des bicarbonates peut être due à la dissolution des roches calcaires qui constituent le substratum.

Ces teneurs nous permettent de conforter la forte corrélation qui existe entre les valeurs de pH et les teneurs en bicarbonates car un pH acide conduit à des teneurs en bicarbonates élevées.

IV.3.2. Les éléments mineurs

À côté des éléments majeurs que nous avons décrits, les eaux contiennent de nombreux autres éléments que nous qualifierons de mineurs, en raison de leurs concentrations généralement plus faibles que pour les premiers. (J.Rodier ; 2009).

Les métaux dominants dans les eaux naturelles sont : l'aluminium, le fer et le manganèse. De l'ordre de la fraction de mg/l dans les eaux de surface. (J.Rodier ; 2009).

La présence d'éléments mineurs ou éléments traces ou encore oligo-éléments dans les eaux thermales est d'une grande importance car elle permet de préciser les caractères et les origines de ces eaux. Ils sont regroupés dans deux familles : (M.Athemena ; 2006).

- **Les terres-rares ou Lanthanides** : ont des teneurs extrêmement faibles dans les eaux souterraines. Elles ne sont pas actuellement utilisées en hydrogéologie.
- **Les métaux** : sont les plus employés, ils se regroupent dans trois familles :
 - **Les alcalin et alcano-terreux** : Rb, Sr, Li, Ba...
 - **Les métaux de transition** : Sc, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu...
 - **Les métaux lourds** : Zn, Cd, Pb, U...

Les teneurs en éléments traces de l'ensemble des points d'eau à étudier sont variables d'un point à un autre, mais restent généralement faibles à l'exception de la silice qui présente des teneurs relativement importante.

Les résultats d'analyses chimiques en éléments mineurs des eaux de sources concernées sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Les analyses chimiques en élément mineurs (mg/l)

Sources	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	SIO2 (mg/l)
H.Salhine G1	< 0,01	0,062	< 0,01	0,095	66,8
H.Salhine G2	< 0,01	0,053	< 0,01	0,087	62,92
Ain el Fakroun	< 0,01	0,049	< 0,01	0,08	6,8
Ain Thimizabine	< 0,01	0,065	< 0,01	0,095	6,1
Ain El Karma	< 0,01	0,045	< 0,01	0,092	8,01
H Djaarir	< 0,01	0,077	< 0,01	0,105	40,92
Ain Essfaa	< 0,01	0,048	< 0,01	0,089	7,8
Ain Mimoune	< 0,01	0,061	< 0,01	0,086	8,7
El Maa Lakhal	< 0,01	0,053	< 0,01	0,098	6,4
Ain Essilene	< 0,01	0,041	< 0,01	0,102	7,79

Les teneurs en éléments traces de l'ensemble des points de la zone d'étude sont variable d'un point à un autre, elles sont généralement faibles ce qui traduit une pollution négligeable.

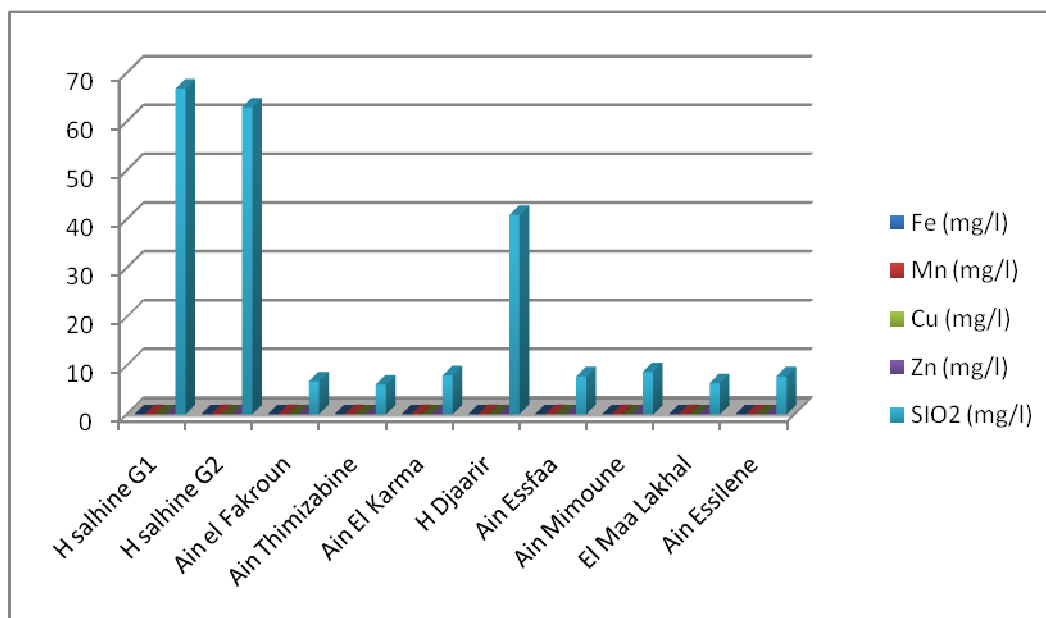


Figure 49 : Représentation graphique des dix sources d'eau (les éléments mineurs)

IV.3.2.1. La Silice (SiO₂)

Les composés siliceux représentent environ 28 % de la lithosphère (quartz, sables, roches ignées, etc.). Combinée à de nombreux minéraux, la silice forme des silicates. La dégradation de ces produits est à l'origine de la silice naturelle dans l'eau où elle se présente soit à l'état soluble (ionique), soit à l'état colloïdal, soit en suspension. Sa faible solubilité est liée à la température, au pH et à la composition des minéraux, la concentration saturante allant de 5 mg/l à 0 °C à 140 mg/l à 25 °C. En solution, cet élément peut exister, en fonction du pH, sous forme d'acide silicique ou d'ions silicates. Les eaux des régions volcaniques peuvent en contenir plusieurs dizaines de milligrammes par litre. (J.Rodier ; 2009).

D'ailleurs la silice est utilisée comme géothermomètre qui sert à l'estimation de la température de l'eau en profondeur.

