

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique



Université Abbès Laghrou Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature Et de la Vie
Département d'écologie et environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : science écologiques

Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée

THÈME

*Comportement hydrochimique origine et la
minéralisation de quelques sources d'eaux du
pourtour du massif des Aures*

Présenté par:

- LAGHROUR MARAM HOUDA
- BENAANTAR KARIMA

Devant le jury :

Présidente : OUNES M. (MAA) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

Encadrante : HOUHA B. (Professeur) Univ. Abbès Laghrou - Khenchela

Examineur : SEDRATI A. (MCB) Univ. Abbès Laghrou- Khenchela

Année universitaire : 2020/2021

سورة التوبة

REMECRIEMENT

Au terme de ce travail nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé et le pouvoir d'accomplir ce modeste travail.

*Ensuite notre profonde gratitude s'adresse à monsieur **HOUHA BELGACEM**, notre encadreur, Professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie, université de khenchela. Qui a bien voulu assurer un encadrement continu et rigoureux de ce travail. Ses conseils, ses compétences scientifiques ont contribué à l'aboutissement de ce travail.*

Nous voudrions remercier les membres de jury

*Docteur **OUANAS.M et SEDRATI.A** de nous faire l'honneur de lire et d'évaluer notre travail.*

*Un grand merci à tous les enseignants du département de biologie et à leur tête **MONSIEUR BOULABAIEZ MAHREZ, MONSIEUR BADIS ZAKARIA et MONSIEUR BOUGHANEM MONCEF** pour nous avoir guidé et soutenu et encourager.*

Enfin nous remercions très sincèrement nos familles et tous nos amis et collègues de nous avoir soutenus tout le long de notre travail.



MARAM et KARIMA

Dédicace

Je dédie cette thèse à:

*Mes très chers parents **Abdallah et sousou**. Pour leur compréhension, leur nombreux sacrifices consentis, pour leur patience, leur grand amour et leur confiance en moi.*

En témoignage de mon affection et ma reconnaissance.

Pour tout ce qui'il ont fait pour mon bonheur et ma réussite.

*À mon meilleur enseignant **pr. Houha Belgacem***

*À mes frères «**Redouane**», «**louai**»*

*À ma petite princesse «**Ansam**»*

*À ma sœur et ma meilleure «**imen**»*

*À mon binôme ma coukise «**karima**»*

*À mes tantes «**Touba et Salima**»*

*À mon oncle «**messaoud**»*

*À mes cousine «**Ikram**» «**Zhour**» «**Aya**» «**Ghofrane**» «**Khadija**» et «**Jouri**»*

*À mes chères ami(e)s «**Amani**» «**Chaima**» «**Norheinne**» «**Nada**» «**Racha**» «**Abir**» «**Naima**» .*

A tous ceux qui me sont chers

Maram

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*À ma mère NADHIRA , aucun mot ne pourrait la gratitude et l'amour que
je te porte .*

*Tu as fait de moi ce que je suis aujourd'hui .Que dieu te garde a moi.
Gros bisou à toi*

*À mon meilleur enseignant **Pr. Houha Belgacem***

*À mes frères: **Abdalolah amine, Mohamed Rabeh et amor Abd-el-adel***

*À mon oncle **Azzedine***

*À mes cousine **Asma et Souhila***

*À mon amie de toujours **Amani Lina***

*À mon binome et ma melleure **Maram***

*À mes cher(e) s ami(e) et camarades **imen Racha soundes
asma okba amine houssem jimmy sabri ramzi norheinne et chaima***

*En souvenir des agréables moments passé ensemble ca c'est
passé csi vite.... je vous oublierai jamais vous etes ma deixième famille je
vous aime*

À tout ceux qui ont été la quand j'avais besoin merci à vous !

karima

SOMMAIRE

	Page
Table des matières	
ملخص	
Résumé	
Abstract	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Première Partie : Présentation du secteur et contexte géologique régional	
Chapitre 1 Cadre géologique et hydrogéologique	
I. présentation du secteur étudié	4
II. Cadre géomorphologique et structural	4
II.1. cadre géomorphologique	4
II.2. cadre structural	8
II.2.1. Le domaine Atlasique	8
II.2.2. cassures et flexures	8
II.2.3. Localisation et age de mise en place des pointements triasique	11
II.3. Réseau hydrographique	12
III. Géologie	13
III.1. cadre géologique	14
III.1.1. Lithostratigraphie	14
III.1.2. Trias	14
III.1.3. Le crétacé	15
III.1.3.1. Crétacé inférieur	16
III.1.3.1.1. Barrémien- Aptien	16
III.1.3.1.2. Albien	16
III.1.3.2. Crétacé supérieur	17
III.1.3.2.1. Génomaniens	17
III.1.3.2.2. Turonien	17
III.1.3.2.3. Sénonien	18
III.2. Les formations Géozopique	18
III.2.1. Le Néogène	18
III.2.2. Quaternaire	19
IV. Cadre Hydrogéologique	20
IV.1. Lithologie de l'aquifère	20
IV.1.1. Substratum	20

	IV.1.2. Terrains Néogène	21
	IV.1.3. Le polio-Quaternaire	21
	IV.2. Aquifères du pourtour Auresie	22
	IV.3. Les principaux aquifères	22
	V. dentification de la topologie des nappes aquifères du bassin de Remila	23
	V.1. Lithologie et age des formation	23
	V.1.1. Aquifère superficiel	23
	V.1.2. Aquifère profond	24
	conclusion	
	Partie II :	
Chapitre 2	Cadre climatique	
	introduction	28
	I.1. Aperçu générale sur le climat de l'algérie et de la région d'étude	29
	I.2. Les paramètres climatique	29
	I.2.1. Précipitation	29
	I.2.2. Température	33
	I.3. Diagramme ombrothermal de BAGNOULS et GAUSSEN	34
	I.3.1. Le climagramme d'emberger	35
	I.3.2. Indice d'aridité de De. Martonne	36
	I.4. Bilan hydrologique	37
	I.4.1. L'évaporation	37
	I.4.2. Evapotranspiration potentielle	38
	I.4.2.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle	38
	I.4.2.2. La formule de THORNTWAIT	38
	I.4.3. Calcule de l'évapotranspiration réel	39
	I.4.3.1. Méthode de TURC	39
	I.4.3.2. Méthode de THORNTWAIT	39
	I.4.4. Interprétation du bilan hydrique	42
	Conclusion	
	Partie III :	
Chapitre 3	Hydrochimie et qualité des eaux souterraine	
	Introduction	48
	I. Matériel et méthodes	50
	I.1. prélèvement	50
	I.1.1. considération générales sur l'échantillonnage	50
	I.1.2. Les étapes de l'échantillonnage	50
	I.2. Techniques de mesures et d'analyses in situ	52
	I.3. étude analytique des paramètre physico-chimique	53
	I.3.1. mesure de température	54
	I.3.2. mesure de potentiel d'hydrogène (ph)	55

I.3.3. mesure de la conductivité électrique (CE)	56
I.4. mesure en laboratoire des éléments chimiques majeurs	57
I.4.1. Les anions	57
I.4.2. Les cations	59
I.5. Le faciès chimique des eaux échantillonnées	60
I.6. Diagramme de piper	61
I.7. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	62
I.8. Relation binaires	63
I.8.1. Relation des éléments majeurs en fonction du chlorure	63
I.8.2. Rapport caractéristiques des éléments majeurs	64
I.9. Etat de saturation	66
I.10. Analyse en composantes principales ACP	68
I.11. Interprétation de l'ACP	72
I.12. Qualité des eaux d'irrigation	73
I.12.1. Risque de salinité (salinisation des sols)	73
I.12.2. SAR	74
I.12.3. L'alcalinisation des sols (excès en sodium)	74
I.12.4. Amplitude des eaux du bassin versant du nord des Aurès à l'irrigation	75
I.13. Diagramme de Riverside	77
conclusion	
Conclusion générale	

Liste des figures

N° figure	Titre	N° page
Figure 1	Description du relief de l'Algérie Septentrionale	4
Figure 2	Carte géographique et géologique du bassin de Rémila	5
Figure 3	Cadre géographique et géologique	7
Figure 4	Localisation des principaux ensembles géomorphologique du Nord de L'Algérie et de la Tunisie	8
Figure 5	Cadre structural simplifié du bassin de Rémila	11
Figure 6	Réseau hydrographique et distribution des agglomérations urbaines	13
Figure 7	Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de L'Aurès	15
Figure 8	Unités hydrogéologiques dans les Aurès	21
Figure 9	Variation des précipitations annuelles	31
Figure 10	Variation mensuelle des précipitations	32
Figure 11	Variation des Températures mensuelle	33
Figure 12	diagramme ombrothermique (1994-2020)	34
Figure 13	Projection de la zone d'étude dans le climagramme d'EMBERGER pour la station d'el-Hamma	36
Figure 14	valeurs des températures des eaux du sous bassin versant du massif des Aures (juin 2021)	55
Figure 15	valeurs de pH des eaux du sous bassin versant du massif des Aures (juin 2021)	55
Figure 16	valeurs de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)des eaux du sous bassin versant du massif des Aures (juin 2021)	57
Figure 17	classification des eaux selon diagramme de piper	61
Figure 18	représentation graphique des faciès chimiques sur diagramme de Scholler-Berkaloff	62
Figure 19	Relation entre les éléments majeurs et les chlorures	64
Figure 20	Rapport caractéristique entre les éléments majeurs	66
Figure 21	Variation de l'indice de saturation des minéraux	68
Figure 22	valeurs propre	70
Figure 23	ACP. Espace des variables et espace des individus F1-F2	71
Figure 24	ACP. Espace des variables et espace des individus F1-F3	72
Figure 25	Diagrammes de RIVERSIDE	78

Liste des tableaux

N° tableau	Titre	Page
Tableau 1	coordonnées de la station météorologique El-Hamma (1994-2020)	29
Tableau 2	la variation des précipitations annuelles (1994-2020)	30
Tableau 3	moyenne mensuelle des précipitations (1994-2020)	31
Tableau 4	Moyennes mensuelles et annuelles des températures (1994-2020)	33
Tableau 5	Bilan hydrologique des eaux du bassin versant de Rémila-khenchela. (1994-2020)	41
Tableau 6	Résultats des analyses chimiques des eaux du massif du pourtour des Aurès	53
Tableau 7	Evolution des indices de saturation des minéraux	67
Tableau 8	Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R	76

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des abréviation et des paramètres

AB : Ain Babar

AM : Ain Mimoun

AK : Ain chabor 1

AK2 : Ain Knif

AT : Ain Nsigha

CH : Ain chabor 2

a : coefficient en fonction de l'indice I

ACP : l'analyse en composantes principales.