L'altération des roches à laquelle est attribuée la mise en solution de Na, K, Ca et Mg provoque la libération de la silice et c'est pour cette raison que toutes les eaux thermales contiennent de la silice en teneurs variables. (M.Athemena ; 2006).

Les concentrations de la silice varient entre **6,1 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source de Ain Thimizabine, et **66,8 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Hammam Essalhine (griffon N°02).

IV.3.2.2. Le Manganèse (Mn)

Le manganèse présent dans l'eau peut s'y trouver, à des valences différentes (II, III et IV), à l'état soluble ou en suspension ou sous forme de complexes ; sa solubilité dépend du pH, de l'oxygène dissous, de la présence d'agents complexants. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre de 1 mg/l en particulier lorsqu'il y a une attaque par l'eau de la roche support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries. (J.Rodier ; 2009).

Dans ces conditions, il est souvent associé au fer avec lequel il coprécipite par oxydation. Les eaux de surface en contiennent généralement moins de 0,05 mg/l. (J.Rodier ; 2009).

Les teneurs en manganèse s'étalent entre **0,077 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source de Hammam Djaarir, et **0,041 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Ain Essilene.

IV.3.2.3. Le Zinc (Zn)

Le zinc est un élément lourd, toxique. Dans l'eau, la solubilité des chlorure et sulfate de zinc est importante, leur hydrolyse conduit à une diminution du pH. En présence d'un excès d'hydrogénocarbonate, la solubilité du zinc est contrôlée par la solubilité du carbonate qui est relativement soluble et de l'hydroxyde qui l'est peu. D'une façon générale, les eaux à pH faible ont des teneurs en zinc plus importantes. La présence de zinc dans les eaux de surface doit être rattachée à des activités industrielles. (J.Rodier ; 2009).

Les teneurs en manganèse s'étalent entre **0,080 mg/l** comme étant valeur minimale correspond à la source de Ain El Fakroune, et **0,105 mg/l** comme étant valeur maximale correspond à la source de Hammam Djaarir.

IV.3.2.4. Le Fer (Fe)

Très répandu, le fer se classe au 4e rang des éléments de la croûte terrestre. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelques mg/l de fer ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés ou les pollutions industrielles. (J.Rodier ; 2009).

On enregistre que les teneurs en fer dans tous les échantillons sont de l'ordre de **< 0,01 mg/l**.

IV.3.2.5. Le Cuivre (Cu)

Le cuivre peut se rencontrer dans certaines eaux naturelles généralement à des teneurs inférieures à 1 mg/l sous forme ionique ou de complexes (cyanures, ammoniacale, produits organiques, etc.). (J.Rodier ; 2009).

On enregistre que les teneurs en cuivre dans tous les échantillons sont de l'ordre de **< 0.01 mg/l**.

IV.3.3. La représentation graphique

L'interprétation des analyses chimiques repose sur la cartographie hydro-chimique pour illustrer le faciès chimique des eaux et remonter leur origine. Cette représentation utilise des diagrammes puisés dans le logiciel qui s'appelle DIAGRAMME initié par le docteur Roland SIMMLER du laboratoire d'hydrogéologie de l'université d'Avignon.

IV.3.3.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux.

Il est composé de deux triangles équilatéraux à la base surmontés d'un losange au milieu permettant de représenter le faciès hydro-chimiques des eaux par rapport à la concentration relatives des cations et des anions.

Ce type de diagramme est particulièrement adapté pour étudier l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralité augmente ou bien pour distinguer des groupes d'échantillons. (V. Valles)

D'après les résultats de l'analyse chimiques des sources d'eau, on a établi le diagramme de PIPER suivant :