AWC : Agence National des Ressources Hydrauliques.

C° : Celsius .

Ca : Concentration de l'eau en ions calcium.

Ca⁺⁺ : calcium.

CE : la conductivité électrique.

Cl : le chlore .

CaCO₃ : carbonate de calcium.

CaSO₄ : sulfate de calcium.

DA : Déficit agricole.

ETP : l'évapotranspiration potentielle (mm).

ETR : l'évapotranspiration réelle (mm).

Ex : l'excédent.

GPS : Le Global positioning System.

i : indice thermique mensuel.

I : l'infiltration moyenne annuelle.

IAP : produit d'activité ionique.

IS : le degré de saturation.

K : coefficient de correction ; qui dépend du temps et de l'altitude.

K⁺ : potassium.

KSP : la constante d'équilibre thermodynamique.

L'USSLS : Unites States Salinity Laboratory.

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

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

Mg : magnésium.

Na : sodium.

OMM : organisation météorologique mondiale.

P : précipitation.

Ph : potentiel d'Hydrogène.

Q : le quotient pluviométrique d'emberger.

R : ruissellement.

RAS : le ratio d'absorption du sodium.

RFU : la réserve facilement utilisable.

SAR : le rapport d'adsorption du sodium.

SO₄⁻⁻ : sulfates.

S/m : siemens par mètre.

T : température.

TDS : la concentration en sel millimhos

RESUME

Le présent travail a pour objet dévaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines par l'analyse des paramètres majeurs de quelques sources d'eaux du pourtour du massif des Aures - NE Algerien (qui est une zone caractérisée par son climat semi-aride et ses formations sédimentaires très hétérogènes) et la détermination de l'origine de la minéralisation Pour étudier et comparer la répartition spatiale des résultats. Les résultats issus de ces analyses ont été traités à l'aide des techniques hydrochimique (diagramme de piper) et à l'aide de l'analyse statistique multi variée dont l'analyse en composantes principales (ACP), qui montre que les eaux de notre région d'étude évoluent depuis le pole chloruré sodique vers un faciès majeur de type chloruré calcique. Les eaux des sources et forages étudiés, de par leurs composition chimique pratiquement constante dans le temps, présentent un faciès stable « Chlorurée calcique ». La dominance du faciès chloruré calcique . Permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions Cl^- et Ca^{++} . Aussi Le calcul de l'indice de saturation des différents minéraux dans l'eau indique que seuls les minéraux carbonatés ont tendance à précipiter. Par contre, les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous saturation, donc en état de dissolution.

Mots- clés: Aurès, minéralisation, ACP, faciès chimique, indice de saturation.

ABSTRACT

The purpose of this work is to assess the physico-chemical quality of groundwater by analyzing the major parameters of some water sources around the Aures massif - NE Algerien (which is an area characterized by its semi-arid climate and its very heterogeneous sedimentary formations) and the determination of the origin of the mineralization. For study and compare the spatial distribution of the results. The results from these analyzes were processed using hydrochemical techniques (piper diagram) and using multivariate statistical analysis including principal component analysis (PCA), which shows that the waters of our region of study evolves from the sodium chloride pole towards a major facies of the calcium chloride type. The waters of the sources and boreholes studied, by virtue of their chemical composition which is practically constant over time, present a stable "calcium chloride" face. the dominance of the calcium chloride facies. allowing to say that the mineralization of water is linked to the Cl^- and Ca^{++} ions. Also the calculation of the saturation index of different minerals in water indicates that only carbonate minerals tend to precipitate. On the other hand, evaporitic minerals are always in a state of under saturation, therefore in a state of dissolution.

Keyword: Aurès, mineralization, PCA, chemical facies, saturation index.

ملخص

الغرض من هذا العمل هو تقييم الجودة الفيزيائية و الكيميائية للمياه الجوفية من خلال تحليل العوامل الرئيسية لبعض مصادر المياه حول سلسلة الأوراس شمال شرق الجزائر وهي منطقة تتميز بمناخها شبه الجاف والتكوينات الرسوبية غير المتجانسة وتحديد أصل التمعدين لدراسة ومقارنة التوزيع المكاني للنتائج.

تمت معالجة نتائج هذه التحليلات باستخدام تقنيات هيدروكيميائية مخطط بايبر وباستخدام التحليل الإحصائي متعدد المتغيرات بما في ذلك تحليل المكون الرئيسي PCA والذي يوضح أن مياه منطقة الدراسة الخاصة بنا تتطور من قطب كلوريد الصوديوم نحو أوجه رئيسية من الكالسيوم نوع كلوريد إن مياه المصادر والأبار المدروسة بحكم تركيبها الكيميائي الثابت علمياً بمرور الوقت، تقدم وجهاً ثابتاً " كلوريد الكالسيوم هيمنة شحنة كلوريد الكالسيوم .السماح للقول أن تمعدن الماء مرتبط بأيونات Ca^{++} و Cl^{-}

كما يشير حساب مؤشر تشبع المعادن المختلفة في الماء إلى أن معادن الكربونات فقط هي التي تميل إلى الترسيب .من ناحية أخرى، تكون المعادن المتبخرة دائماً في حالة من عدم التشبع، وبالتالي فهي حالة إنحلال.

الكلمات المفتاحية: الأوراس، التمعدين ، ACP السحنات الكيميائية ،مؤشر التشبعي



Introduction

INTRODUCTION GENERALE

- Introduction générale

L'eau est l'un des éléments essentiels du développement durable à cause de son importance dans la vie et sans cet élément la vie serait impossible car c' est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique, depuis l'aube de l'humanité. (Tellil et kattoum . 2016)

En Algérie, la demande en eau que ça soit pour l'AEP , l'agriculture ou l'industrie ne cesse de croître et devient de plus en plus difficile à la satisfaire à cause de l'accroissement de la population accompagné du phénomène de pollution tout azimutes, de la rareté de la ressource de surface, des périodes de sécheresse longues et récurrentes et de la dualité climatique entre le Tell au Nord et le Sahara, du changement climatique et de la ,position de la zone des hauts plateau compartimenté entre les deux Atlas, Tellien au Nord et saharien au sud qui font d'elle une zone étouffée et tarie.

La pollution l'eau et le changement climatique sont les deux fléaux qui pesant par leur poids sur la quantité et la qualité des ressources en eau. Ceci obligé les décideurs à construire des ouvrages hydrauliques pour stocker les eaux des précipitations, mais pour satisfaire les besoins des différents secteurs, il est impératif de protéger cette eau contre toutes formes de pollution (industrielle, agricole...). (djeloul et saidi.2017)

Le but de ce travail est une étude hydrochimique de six sources et neuf forages du pourtour du massif des aures- kenchela :

. Ain chabor 1	. Forage BA	
. Ain chabor 2	.F 1	.F6
. Ain Babar	.F 2	.F7
. Ain nsigha	.F3	.F8
.Ain Moumna	.F4	.F9
. Ain Knif	.F5	

Le manuscrit est structuré en quatre principaux chapitres qui sont précédées par une introduction qui décrit la problématique du sujet, les objectifs visés dans cette étude et les méthodes méthodologiques utilisées pour mener à bon port cette étude.

Pour réaliser cette étude , nous avons adopté la méthodologie suivante :

INTRODUCTION GENERALE

Dans le premier chapitre nous avons abordé la géologie afin de voir l'influence de la lithologie sur la qualité des eaux souterraines.

Dans le deuxième chapitre nous avons abordé le côté hydroclimatologique qui permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant les eaux souterraines.

Dans le troisième chapitre nous avons achevé notre travail par une étude hydrochimique de la qualité de huit sources d'eau souterraines.

Nous avons réalisée une étude statistique par couplage, chimie, géologie et climat afin de discriminer et de hiérarchiser les processus qui sont responsables à l'acquisition de la minéralisation des eaux

L'analyse statistique multidimensionnelle des données nous a permis de regrouper les famille d'eau et de définir l'origine de leur salinité

Approche méthodologique

Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie couplant des approches hydrogéologique, climatique et hydrogéochimique a été développée pour :

- Définir les grandes formations géologiques susceptibles de jouer un rôle hydrogéologique en aquifère, par l'identification de la typologie des nappes, profondes et superficielle conformément à leurs structure et texture, homogène et /ou hétérogène.
- Étudier les paramètres du climat afin de statuer sur le bilan hydrologique à savoir, excédentaire ou déficitaire
- Caractériser les faciès chimiques des eaux souterraines du système aquifère, comprendre les processus de minéralisation des eaux, établir les interactions eau-roche et aussi l'origine de la salinité des eaux.



Première partie

CHAPITRE 1

**Cadre géologique et
hydrogéologique**

Présentation du secteur étudié

La wilaya de Khenchela est située au Nord-Est algérien dans la région des Aurès (Fig I-1 et 1-2). Khenchela est bâti sur le bord de la face libre du plateau, une sorte de belvédère d'où l'on domine la vaste plaine de Rémila qui s'étend immédiatement au Nord du massif des Aurès à la latitude 35° 26/ 9N et à la longitude 7° 8/ 36 E, sur une superficie de près de 1800 km². Le bassin de Rémila est situé dans les hautes plaines steppiques, entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas Saharien au Sud, c'est un bassin hydrologique endoréique centré sur une dépression fermée de 200 km², Sebkhha de Garâat- et-Tarf.

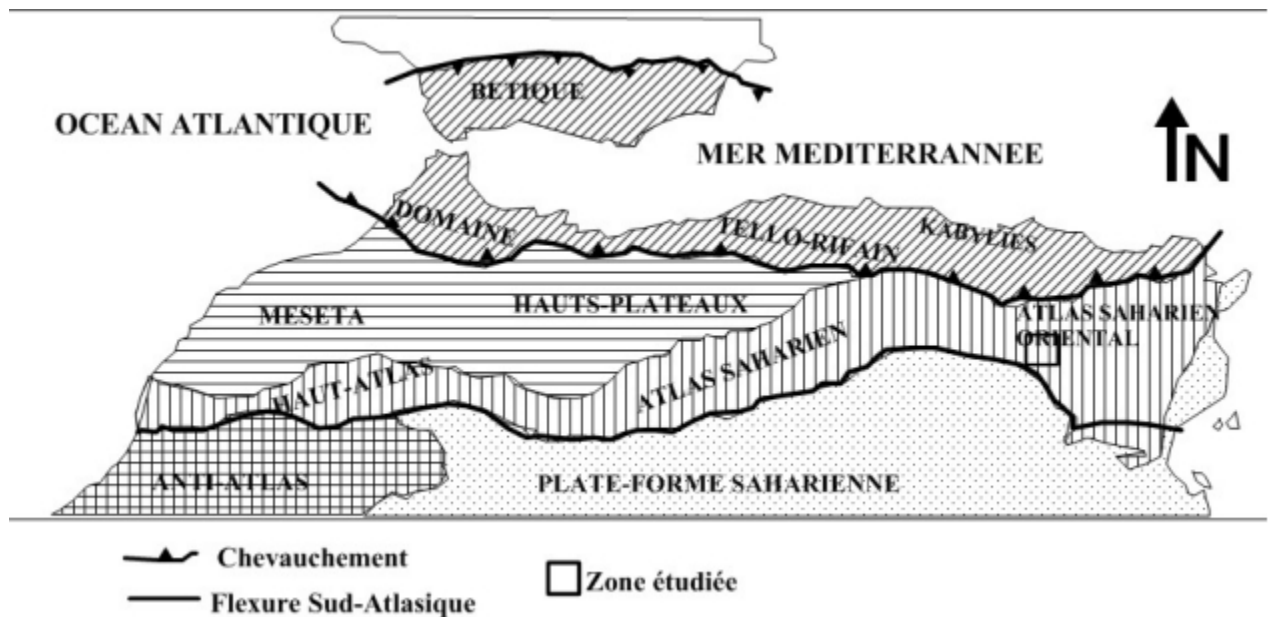


Figure.1.1: Description du relief de l'Algérie Septentrionale

Les limites de la région étudiée correspondent :

- Les sources sont situées sur au Sud, les reliefs crétacés des Aurès : les Djebels Aidel (1300 m), Aourès (1600m) et Chélia (2308m)

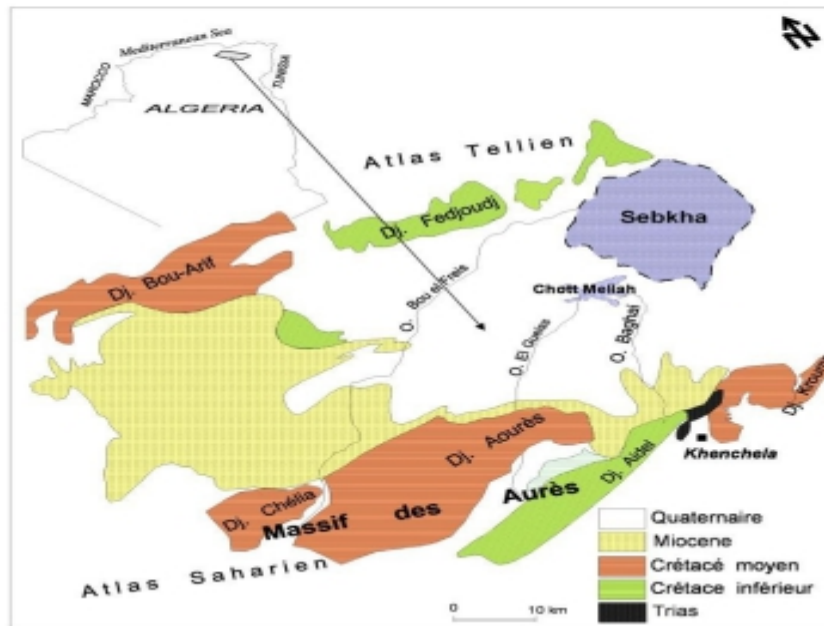


Figure.1.2: Carte géographique et géologique du bassin De Rémila (houha 2007)

Par ailleurs, cette vaste région est divisée par les oueds, El-Gueiss et Boufrais, en deux sous bassins aux mêmes reliefs (fig. 1-2.). En effet, on distingue le sous bassin de Boufrais 600 Km² située à l'Ouest du bassin, occupé au Sud par Djebel Chélia, et le Nord est une vaste plaine ; du sous bassin d'El-Gueiss de 500 Km², limité au sud par Djebel Aidel et Aourès et au Nord s'étend sur une pénéplaine

II. CADRE GEOMORPHOLOGIQUE ET STRUCTURAL

II. 1. Cadre géomorphologique

D'une longueur voisine de 60 km du NO au SE, sur une largeur de 30 km, le bassin de Rémila constitue une dépression endoréique très étendue et relativement élevée, environ 900 m, qui a reçu tous les apports d'érosion des reliefs environnants. Les massifs qui l'encadrent dépassent 1200 m et culminent à 2300 m au sommet de l'Aurès (Djebel Chélia). La zone basse a une altitude de 830 m et présente dans sa partie orientale, une zone de saumures de

près de 200 km², la Sebkha de Garaât-et-Tarf. Les périmètres de ce lac salé sont caractérisés par un niveau plat et une végétation clairsemée éliminée par la forte concentration de sel (65 g/l) et, tout autour, la présence d'une nappe phréatique inégalement salée. Cet état de fait a causé non seulement l'absence de toute végétation, mais aussi, une baisse importante de la productivité des terres agricoles limitrophes, notamment au Nord de Rémila et Baghai. Cette dépression peut être divisée en trois parties (fig. I-3) :

Une partie centrale plus large, peu profonde qui se déploie autour du village de Rémila et va jusqu'à l'Ouest du village de Baghai Une partie orientale qui va du village de Baghai jusqu'à sebkha

Une partie méridionale plus étendue, en bordure des reliefs sud et qui va sur 40 km, de Khenchela à Boulfreis. Et une partie orientale qui va village de Baghai jusqu'à sebkha.

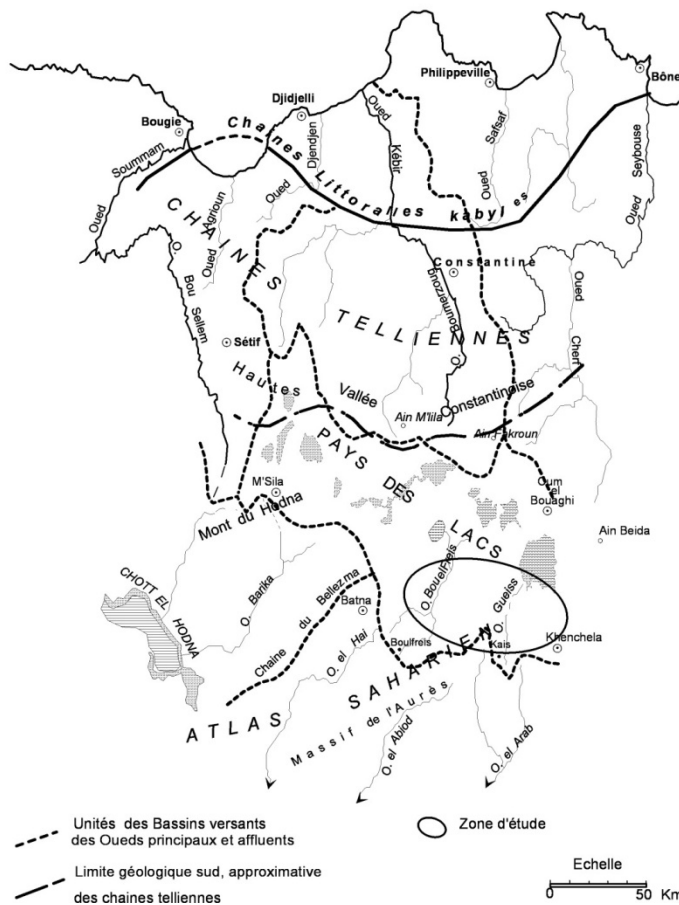


Figure.1.3: Cadre géographique et géologique (R. Jaseix-Bellon.)

Bien que le relief soit moins marqué au Nord, des buttes molassiques grésifiées s'individualisent au sein de la plaine, à l'Est et à l'Ouest de Kais, des glacis et quelques encroûtements calcaires sont signalés au nord de Khenchela et au Sud de Baghai. La géomorphologie du site est caractérisée par une topographie au sol plane sur l'ensemble de la plaine. Les bordures Sud et Nord du bassin sont marquées par des inclinaisons relativement importantes, conséquence d'une activité tectonique ayant affecté ces régions, permettant un écoulement superficiel plus important (Guiraud 73).

Le massif des Aurès, est la barrière montagneuse qui, prolongeant les hauts plateaux de l'Atlas, marque brutalement sur la face Sud, la zone saharienne.

En partant d'une altitude moyenne de mille mètres, la plaine saharienne de 100 m au moins est atteinte en 20 km à vol d'oiseaux. Grâce à sa haute position par rapport aux autres régions de l'Atlas saharien, l'Aurès présente des conditions climatiques favorables à l'accumulation des eaux superficielles et souterraines. Il s'élève au milieu de deux bassins de l'Algérie orientale, le bassin des hauts plateaux constantinois et le bassin de Chott Melghir. Il constitue leur ligne

de partage des eaux.

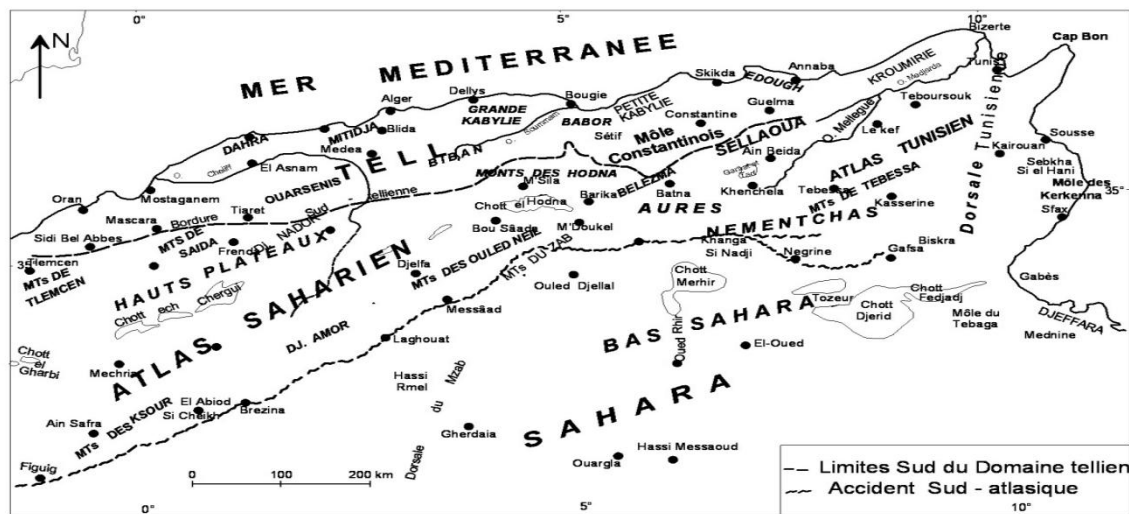


Fig: localisation des principaux ensembles géomorphologiques du Nord de l'Algérie et de la Tunisie

figure .1.4 : Localisation des principaux ensembles géomorphologique du Nord de L'Algérie et de la Tunisie (Guiraud 1973)

II. 2. Cadre structural

L'Algérie du Nord, tronçon de la chaîne alpine, peut être subdivisé en plusieurs domaines présentant des styles tectoniques différents

Au Sud du *domaine tellien*, constitué pour l'essentiel par des unités allochtones, et correspondant par conséquent à la chaîne alpine proprement dite, nous distinguons le *domaine atlasique* (fig) ; caractérisé par des diapirs et plis coffrés.