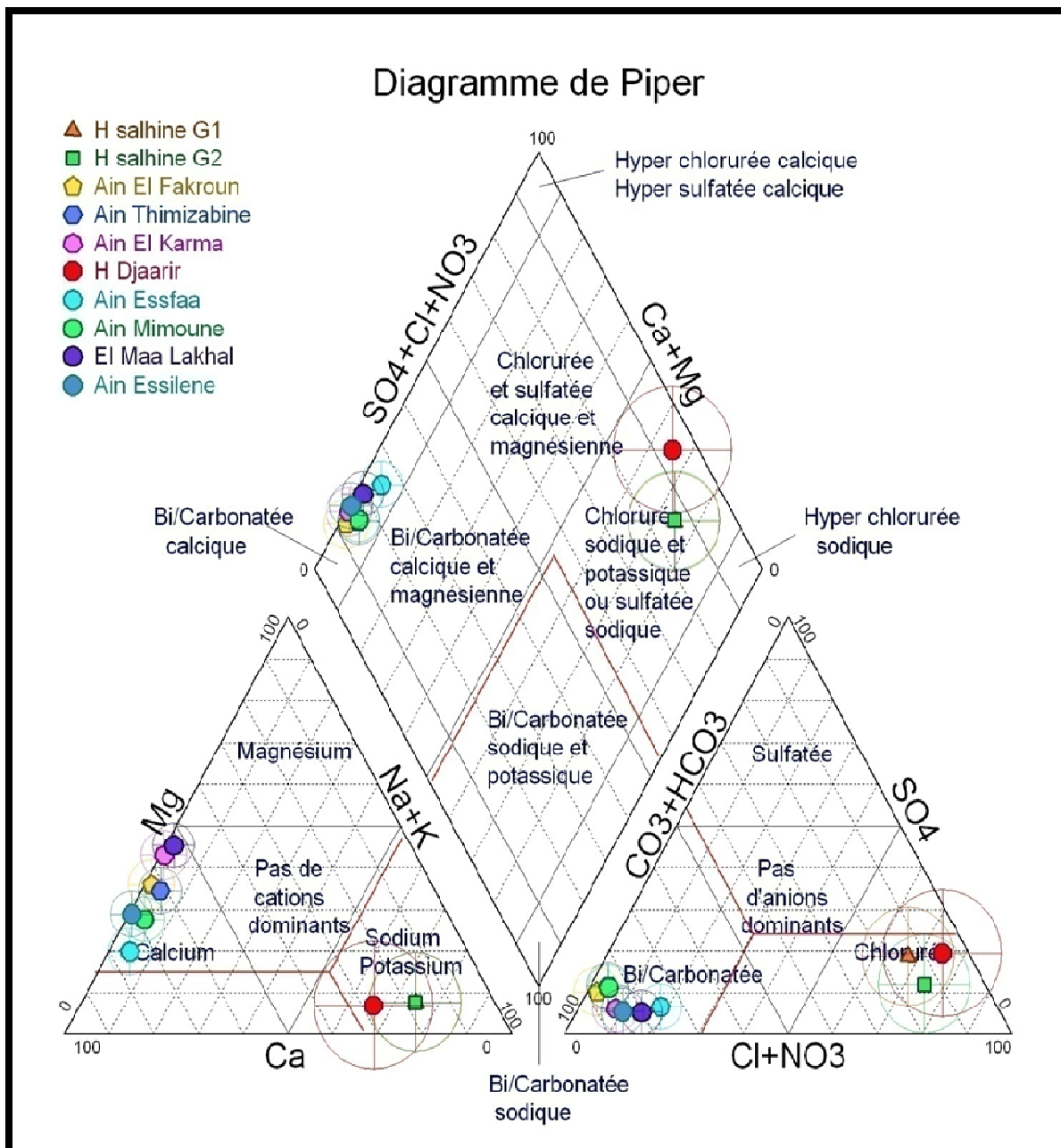


Figure 50 : Représentation sur diagramme de Piper des compositions en éléments majeurs des sources d'eau de la zone d'étude

IV.3.3.2. Diagramme de Schoëller Berkalov

Le diagramme de Schoëller Berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralité variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. (V. Valles)

Il est ainsi possible de visualiser le faciès chimique, comme pour le diagramme de Piper, mais aussi la minéralisation de l'eau (sa charge dissoute), ce qui est appréciable. Toutefois, la visualisation du faciès est moins aisée qu'avec le diagramme de Piper.

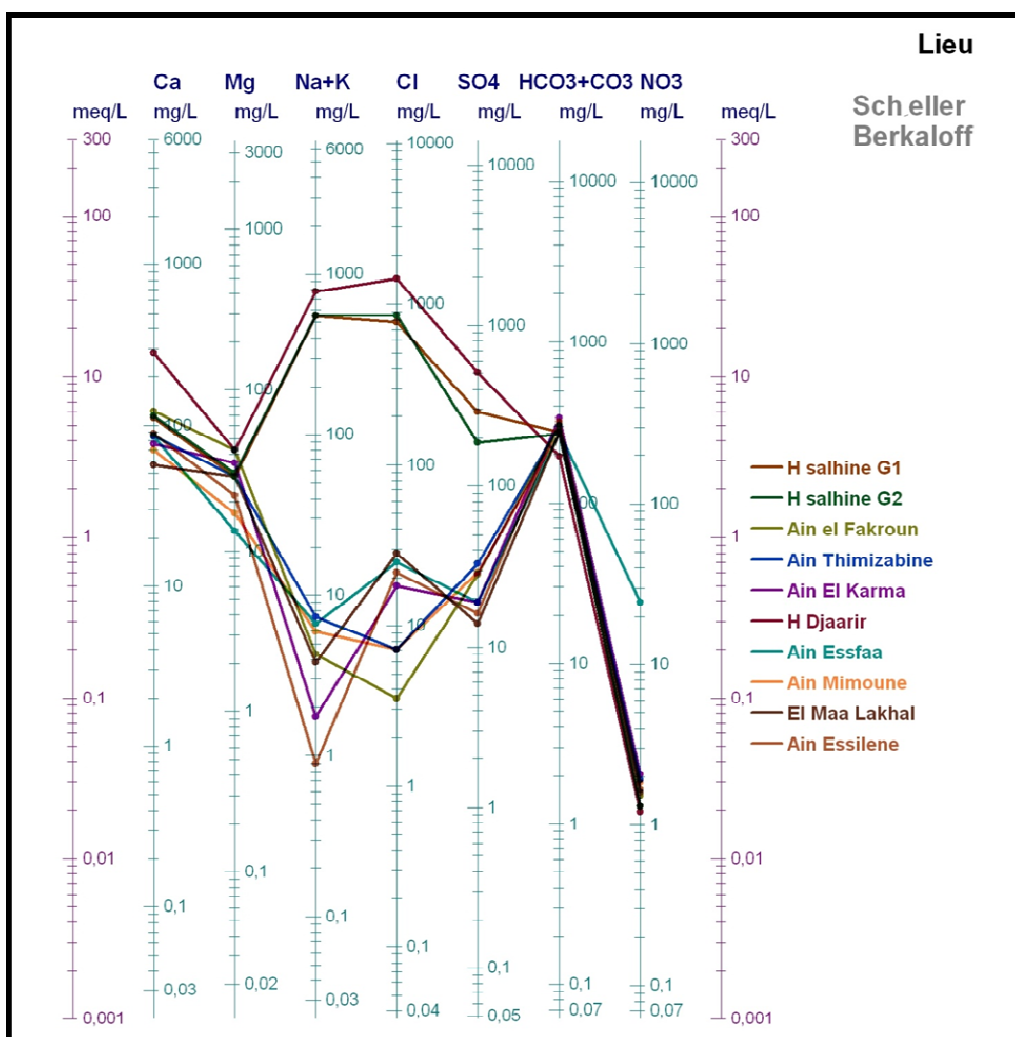


Figure 51 : Représentation sur diagramme de Schoëller Berkalov des compositions en éléments majeurs des sources d'eau de la zone d'étude

D'après le diagramme de Piper, on remarque la dominance de deux familles d'eau (faciès chimique) qui correspondent à :

- ❖ Chlorurée sodique avec une forte tendance à devenir hyper Chlorurée sodique : pour les eaux thermales (Hammam Essalhine et Hammam Djaarir).
- ❖ Bicarbonatée calcique : pour les eaux minérales (Ain El fakroune, Ain Thimizabine, Ain Elkarma, Ain Essfaa, Ain Mimoune, Al Maa Lakhhal et Ain Essilene).

Selon ces deux diagrammes (PIPER et SCHOELLER BAKALOFF) on peut dire que les eaux de source du Nord-est des Aurès sont marquées par les bicarbonates qui s'accompagnent de calcium, ceci est en liaison directe avec la présence des marnes gypseuses et des formations carbonatées notamment les calcaires et les dolomies de l'Albien.

A l'exception, les sources thermales sont marquées par les chlorures qui s'escortent de sodium ce qui explique la présence des formations évaporitiques et salifères.

IV.4. Etude de l'origine des éléments dominants

IV.4.1. Origine des éléments Ca^{+2} , HCO_3^- et SO_4^{-2}

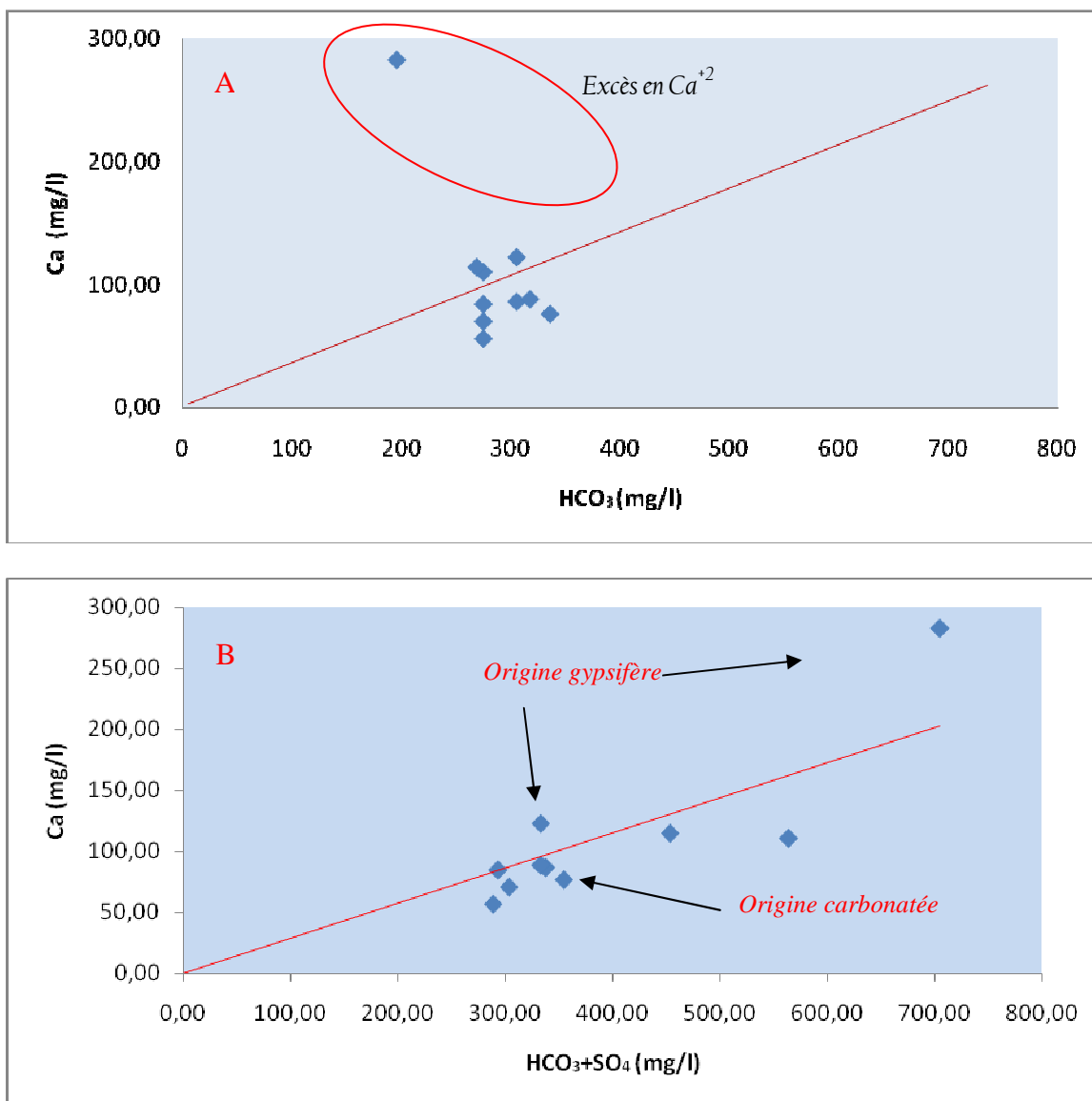


Figure 52: Détermination de l'origine du calcium

L'origine du calcium résulte de la mise en solution du gypse et des carbonates, donc la détermination de l'origine de chaque concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

D'après le graphe qui représente la concentration du calcium en fonction des bicarbonates et des sulfates (figure 52B). L'analyse de ces graphes montre que 07 échantillons sur 10 ont une origine carbonatée soit 70% de l'ensemble des échantillons.

IV.4.2. Origine des éléments Na⁺ et Cl⁻

Dans les eaux naturelles, le Sodium et les Chlorures sont souvent liés à la dissolution de l'halite (NaCl). L'évolution du sodium est étudiée en fonction de teneur des Chlorures, car ce dernier est considéré comme un traceur stable et conservatif des évaporites, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines, n'intervenant pas dans les phénomènes d'oxydoréduction et peu influencé par l'intervention des bactéries. En plus son déplacement n'est pas retardé dans l'eau.