Cependant on remarque plus particulièrement la position des Aurès, au niveau duquel la chaîne alpine présente en Algérie sa largeur minimale (Guiraud 1973)

A cet effet nous décrivons de façon plus ou moins détaillée, le domaine atlasique comme une ligne structural.

II .2.1. Le Domaine Atlasique

Le domaine atlasique correspond essentiellement en Algérie à deux grands ensembles morphologiques bien individualisés, Atlas saharien à l'Ouest, Aurès-Nementcha à l'Est, dont l'histoire géologique montre qu'ils appartiennent à une même chaîne. Ces deux ensembles, qui ne se placent pas exactement dans le prolongement l'un de l'autre mais sont légèrement décalés selon un mouvement dextre, se raccordent par l'intermédiaire d'une zone charnière topographiquement moins élevée et un peu plus complexe sur le plan géologique : la région de M'Doukel-Biskra.

A la lumière des résultats acquis dans les domaines de la chaîne atlasique, principalement par (R. Laffitte 1939, R. Guiraud 1973, Vila 1977), et que l'on peut résumer ainsi pour l'essentiel :

. Le relief de l'Aurès a subi des nombreux dépôts et ses formes actuelles sont dues aux élévations post-pliocènes La phase de plissements maximum dans l'Aurès débute à la fin du Lutétien ; ils correspondent aux mouvements de l'orogénèse pyrénéenne (Villa 1977).

le massif de l'Aurès serait affecté par une forte subsidence lors du Mésozoïque (fig 109) puis énergiquement plissés à la fin de l'Eocène moyen ; Certaines parties du massif s'élèvent, d'autres s'affaissent.

L'Algérie du Nord, tronçon de la chaîne alpine, peut être subdivisé en plusieurs domaines présentant des styles tectoniques différents

Au Sud du *domaine tellien*, constitué pour l'essentiel par des unités allochtones, et correspondant par conséquent à la chaîne alpine proprement dite, nous distinguons le *domaine atlasique* (fig) ; caractérisé par des diapirs et plis coffrés.

Cependant on remarque plus particulièrement la position des Aurès, au niveau duquel la chaîne alpine présente en Algérie sa largeur minimale (Guiraud 1973)

A cet effet nous décrivons de façon plus ou moins détaillée, le domaine atlasique comme une ligne structural

C'est dans celles-ci que se déposent les couches rouges, jusqu'à la fin du Pontien.

- Surrection vers la fin de l'Oligocène de l'ensemble de la chaîne, quelques plis et flexures de direction E-W se produisent alors dans les Aurès marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire.
- Les mouvements post-burdigaliens ont modifié notablement les formations Miocènes marines et continentales. Ainsi les grès burdigaliens en bordure Sud de la plaine sont relevés à 60 – 80m entre Timgad et Kais et à 20-50 m à l'Est de Kais. Ils présentent au Sud – Ouest de la plaine une allure synclinale entre le flanc Sud et le Djebel Amrane. La direction générale Est-ouest est d'autre part coupée par des accidents orthogonaux.
- A la fin du Tertiaire, une phase d'érosion aboutit au façonnement des formes Crétacé et au comblement des dépressions par des dépôts continentaux. Le relief de l'Aurès a subi des nombreux dépôts et ses formes actuelles sont dues aux élévations post-pliocènes.

- possibilité de rencontrer des accidents obliques ou perpendiculaires aux structures, quelques grandes cassures d'orientation NW-SE ayant notamment été reconnues par R. Laffitte (1939) et par G. Dubourdieu (1956) ;
- Mise en place d'injection triasique, « diapirs ou dôme de sel », à différentes époques, Turonien supérieur, post-Lutétien (Lessard L. 1957)
- L'anticlinal crétacé du Djebel Amrane, qui divise la plaine en deux synclinaux, présente des pendages assez élevés, atteignant 50°. Sa prolongation vers l'Est, sous le recouvrement récent, est très vraisemblable, puisque les forages qui se situent au assis, à 10 km au minimum à l'Est de la terminaison du Djebel Amrane, ont rencontré le Crétacé à des profondeurs très faibles :
- Ce sont des dépôts quaternaires continentaux constitués d'alluvions, regs, terrasses occupant la plus grande superficie du territoire de la wilaya, Ils sont répartis dans la zone nord (plaine alluviale de Rémila)
- Le synclinal de Khenchela qui représente une vaste structure régulière est constitué par les successions géologiques suivantes: le Crétacé inférieur, épaisses séries en grande partie continentales, formées par des dépôts calcaires, marnocalcaires et marno-calcaire-argileux. Toute cette région marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire, aurait connu vers la fin de l'Oligocène une phase d'orogénèse extrêmement active qui a entraîné la surrection de l'Atlas saharien.

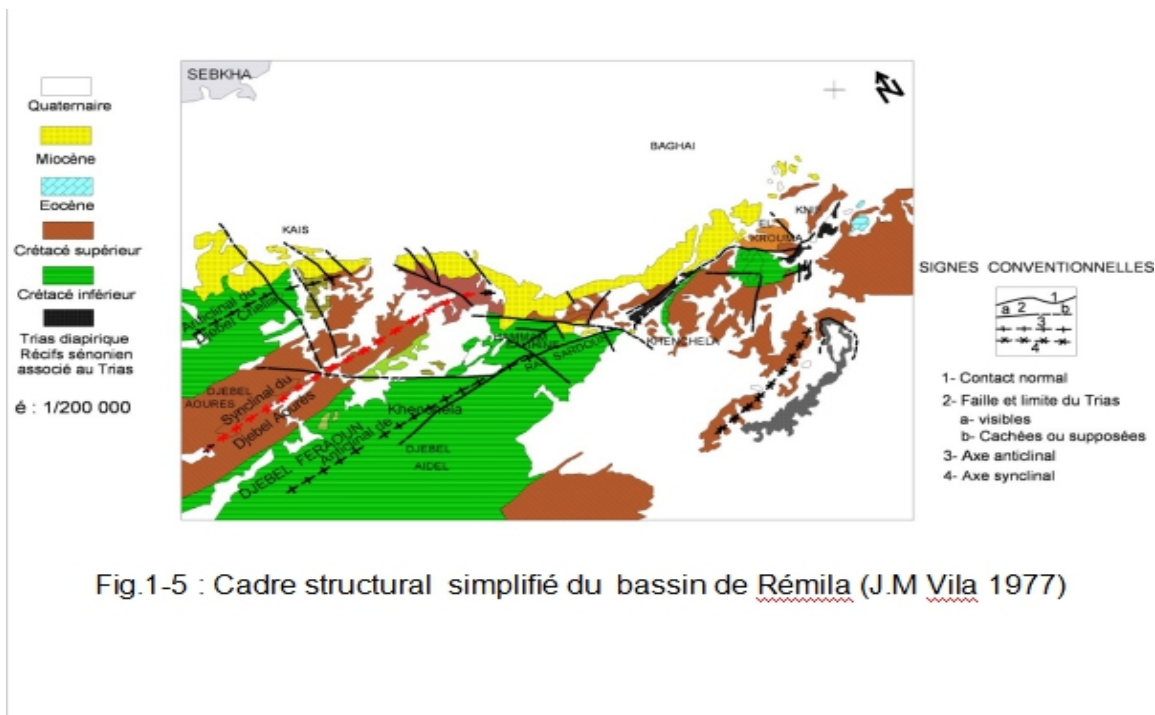


Fig.1-5 : Cadre structural simplifié du bassin de Rémila (J.M Vila 1977)

II.2.2. Cassures et flexures

Les divers documents publiés par R. Laffitte ne font état que d'un très petit nombre de failles les une directement directionnelle (dans les anticlinaux de Khenchela, Djebel Aidel et Chélia), les autres obliques et orientés presque exclusivement au NW.

En fait les cassures sont nombreuses dans le massif de l'Aurès et elles se répartissent très généralement suivant des directions voisines de NW-SE (les plus fréquents), E-W ou N 60° E

Cassure E-W

Des accidents présentant une orientation E-W ou très voisine se rencontrent assez régulièrement dans l'Aurès tandis que de grandes flexures montrant également cette direction limitent le massif aussi bien au Nord, entre Timgad et Khenchela, que, de façon plus nette, au Sud

Du nord vers le sud les principales cassures de ce type se situent : Au sud du Djebel Chélia
Dans la chaîne Aidel

Les anticlinaux les plus dégagés par l'érosion (Chélia et Khenchela) sont parcourus dans leur zone axiale par des failles parallèles à la structure, qui tantôt en effondrent la voûte ou l'un des flancs (Djebel Aidel, Djebel Chélia), tantôt accompagnent au contraire la percée d'horizons résistants plus profonds (Albien de djebel Aidel).

Ces failles ont une orientation voisine de N 60° E, et longe djebel Aidel et provoque localement la remontée de calcaires Albien contre la série de marnes cénomaniennes (fig. I-5)

II .2.3. Localisation et âge de mise en place des pointements triasiques

Des affleurements de roches triasiques, de taille et de constitution variable, perçant leur couverture mésozoïque et cénozoïque de façon normale, en une dizaine de points dans l'Aurès. Ou sur ses bordures (fig. I-5)

Un affleurement isolé situé au NW du Djebel Aidel, perçant l'Aptien et probablement en relation avec l'une Plusieurs extrusions de dimensions importantes morcelant le Crétacé supérieur au voisinage de Khenchela ; l'une d'elles a joué dès le Turonien supérieur ou le Sénonien inférieur, près des djebels Krouma et Knif, les autres sont antérieurs au Miocène qui peut les recouvrir en discordance ; outre les grands accidents d'orientations N 30 à N 60° E que l'on observe sur le terrain, je pense qu'aucune cassure profonde, oblique sur l'Ouest et responsable de la disparition brusque vers l'Est des assises du Crétacé inférieur au niveau de Khenchela, est également à l'origine de ces remontées triasiques. Ce qui montre que les extrusions se sont toujours faites à la faveur d'accidents importants et peu après le jeu de ces derniers (R. Guiraud 1973).

des failles directionnelles qui parcourent l'anticlinal de Khenchela ;

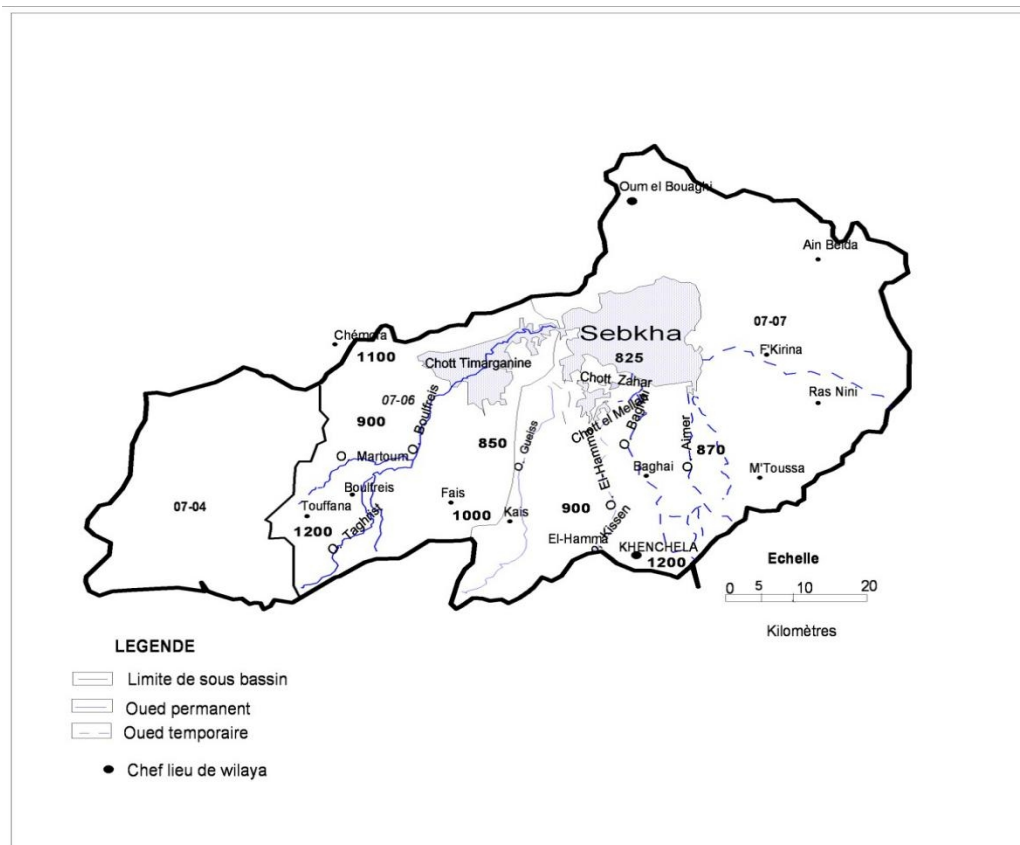


Figure.1.6 : Réseau hydrographique et distribution des agglomérations urbaines (Houha, 2007)

II.3. Réseau hydrographique

- Oued Boulfreis et quelques affluents mineurs drainent l'essentiel de notre région d'étude. Il prend sa source au pied du massif de Chélia, puis suit son trajet SW-NE en traversant les glacis calcaires de Taberdga. Son cours s'infléchit en direction de l'Est à la hauteur de Argoub Roknia pour emprunter le centre de la dépression alluviale jusqu'à Sebkhia (fig. I-6). Boulfreis collecte principalement les eaux en provenance des reliefs s'étendant au sud de la région considérée ainsi que celle de la plaine alluviale. L'écoulement est quasi-pérenne avec un débit moyen à l'aval de 22 Hm^3 . Les crues importantes sont généralement observées à la fin de l'automne et à la fin du printemps. Oued Gueiss, prend sa source au pied de Djebel Aourès et draine le sous bassin d'El-Gueiss selon un axe d'écoulement SW-NE, et termine son parcours dans les chotts (fig. I-6). L'écoulement est intermittent avec un apport de $12 \text{ Hm}^3/\text{an}$ dont 8 Hm^3 sont stockés par le barrage en amont de la plaine.
- **Les hauts plateaux :** elles dessinent une bande ENE - WSW, d'une longueur de 700 Km et une largeur de 250 Km, délimitée : vers le Nord par le front de chevauchement

tellien et vers le Sud par l'accident nord atlasique, elle disparaît vers l'Est au niveau du Hodna. Cette zone correspond aux domaines des grands chotts d'Ouest en Est. On rencontre chotts Ech-Chergui, Zahrez Rharbi, Zahrez Chergui et El Hodna. Ces hauts plateaux forment une vaste dépression comblée par l'épaisse couche de sédiments accumulés depuis le Miocène supérieur jusqu'au Quaternaire.

III. GEOLOGIE

.L'Atlas saharien : c'est une chaîne intercratonique d'Afrique du Nord qui s'étend sur plus de 1000Km, depuis le Maroc (haut et moyen Atlas) jusqu'au Tunisie (Atlas tunisien) d'une largeur qui avoisine les 100Km. Elle est limitée par l'accident sud-Atlasique qui met en contact avec la plate-forme Saharienne au Sud et accident Nord Atlasique au Nord. Cette chaîne est orientée suivant une direction générale NE – SW représentée d'ouest en Est par les monts des Ksors, Dj Amor, les monts des Ouleds Nail, les Aurès et les Nemamchas. Elle est formée dès l'Eocène moyen (Lutétien).

Ce domaine est caractérisé par des plis plurikilométriques et régit par des failles sédimentaires dont l'orientation est NE-SO, avec des manifestations diapiriques.

III.1. CADRE GEOLOGIQUE

Nos connaissances géologiques sur la région d'étude sont largement inspirées des travaux et études régionaux et de synthèses sur le massif des aurès, sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologiques et structurales (R. Laffitte 1939, R. Guiraud 1973, CGG 1969, J.M.Vila 1977, M.T. Benazouz 1984, F. Gasmi 1989, B. Houha 1996). Les travaux sur l'hydrogéologie sont rares, hormis les travaux de CGG (1969-1970) F. Gasmi (1989) B. Houha (1996) et ANRH (2002) et quelques travaux sur le sud des Aurès.

III.1.1. LIITHOSTRATIGRAPHIE

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 (Fig. I- 2).

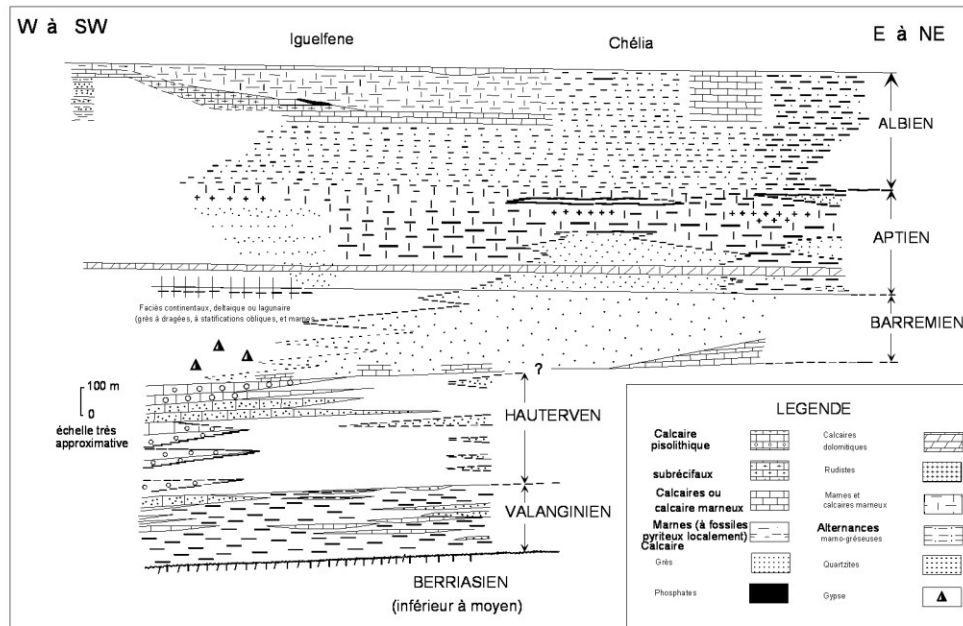


Schéma illustrant les variations de faciès dans le Crétacé inférieur de l'Aurès

d'après diverses planches de R. Laffitte (1939) légèrement modifié par R. Guiraud (année)

Figure.1.7: Schéma illustrant les variation de faciès dans le Crétacé inférieur de L'Aurès d'après R. Laffitte (1939) et modifié par R.Guiraud (1973).

III.1.2. Trias

Dans les régions qui entourent la dépression de Rémila les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisé à proximité de Khenchela (fig. I-2), où il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 km de long et de 300 à 400 m de large et sur Djebels El Krouma et Knif en contact anormal avec l'albien, le Cénomaniens et le Sénonien

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.

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 Krouma, 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 anté-miocènes, il a disparu depuis longtemps (R. Laffitte 1939).

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

Des passées calcaro-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasiques

III.1.3. Le Crétacé

III.1.3.1. Crétacé inférieur

Dans le vaste massif de l'Aurès, le Crétacé inférieur constitue l'essentiel des reliefs les plus élevés : Azreg-Ichmoul, Chelia, Aidel

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 fig. I -7) qui résume de façon schématique les principales variations observables.

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

Je me bornerai donc ici à souligner les quelques éléments qui constitue le paysage géologique du bassin de Rémila.

III.1.3.1.1. 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 quartzites sans fossiles à la base (Barrémien) et à des marnes fossilifères (Aptien inférieur) au sommet. Dans le Nord, ces quartzites sans fossiles présentent, surtout à la base de l'étage, des intercalations de calcaires marins (Djebel Aidel aux environs de Khenchela et Bou Arif), l'épaisseur de l'étage varie de 400 m environ (Sud) à 250 m (Nord).