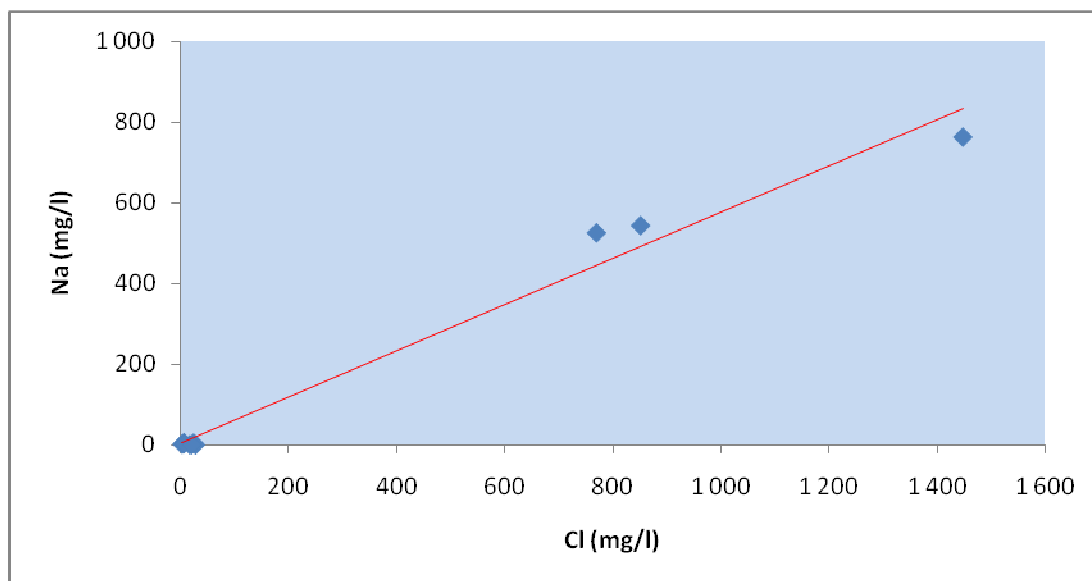


Figure 53: Détermination de l'origine du Sodium

Le rapport Na et Cl montre que sept points sur dix se trouvent sur la droite de pente égale à 1, traduisant la dissolution d'halite. Il s'agit des régions où les sources ont un caractère minéral, par contre les sources thermales montrent un excès en Na et Cl, qui s'explique par l'existence d'une autre origine pour les ions sodiques (autre que l'halite).

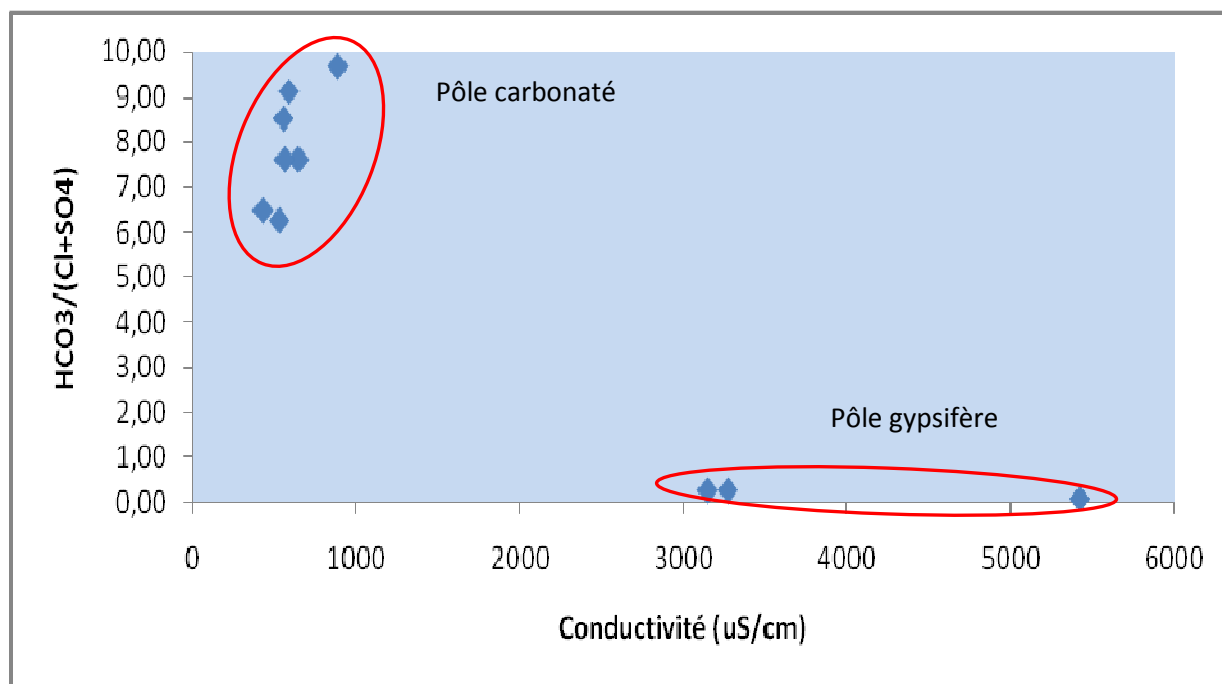
IV.4.3. Origine des éléments HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} 

Figure 54 : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique.

D'après le graphe de l'évolution des anions en fonction de la conductivité électrique, on remarque la présence de deux pôles : le premier est carbonaté et représente 70 % des points d'eau qui sont les sources d'eau minérale, il se caractérise par une dominance des ions HCO_3^- pour des conductivités inférieures à $1000 \mu\text{S/cm}$. Le second, gypsifère, représente le reste des points d'eau (30%), où les ions Cl^- et SO_4^{2-} y dominent.

Donc les points d'eau qui sont caractérisés par un faciès bicarbonaté calcique présentent des valeurs un peu faible de la conductivité électrique ($<1000 \mu\text{S/cm}$). Lorsque les eaux souterraines s'écoulent en contact avec le substratum marneux gypsifère et les dépôts évaporitiques, elles se chargent en ions Cl^- et SO_4^{2-} et acquièrent des valeurs de conductivité très importantes, comprises entre 3000 et $5000 \mu\text{S/cm}$.

IV.4.3. Origine des éléments Cl^- et SO_4^{2-}

Les deux ions sont originaires de deux formations différentes, le SO_4^{2-} provient du gypse et le Cl^- provient de la dissolution de l'halite et probablement d'une pollution anthropique. (Adapté à Gouaidia, 2008)

Afin de déterminer quel est l'élément responsable de la salinité des eaux, On a associé l'évolution de ces ions à la conductivité électrique.