Cette région a alors été le siège d'une sédimentation puissante (plus de 2000 m de dépôts parfois), principalement gréso-argileux (R. Laffitte 1939). Les intercalations carbonatées sont peu épaisses ; elles se cantonnent dans l'Aptien moyen à supérieur et l'Albien supérieur (R. Laffitte 1939).

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

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

III.1.3.1.2. Albien

L'albien débute dans l'Aurès, 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, 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

III.1.3.2. Crétacé supérieur

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

III.1.3.2.1. Cénomaniens

Le Cénomaniens 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 ;

Une série terminale constituée de marnes et de calcaires formant une corniche (proportion de ces derniers augmente vers le sommet)

Le Cénomaniens est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès. Il est essentiellement calcaro-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.

III.1.3.2.2. 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.

III.1.3.2.3. 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.

III.2. Les formations Cénozoïques**III.2.1. Le Néogène**

Le Néogène est assez bien conservé au Nord de l'Aurès dans un bassin qui s'étend approximativement de Batna à Khenchela

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 Sud du bassin de Rémila, 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.

La série comporte ensuite des marnes argileuses rouges gypseuses continentales qui sont discordante sur le Crétacé (300 à 400 m) admettant encore à leur base quelques récurrences grises ou vertes.

Les affleurements ne sont connus qu'au Sud du bassin, jusqu'au Djebel Amrane. Il est probable qu'en profondeur, l'extension de ces dépôts soit limitée au prolongement de cet anticlinal sous la plaine. Ceci serait corroboré par les forages de Kais 1, Bir Boussaha, Sonda qui ont atteint le substratum Crétacé sans traverser le Miocène marin

Reposant en concordance sur les niveaux précédents, R. Guiraud (1973) a noté à Sidi Mançar (ex Lavéran) (entre Batna et Khenchela), la succession suivante :

des alternances de grès blancs, friables, et de marnes grises à mauves (120 à 150 m) qui forment les premiers reliefs du Djebel Tagratine ; une cinquantaine de mètres de marnes grises ; environ 80 m de grès gris à brun admettant quelques passées de marnes gréseuses.

III.2.2. Quaternaire

Les formations Quaternaires du bassin de Rémila n'avaient fait objet d'aucune étude détaillée systématique lorsque j'ai commencé une recherche dans cette région

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

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

Dans la plaine de Rémila on n'observe plus que du Quaternaire récent qui est entaillé par quelques oueds mais qui est recoupé par de très nombreux puits et forages. L'étude des coupes fournies par ces derniers comme par les divers profils de sondages électriques menés par CGG 1970 m'a permis d'établir l'évolution de la puissance et des faciès de recouvrement alluvial

Dans le bassin de Rémila, les terrains Quaternaires présentent des faciès et des dispositifs assez variables qui résultent de la diversité de la lithologie et de la structure antérieures.

Les formations quaternaires sont particulièrement bien développés dans les régions comprises entre les reliefs crétaqués des monts des Aurès au sud et la dépression centrale du bassin de Rémila, établie principalement sur le Néogène (Fig. 1-2 et 1-7)

Les piémonts sont ici généralement modelés en glacis à couverture détritique peu épaisse, dont le plus visible sont situés au sud de Baghai 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

Des alluvions récentes constituent la plaine de Rémila ainsi que les bas fonds des principales vallées provenant des reliefs environnants.

L'examen de quelques coupes de forages (Figure) 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.

Elles débutent par un conglomérat de base assez grossier, dont la puissance est irrégulière, de quelques mètres au Sud (Kais, Menzer) elle dépasse par exemple une vingtaine de mètre au centre (Bir Boussaha, ZK16, ZK10). Au dessus, des lentilles de galets et gravier roulés à éléments gréseux peuvent s'interstratifier au sein d'argiles sableuses qui forment l'essentiel du dépôt.

Superposé à cet ensemble vient une nouvelle formation qui comporte des passées de poudingues peu épais et plus fins, à sa base et qui surmontent des sables et sables argileux.

Au Sud du bassin, dans la région de Kais, le Plio-Quaternaire est constitué d'alluvions récentes formé de graviers et galets roulés à éléments gréseux sur une épaisseur de 3m 50. En dessous on trouve des alluvions marneuses d'épaisseur inconnue d'une épaisseur de 7m50. 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 3m (**Laffitte 1939 et Vila 1977**).

IV. CadreHydrogéologique

IV.1.Lithologiedel'aquifère (Figure.9)

LesnappesavoisinantlesaffleurementsdumassifdesAuresdéveloppentdansdesterrainsdenature etdetexturesont variables

Il s'agit de formations détritiques du plio-quaternaire, des formations gréseuses du Néogène et desmarno-calcaires du Turonien.

IV.1.1Substratum:structure profonde

Les grandes lignes structurales du substratum ante-quaternaires sont de marnes cénomaniennes. Ce sont ces marnes qui constituent le substratum au voisinage du massif de l'Aures. Le substratum calcaire se trouve limité à la zone Ouest,au voisinage de Djebel Amrane,et à la partie Sud,.

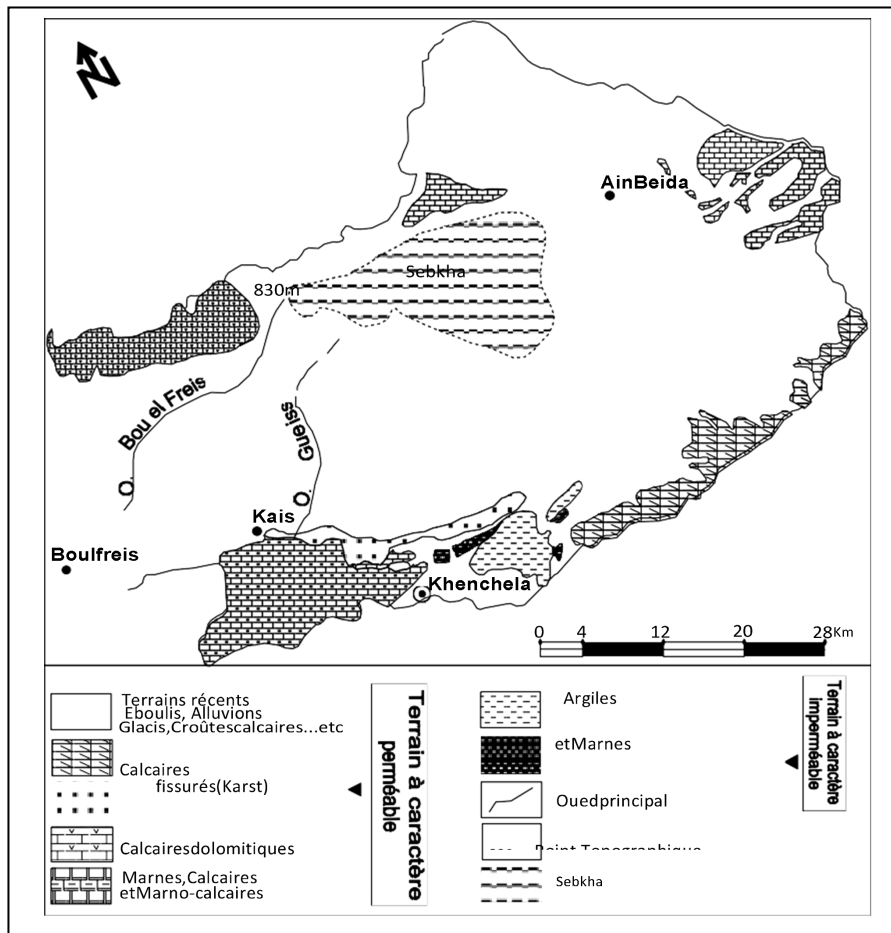


Figure.8: Unités hydrogéologiques dans les Aurès (Houha, 2007)

IV.1.2. Terrains Néogène

Les formations miocènes s'allongent le long de la bordure sud du bassin avec une allure synclinale délimitée sous le recouvrement quaternaire. Ils agissent de grès marinoxydés dans une épaisseur de marnes gréseuses verdâtre ou gris-bleu et constituent en réalité une roche assez dure et peu perméable. Cette formation n'est pas suffisante pour qu'une nappe continue puisse s'y développer (CGG 1970).

Ces grès présentent une limite au Nord et se terminent en biseau ou réduits en épaisseur par l'érosion.

IV.1.3. Le Plio-Quaternaire

Les terrains quaternaires sont le lieu de bonnes circulations d'eau, l'épaisseur saturée de cette formation est suffisante. Il est formé de plusieurs niveaux grossiers, sables, graviers, conglomérats bien développés, dans la partie Ouest et centre de la plaine. Ces niveaux grossiers se présentent sous la forme de vastes lentilles parfois sans liaison entre elles, en prolongement du djebel Amrane et du massif miocène de Boulfreis. Il est

moins important et moins profond dans la partie Sud-Est de la plaine. Il constitue donc la couverture perméable qui permet l'infiltration des eaux météoriques, cet ensemble joue un rôle hydrogéologique important du fait de sa perméabilité en général excellente. C'est dans cette formation que se trouve le remplissage

IV.2. Auifères du pourtour Auresien

L'aquifère Auresien est un ensemble de sédiments détritiques du Plio-Quaternaire (CGG). L'alternance des dépôts d'argile, marnes, sables et graviers plus ou moins grossiers sur une épaisseur de plus de 250 m (ANRH) due à des écoulements souvent torrentiels et violents, a donné lieu à des structures lenticulaires, surtout en profondeur, l'aquifère superficiel étant plus continu. Au niveau de la plaine de Rémila, deux horizons productifs séparés par des couches semi-perméables ont été dénombrés sur 19 forages (ANRH2000) de 70 à 279 mètres de profondeur, témoignant de l'existence de deux nappes profondes contenues dans les différents niveaux grossiers du remplissage est mise en évidence par la prospection géophysique, l'existence d'une zone artésienne centrée sur le partage ZK16, au centre de la plaine témoignent de la mise en charge des niveaux profonds carbonatés qui alimentent probablement, par drainances ascendantes, les niveaux conglomératiques

L'analyse des coupes lithologiques et des corrélations des forages, ainsi que la piézométrie montrent en revanche une nette séparation d'Ouest à l'Est du bassin entre un "niveau superficiel" et un "niveau profond", par une couche semi-perméable (CGG1970).

Officiellement les forages sont censés ne capter que les niveaux grossiers profonds du remplissage plio quaternaires et les puits ne captent que le niveau superficiel qui est la nappe phréatique.

IV. 3. Les principaux aquifères

Par suite de la grande complexité structurale et de la diversité lithologique de la zone étudiée, on dénombre, en fonction de leur importance, deux types d'aquifères

Les aquifères alluviaux : deux types d'alluvions peuvent être distingués : les alluvions anciennes et les alluvions récentes qui reposent sur les premières. Les alluvions anciennes sont constituées de galets, graviers et sables bien roulés et très émoussés. Les alluvions récentes présentent d'importantes variations de faciès mais sont toujours composées de dépôts fins. Ainsi l'aquifère des alluvions anciennes est localement captif ou semi-captif sous les limons (DUROZOY, 1970). Ces aquifères représentent la plus importante ressource régionale en eau souterraine occupent le bassin de Rémila et tout autour du massif des Aurès. Ils sont constitués d'éléments détritiques grossiers, sable, gravier et conglomérats, emballés dans une

matrice argilo-limoneuse et sont le lieu de bonnes circulations d'eau, l'épaisseur saturée de cette formation est suffisante. Ils correspondent à un réservoir multicouches à cause de la présence de lentilles argileuses parfaitement interconnectée d'un point de vue hydrogéologique. La nappe est presque en charge et peut même être artésienne.

Les nappes alluviales dans l'ensemble libres et continues, sont quelques fois captives.

L'aquifère miocène, s'allongent le long de la bordure sud du bassin avec une allure synclinale délimitée sous le recouvrement quaternaire, ne présente qu'un intérêt local et est, de ce fait, peu exploités. Il s'agit de grès marinoxyés dans une importante épaisseur de marnes gréseuses verdâtre ou gris-bleu et constituent en réalité une roche assez dur et peu perméable. Cette formation n'est pas suffisante pour qu'une nappe continue puisse s'y développer (CGG1970).

Ces grès présente une limite au Nord et se terminent en biseau ou réduits en épaisseur par l'érosion (CGG1970).

Aquifère des calcaires Maastrichtien se prolongent sur le pourtour sud du massif des Aures le long des djebels Aidel, Djebel Faraaoun. Ce sont des calcaires fissurés et karstifiés sur de grandes épaisseur très profonds qui sont recouverts par une large bande de Marnes du Turonien et tous repose sur les marnes cénomaniennes qui constituent le substratum de cet aquifère.

Identification De La Typologie Des Nappes Aquifères Du Bassin De Remila

V. 1. Lithologie et âge des formations aquifères

L'aquifère le plus important est d'âge Mio-Plio-Quaternaire, il est constitué de dépôts tels que:

- Les conglomérats.
- Les graviers plus ou moins hétérogènes.
- Les graviers sableux.

V. 1.1. Aquifère superficiel

L'alternance des dépôts de graviers hétérogènes, argile rouge, conglomérats, marnes gréseuses plus ou moins grossiers sur une épaisseur de plus de 150m, due à des écoulements souvent torrentiels et violents, a donné lieu à des structures lenticulaires, surtout en profondeur,

L'aquifère superficiel est contenu dans le remplissage quaternaire dans des intercalation argil osableuse et dans dessable et graviers.C'est un aquifère multicouches séparés par des argiles et des marnes

V.1.2.Aquifère profond

Sous la nappe phréatique existent plusieurs nappes reconnues profondes contenues dans les différents niveaux grossiers du remplissage est mise en évidence par la prospection géophysique et par les forages traversant entièrement les alluvions jusqu'au substratum. Les nappes sont superposées et séparées par des couches plus ou moins imperméables intermédiaires et ont caractéristiques hydrodynamiques différentes(ANRH,2002).

L'existence d'une zone artésienne au centre de la plaine ou le niveau statique atteint plus de 8 m, qui témoignent de la mise en charge des niveaux profonds calcaires Crétacés et qui alimentent par drainances ascendante les conglomérats profonds qui doivent reposer directement sur les calcaires turonien au Sud-Ouest et sur les grès du Miocène au Sud(ANRH,2002).

L'épaisseur, la profondeur et la transmissivité des nappes profondes varient dans les différentes régions de la plaine. En général la transmissivité, 10^{-2} m²/s,est grande dans la région ouest et centre de la plaine dans les formations des conglomérats et graviers hétérogènes.La transmissivité dans ces zones augmente avec la profondeur car les couches peu profondes sont plus argileuses que les couches profondes qui sont grossières. L'exploitation de la nappe est très grande dans ces régions et petite dans la zone(**Houha, 2007**).

Conclusion

Dans le secteur étudié, le Crétacé inférieur s'est déposé sous forme de calcaires marneux, de marne, de calcaire gréseux et des calcaires compacts. Sur le secteur étudié, l'Aptien affleure au Djebel Fedjoudj, au Nord du bassin. Dans l'ensemble du massif du Fedjoudj, les faciès gréseux sont donc très réduits et il y a prédominance de calcaires néritiques à Orbitolines et de dolomies.

L'Albien existe dans les anticlinaux des Aurès, mais n'affleure pas au Nord dans la chaîne du Djebel Fedjoudj. Dans l'Aurès, il présente souvent un faciès gréseux, marneux et dolomitique il devient franchement marneux.

Au Sud du bassin, l'Albien est représenté sur la bordure de l'Anticlinal de Khenchela (Djebel Aidel).

Le tertiaire est constitué d'argiles rouges gypseuses et repose directement, en discordance, sur le Crétacé. Cette formation est composée de marnes gréseuses et grès reposent directement sur le conglomérat de base. 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. L'épaisseur de cette série marine semble varier de 200 à 400 m sur la bordure Sud de la plaine.

Les affleurements ne sont connus qu'au Sud du bassin, jusqu'au Djebel Amrane. Il est probable qu'en profondeur, l'extension de ces dépôts soit limitée au prolongement de cet anticlinal sous la plaine.

Les formations quaternaires sont particulièrement bien développés 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.

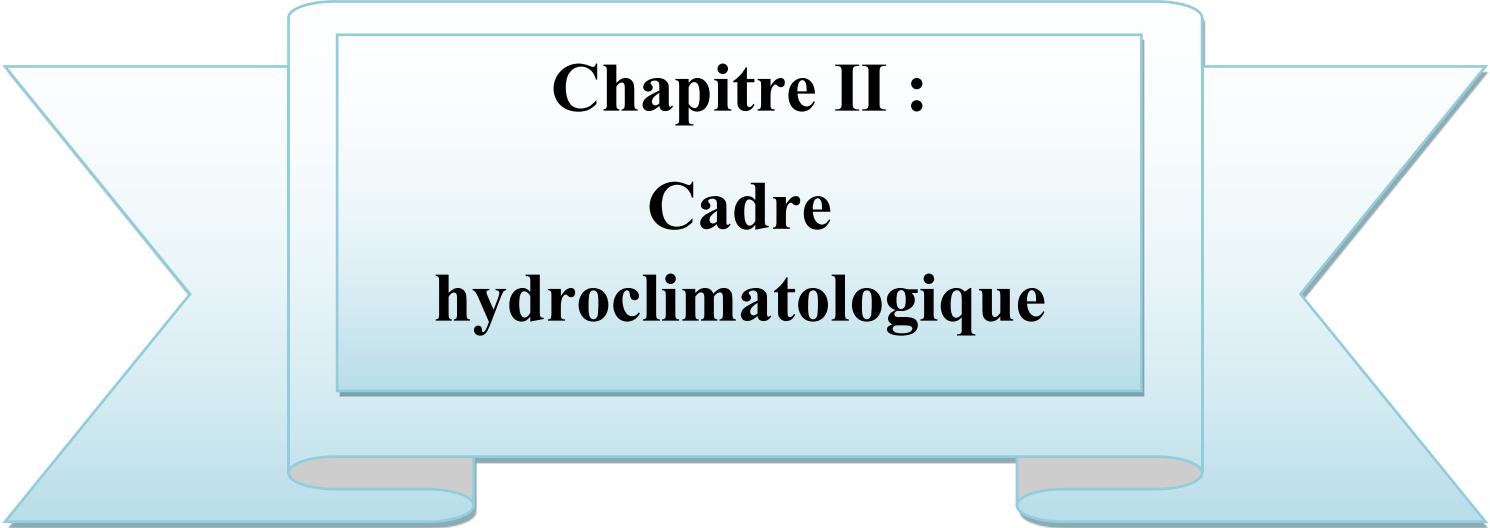
Les formations anciennes sont constituées par des alternances de conglomérats et de sables surmontés par des sédiments fins argilo sableux, rouge au sommet desquels apparaît une croûte calcaire blanche. La corrélation des coupes géo électriques avec des log stratigraphiques de 19 forages de reconnaissance a permis d'identifier les aquifères, de déterminer leur extension et leur profondeur.

L'existence de plusieurs nappes profondes contenues dans les différents niveaux grossiers du remplissage est mise en évidence par la prospection géophysique.

Les aquifères sont constitués de conglomérats de graviers et graviers sableux.

Mise en évidence d'une zone de bonne transmissivité de: $T=10^{-2}m^2/s$ Correspondant

aux conglomérats profonds qui doivent reposer directement sur le Les principaux aquifères prolongements.



Chapitre II :
Cadre
hydroclimatologique

Introduction

Le climat de l'Algérie est un climat qui varie de deux types : méditerranée dans le nord et désertique au sud dans le Sahara . le climat et le cycle de l'eau souterrain son intimement liées , le développement du climat à une influence sur les réserves des nappes phréatiques , qui vont s'alimenter par infiltration directe et se vider par évaporation au long de la saison dans les pays aride et semi aride. (Berkani 2010).

Les paramètres climatiques de la zone étudiée sont très important; pour l'évaluation des réserves souterraines que pour leur renouvellement , l'étude de ces paramètres est basée sur les données de 1994-2020 , enregistrées dans les stations météorologiques d'EL_Hamma et d'Oum-El-Bouaghi.

Ces donnés climatiques vont nous permettre d'analyser les facteur du climat de cette région (variabilité climatique, type de climat , bilan hydrologique, ...) ces paramètres sont mesurés par 2 méthodes :

.soit par terrain: précipitation, température, évaporation...

_soit par calcule: infiltration, évatranspiration, ruissellement.

I.1. Aperçu générale sur le climat de l'Algérie et de la région d'étude :

Selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM), le climat est la synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère. c'est un outil important dans différentes régions du monde et c'est aussi le facteur qui se trouve dans la meilleure étude relative des écosystèmes écologiques.(Ciesla, 1997).

le climat en Algérie est marqué par son contraste aux antipode de l'Atals , au nord un climat méditerranéen humide et tempéré et au sud un climat désertique chaud et sec , les hauts plateaux son marqués par un climat continental. De son appartenance géographique et bioclimatologique, tous le nord algérien, appartient à l'étage bioclimatique semi aride. (Houha, 2007).