L'interprétation du graphe (figure.55) a démontré que les points d'eau présente un rapport ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) supérieur à 1, indiquant ainsi la dominance des ions Cl^- par rapport à SO_4^{2-} , ce qui confirme la dominance du faciès Chloruré sodique (les 03 points d'eau thermique). Le reste des points d'eau présentent des valeurs du rapport ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) inférieures à 1, indiquant une origine gypsifère ce qui traduit la dominance du faciès Bicarbonaté calcique.

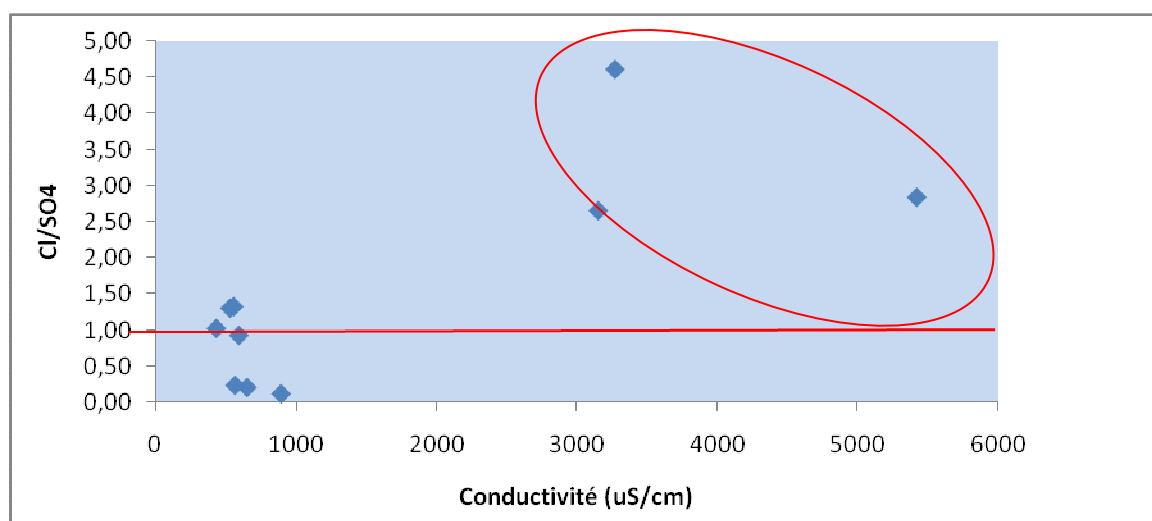


Figure 55 : Evolution des Sulfates et les Chlorures en fonction de la conductivité électrique.

IV.4.4. Conclusion

L'étude hydro-chimique des eaux des sources concernées du Nord-est des Aurès nous permet de dire que :

- Les eaux de sources thermales possèdent des valeurs de salinité élevées par rapport aux celles minérales, ce qui traduit la grande solubilité des sels à des grandes températures.
- La prédominance de l'anion HCO_3^- sur les ions : SO_4^{2-} , Cl^- et NO_3^- .
- La prédominance du cation CA^{+2} sur les ions : Na^+ , K^+ et Mg^{+2} .
- Les teneurs en éléments traces de l'ensemble des points de la zone d'étude sont variable d'un point à un autre, elles sont généralement faibles ce qui traduit une pollution négligeable.
- On remarque la présence de deux faciès chimiques caractérisant nos sources :
 - Bicarbonaté calcique pour les sources minérales, ceci est en liaison directe avec la présence des marnes gypseuses et des formations carbonatées notamment les calcaires et les dolomies de l'Albien.
 - Chloruré sodique caractérisant les sources thermales, ce qui explique la présence des formations évaporitiques et salifères.

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous avons essayé, par ce travail, d'étudier quelques sources d'eaux de l'ensemble du massif Nord-est des Aurès de la wilaya de Khenchela, afin d'attribuer une origine géologique aux eaux de ces sources.

L'aperçu hydrogéologique de la région de Khenchela montre que les formations du crétacé inférieur, moyen et supérieur peuvent offrir des possibilités aquifères très intéressantes.

L'étude hydro-climatologique a montré que la région d'étude appartienne au climat semi-aride. Le bilan hydrique de cette région est déficitaire.

Dans notre zone d'étude le climat est caractérisé par une très grande variabilité climatique, les données de mesures de **18 ans** d'observation ont donné une température moyenne annuelle de **15,75°C**, des précipitations de l'ordre de **487,96 mm/an** et une évapotranspiration réelle de **487.19 mm/an**. Le ruissellement ne représente que **10,79%** des précipitations, ce qui représente **52,64 mm**.

L'étude hydro-chimique a fini par attribuer l'origine évaporitique à certains éléments comme le Sodium (Na) et les Chlorures (Cl), et une origine issue de l'altération des formations carbonatées et évaporitiques des éléments comme le Magnésium (Mg) et le Calcium (Ca).

L'étude des ions majeurs montre que les teneurs des différents éléments chimiques sont presque conformes aux normes. La représentation graphique des résultats des analyses par le diagramme de Piper a donné deux faciès chimiques (Nom chimique des eaux) : Chloruré sodique pour les sources ayant un caractère thermale, et Bicarbonaté calcique pour le reste des sources minérales.

L'étude des éléments mineurs ou en trace qui sont représentés par des teneurs généralement faibles, nous confirme que le taux de pollution est négligeable, ce qui nous permet d'utiliser ces eaux de sources à des fins bénéfiques.

En matière de potabilité, toutes les sources d'eau étudiées sont admissibles à la consommation humaine parce qu'elles respectent les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Sauf les sources thermales qui présentent des teneurs élevées en Sodium, Potassium, Chlorures et Sulfates.

Le traçage chimique de ces eaux de source par l'étude de l'origine des éléments chimiques (cations et anions) qui se résultent lors de l'acheminement de l'eau en profondeur, et l'altération des roches qui construisent le substratum, nous permet d'avoir une idée concernant l'origine de toutes les eaux de sources du massif Nord-est des Aurès, et qu'on peut proposer que cette origine est météorique, et vu que le bilan hydrique de la région est déficitaire, et que ces sources sont pérennes, nous émettons l'hypothèse que la ne peut être que les monts de Chélia.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ATHAMENA M.(2006) : Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud Sétifien. Mémoire de Magister. Départ. Hydraulique. Univ. Batna.130 pages.

CEAE. (Québec) : Centre d'expertise en analyse environnementale.

CENEAP. (2009): plan d'aménagement et de développement durable de la wilaya de Khenchela ; phase n°1 : rapport n°2 évaluation territoriale « bilan critique-problématique d'aménagement ». Direction De L'environnement

CENEAP. (2009): Schéma De Cohérence Urbaine De La ville De Khenchela, Direction De L'environnement -Rapport Final

DIBH. (2008) : guide pratique des sources thermales de l'Est algérien ; mémoires du service géologique national ANGCM, Alger 2008.105p.

DIB. (2009) : impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine, Ain Yaghout (Est Algérien), mém. de magister en hydraulique, Batna, 110p.

DJEBAILI S. (1984) : Steppe Algérienne, phytosociologie et écologie, OPU, Alger, 177p

EMSALEM R. (1989) :Climatologie générale, tome 1, édition ENL, Alger, 487 p

EXTRAIT DU DICTIONNAIRE DE L'ACADEMIE FRANÇAISE, 8^{ème} édition, 1932-1935.

GAUMEE. (2002) :Hydrologie de versants et de bassins versants et modélisation pluie-débit,Édition, Ecole nationale des ponts et chaussées, France, 71 p.

GOUAIDIA L. (2008) : influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien. Thèse de Doctorat. Départ. Géologie. Uni. Annaba. 130 p.

GUENDOUZ A. (2005): Application des techniques nucléaires et hydrogéochimiques à l'étude des nappes profondes du bassin sédimentaire du Sahara Septentrional. Implication pour la gestion des ressources en eau. Thèse de Doctorat d'Etat en Génie rural, Spécialité Sciences de l'eau, Université Saad Dahlab, Blida.

GUIRAUD R. (1990) : évolution post-triasique de l'avant pas de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines-Mémoires n° 3. Publication de l'Office national de la géologie.

HALIMI A. (1981) : L'atlas blidien « climat et étages végétaux », OPU, Alger, 623p.

HOUHA B. (1996) : Qualité des eaux de khenchela, étude hydro-chimique thèse de magistère, uni. D'Annaba.120p.

HOUHA B. (2007) : Etude de fonctionnement hydrogéochimique et isotopique des eaux de khenchela, thèse doctorat en hydrogéologie, uni. D'Avignon (France).140p.

ISSAADI A. (1992): Le thermalisme dans son cadre géostructural, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algérie et de ses ressources géothermales. Doctorat d'état. IST. USTHB. Alger.274 p.

KHABTANE A. (2010) : contribution à l'étude du comportement écophysologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela. Mém. de Magister. Départ. De Biologie et écologie. Uni. Batna, 125 pages.

LADLANII. (2007) : Contribution à la gestion optimale de la ressource en eau mobilisée «choix de formule empirique pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle "ETP" dans les régions de Tébessa et Annaba» thèse du magister, l'université de Batna, 174 p

LAFFITTE R. (1939) : Etude géologique de l'Aurès Bull. Serv. Géol. Algérie, N° 15,451p.

MUSY et Al. (2001) : Cours d'hydrologie appliquée. Edition HGA, Bucarest.

OMS. (1994) : Directive pour la qualité de l'eau de besoin ; volume I, recommandation.

L'OFFICE NATIONAL DE METEOROLOGIE (OMN) DE KHENCHELA

RAMADE F. (2002) :Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau, Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales, 800 p

RODIER J. (2009) : l'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Dunod ; 1526 p.

SELTZER P. (1946): Climat d'Algérie. Travaux I.M. P. G. Alger.219p

VALLES V. (1985) : Etude et modélisation des transferts d'eau et des sels dans un sol argileux. Application au calcul des doses d'irrigation. Thèse Doct. De l'institut national polytechnique de Toulouse.

VALLES V: Cours sur les eaux thermales université d'Avignon.

VANDEGANS J., HOENIG M.: Spectrométrie d'absorption atomique Techniques de l'Ingénieur, traité Analyse et Caractérisation PE 2 825 Page 4.

VILA J.M. (1977) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat Es Sciences Naturelles. Université Paris VI. 665 p.

Annexes

Annexe I:

1. Les valeurs des précipitations : (Source : Station Météorologique Khenchela)

Précipitation	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	sept	oct.	nov.	déc.	P.moy. an.
1994	38	23	29	12	7	10	30	3	41	77	31	26	27,25
1995	98	1	24	42	3	95	16	58	129	38	21	18	45,25
1996	141	102	79	59	16	22	01	36	19	19	6	11	49,10
1997	27	9	17	29	54	9	22	38	73	50	75	55	38,17
1998	6	31	61	59	57	28	00	30	44	34	42	21	37,55
1999	48	14	23	21	64	30	17	86	26	42	89	56	43,00
2000	10	4,4	14,6	10,3	81	60	1,2	9,7	47,2	34,7	17	20,8	25,91
2001	17,8	15,4	4,3	32,4	97,4	1,4	6,5	16,5	81	26,6	38,7	19,4	29,78
2002	9,9	14,9	12,1	26,9	22,2	13,1	27,4	128,6	28	20	84,5	29,5	34,76
2003	110	66	26,2	88,8	17,6	41,7	11	5,9	37,9	81,8	19	44,3	45,85
2004	29	3,9	41,8	53,6	141,7	66,2	5,2	14,5	24,6	15	112,5	110,6	51,55
2005	5	43	35,9	36,4	14,9	46,1	10,8	19,9	42,2	43,2	24,8	46,4	30,72
2006	88,7	43,1	10,5	46,7	148,7	11	41,1	47	22,2	36,6	11,9	76,2	48,64
2007	8,1	17,4	103	76,7	30,4	38,1	12	20,7	122,4	16,8	13,4	49,1	42,35
2008	23,1	7,7	24,8	14,5	102,7	5,6	26,8	57,8	93,7	96,2	15,2	48,5	43,05
2009	145,3	17,8	74,9	145	53,4	6,7	20,7	29,7	72,7	17,9	3,6	23	50,86
2010	30,1	15	15,5	84	87,4	25,3	17	42,7	70,6	36,7	73,2	31,6	44,09
2011	26,9	86,2	98,8	64,3	128,5	57,6	28,1	14,4	18,1	64,9	13,2	42,3	53,6
P.moy. mens.	49,12	25,21	35,10	49,23	58,73	29,95	17,65	37,88	57,32	41,66	39,87	40,38	478,69

2. Les valeurs des températures : (Source : Station Météorologique Khenchela)

Temp	jan	fév.	mars	avril	Mai	juin	juil.	aout	sept	oct.	nov.	déc.	T°.moy.an.
1994	6,7	7,8	9,7	10,3	20,4	23,1	26	28,2	22,4	16,2	12,5	7,9	15,93
1995	8,4	9,8	8,5	11,2	18,3	22,3	25,9	24,3	20,8	15,9	11,6	9,1	15,51
1996	8,5	5,9	9,3	11,9	16,6	19,6	24,9	26,5	20,5	14,9	11,9	9,7	15,02
1997	8,1	9,8	9,4	12,4	20,3	26,2	26,9	24,9	20,4	16,5	11,2	8,2	16,19
1998	6,7	7,9	9,2	13,9	16,4	23,5	27	26,8	23,2	15,1	10,3	6,2	15,52
1999	7,1	5,3	10,1	14,5	21,7	25,8	26,5	29,5	23,3	19,4	10,2	6,6	16,67
2000	4,3	8	11,4	15,8	20	22,2	27,1	26,3	22,1	15,6	12,4	9,2	16,20
2001	7,8	7,6	15,7	13,5	18,1	23,9	28,2	26,4	21,9	20,7	11	6,3	16,76
2002	6,3	9,1	11,8	14,3	18,7	24,2	26,2	25	20,8	17,7	11,6	8,8	16,21
2003	6,4	5,7	9,6	13,7	18,2	24	28,6	26,9	21,2	18,8	11,3	6,6	15,92
2004	6,7	9,3	11,3	12,4	14,9	21,1	25,5	27,3	20,8	20	9,1	6,8	15,43
2005	4,2	4,4	10,8	13,3	19,8	23,2	27,5	22,7	18,3	17,2	11,3	6,1	14,90
2006	4,3	6,4	11,2	15,9	20,05	24,1	25,5	24,5	20,4	9,5	12	7,1	15,08
2007	8,3	8,8	8,4	12,8	17,8	25	26,3	26,3	21,4	16,8	10,1	6,6	15,72
2008	7,2	8,1	10,2	14,7	18,7	22,3	28	26,5	21,7	16,2	9,1	5,8	15,71
2009	6,2	5,8	9,1	10,2	16,8	22,7	28,1	26	20	15,4	12,5	10,3	15,26
2010	7,4	9,7	11,9	14,9	16,2	22,7	26,3	26,4	21,2	16,4	11,1	8,8	16,08
2011	7,8	6	9,2	14,2	16,3	21,1	26,8	26,5	23,4	15,3	11,5	7,4	15,46
T°.moy.mens.	6,74	7,61	10,45	13,28	18,41	23,29	26,74	26,15	21,20	16,61	11,13	7,65	15,77

Annexe II:

LES METHODES DE MESURE DES PARAMETRES PHYSIQUES IN-SITU :

(MANUEL CONSORT ; 2006)

- **La méthode de mesure de la température:**

1. On appuie sur MODE pour lire la température.
2. Quand aucun Pt1000 (sonde de température) n'est branché la valeur standard de 25°C apparait, on corrige la compensation manuelle de la température et on continue en appuyant sur MODE. Pour étalonner, il faut appuyez sur CAL.
3. Pour l'étalonnage on plonge le Pt1000 dans une solution de température connue. On choisit ETALONNER et on appuie sur CAL. On programme la valeur désirée et puis on appuie sur CAL ou sur MODE pour retourner en mesures absolues.

- **La méthode de mesure du PH:**

1. On Sélectionne la gamme de pH en appuyant sur MODE. L'affichage indique immédiatement la valeur mesurée selon l'étalonnage précédent. Pour étalonner, on appuie sur CAL.
2. L'affichage indique deux des 9 tampons en mémoire, [7.00] et [4.00]. On choisit les propres tampons et on appuie sur CAL. On Met le tampon non utilisé hors service.
3. On rince les électrodes avec de l'eau distillée et on immerge les dans le premier tampon. On choisit ETALONNER, on appuie sur CAL et on suit les instructions sur l'écran.
4. On rince les électrodes avec de l'eau distillée, on immerge les dans la solution à mesurer et on lit la valeur donnée.
5. Après usage, on rince toujours les électrodes avec de l'eau distillée.

- **La méthode de mesure de la conductivité électrique:**

1. On sélectionne la gamme de conductivité (μ S/cm) en appuyant sur MODE. L'affichage indique immédiatement la valeur mesurée selon l'étalonnage précédent. Pour étalonner, on appuie sur CAL.
2. L'affichage indique un des 3 étalons en mémoire, on choisit le propre étalon et on appuie sur CAL. Il faut aussi choisir la température de référence à laquelle toutes les futures mesures seront référées.
3. Après l'avoir rincée avec la solution étalon, on plonge la cellule dans cette solution. La température de la solution n'est pas importante mais elle doit être entre 0°C et 30°C. Il ne faut jamais oublier de compenser manuellement la température, si on n'utilise pas le Pt1000! on choisit ETALONNER, on appuie sur CAL et on suit les instructions sur l'écran.
4. Après avoir rincé plusieurs fois la cellule avec la solution à mesurer, on plonge la dans cette solution et on lit la valeur donnée par l'appareil.
5. Après usage, il faut rincer toujours la cellule et immerger la dans de l'eau distillée (ajoutez un peu de détergent pour bien conserver la surface de platine dans une condition optimale).

- **La méthode de mesure de la TDS et la salinité:**

1. On sélectionne la gamme de TDS (mg/l) et la salinité (SAL) en appuyant sur MODE. L'affichage indique immédiatement la valeur mesurée selon l'étalonnage précédent.
2. Pour étalonner, on appuie sur CAL, et on poursuit comme pour la conductivité.