I.2. les paramètres climatiques:

Pour l'étude climatique de notre région, nous sommes basés sur les données d'observation de 26 ans (1994_2020) de la station météo d'El-hamma et de boughilet

Tbleau.01: coordonnées de la station météorologique El-Hamma (1994-2020)

station	L'altitude	Latitude	Longitude	Série d'observation
El hamma	35°26	928.5 m	7°05	1994-2020

Pour les nées de boughilet ils puisé de quelques rapports.

I.2.1. Précipitations

Toutes les formes d'eaux qui tombent sur la surface de la terre sont appelées précipitations. Les précipitations sont sous forme liquide (pluie, précipité), sous forme solide (neige,grele..) et précipitation déposées ou occulte (rosée, gelée blanche, givre,..).

Ils sont causés par un changement de température et de pression. Les précipitations sont la seule «entrée» des principaux systèmes hydrologiques continentaux qui sont le bassin versant .. Dans ce travail de recherche , les précipitations liquides (pluies), vont occuper la place prépondérante dans la détermination de régime climatique et le bilan hydrologique(Houha, 2007).

Le tableau ci-dessous montre la variation des précipitations annuelles:

Tableau.02: la variation des précipitations annuelles (1994-2020):

années	p(mm)	années	p(mm)
1994	315,7	2007	700
1995	520,4	2008	505
1996	500	2009	505,5
1997	515	2010	750
1998	405,2	2011	602
1999	432,3	2012	400
2000	302	2013	510
2001	330	2014	410
2002	406,6	2015	490
2003	500	2016	305,9
2004	610,2	2017	290,7
2005	308,6	2018	450
2006	500,6	2019	761
2007	700	2020	571

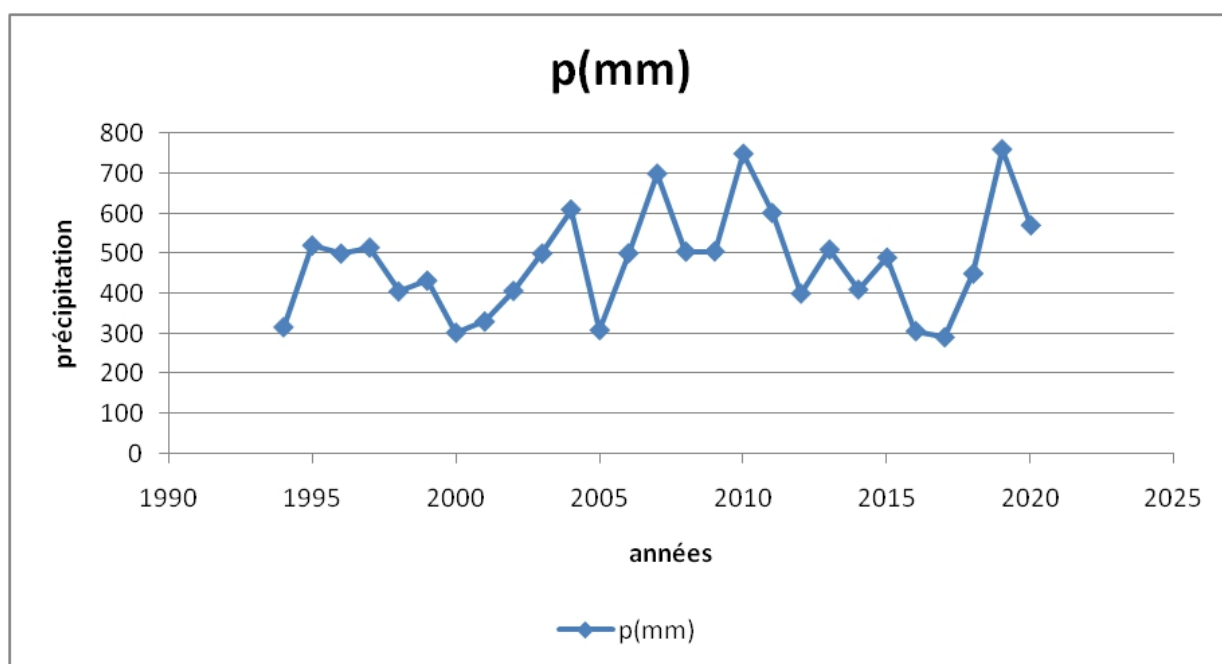


Figure.9: Variation des précipitations annuelles

_L'analyse des données pluviométriques (figure.8), montrent que les pluies atteignent son maximum 761 mm en 2019 avec une année de sécheresse 119 mm en 2013

Tableau.03: moyenne mensuelle des précipitations (1994-2020)

	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	déc
p moy	50,9	40,66	56,45	64,81	71,58	42,4	19,58	55,63	66,13	47,46	44,4	47,06

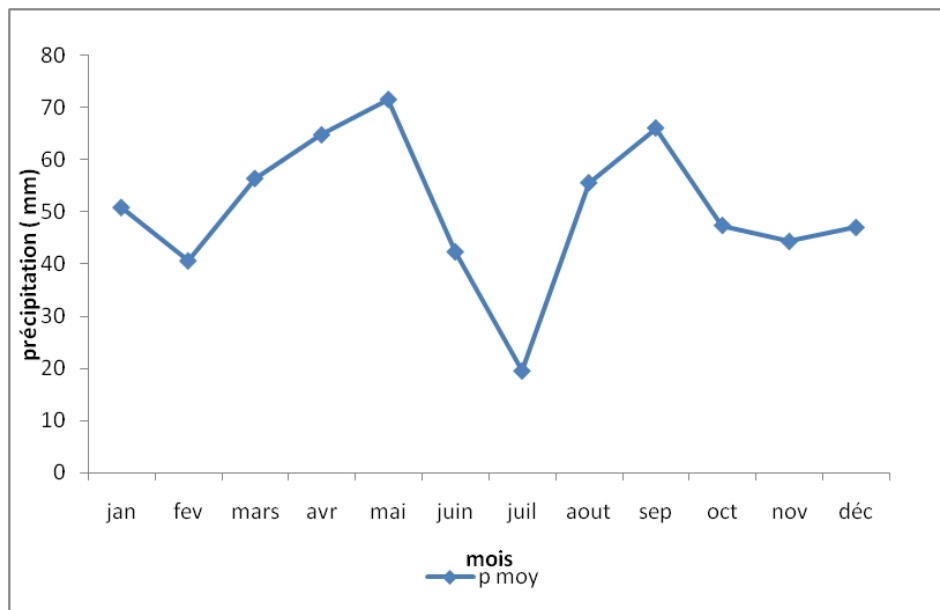


Figure.10: Variation mensuelle des précipitations

le régime pluviométrique de la région de kenchela présente une variabilité des apports mensuels des précipitation ; on a marqué que les mois le plus pluvieuses sont Avril Mai Septembre avec 64.81 mm, 71.58 mm et 66.13 mm et la plus faible valeur est enregistrée le mois du Juillet avec 16 mm (Figure.9)

I.2.2. Température

La température est l'un des éléments majeurs ayant un grand impact sur le climat, car il entre dans l'estimation du bilan hydrologique et permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation des aquifères dans leurs eaux et de préciser les limites de la thermalité (houha 2007).

Les données des températures durant la période (1994-2020) sont représentées sur le tableau suivant :

Tableau.04: Moyennes mensuelles et annuelles des températures en °C (1994-2020)

Mois	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juillet	aout	sep	oct	nov	déc
Tmin	3,43	4,04	6,7	9,77	14,4	19,75	23,24	22,89	18,81	13,94	8,21	5,31
Tmax	12,95	14,53	18,43	23,12	28,95	35,8	40,42	39,26	32,08	25,79	18,98	13,91
Tmoy	8,19	9,29	12,57	16,45	21,68	27,78	31,83	31,08	25,45	19,87	13,60	9,61

T min : Températures moyennes minimales mensuelles et annuelles

T max : Températures moyennes maximales mensuelles et annuelles

T moy : Températures moyennes mensuelles et annuelles

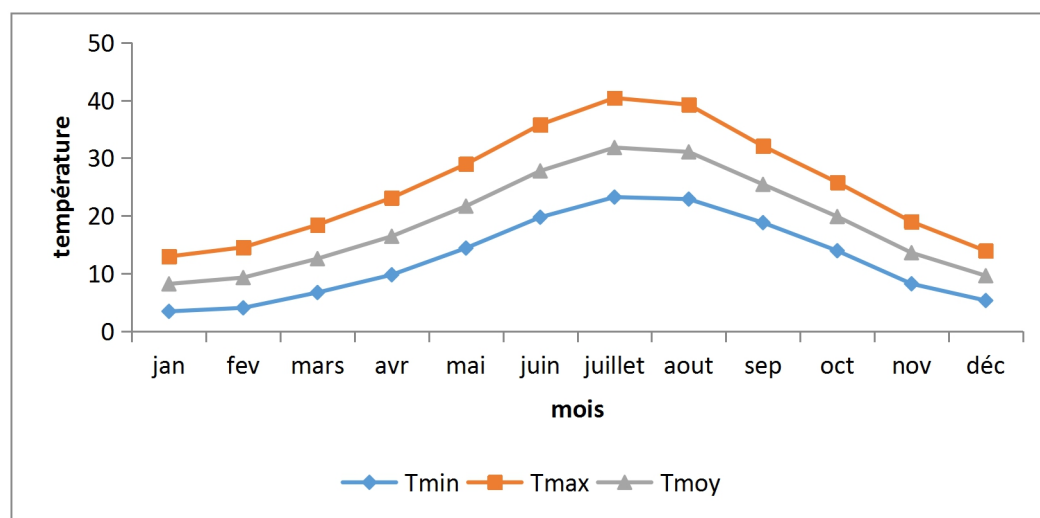


Figure.11: Variation des Températures mensuelles

La figure 03 , montre que, la température moyenne la plus basse enregistrée au mois Janvier 3.43 °C, alors que la température moyenne la plus élevées est de 40.42 °C enregistré au mois de Juillet , la température moyenne annuelle est de 227 °C.

I.3 Diagramme ombrothermal de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de Gausсен et Bagnouls indique l'importance des saisons sèche en durée et en intensité en tenant compte de l'emplacement de la courbe des température moyennes par rapport à celle des précipitations.

Selon Gausсен une période sèche est un période pendant la quelle les précipitations totales inférieures ou égale au double de la température : $p < 2T$ (période sèche)

Une période humide est une période pendant la quelle les précipitations totales égales au double de la température : $p = 2T$ (Houha, 2007).

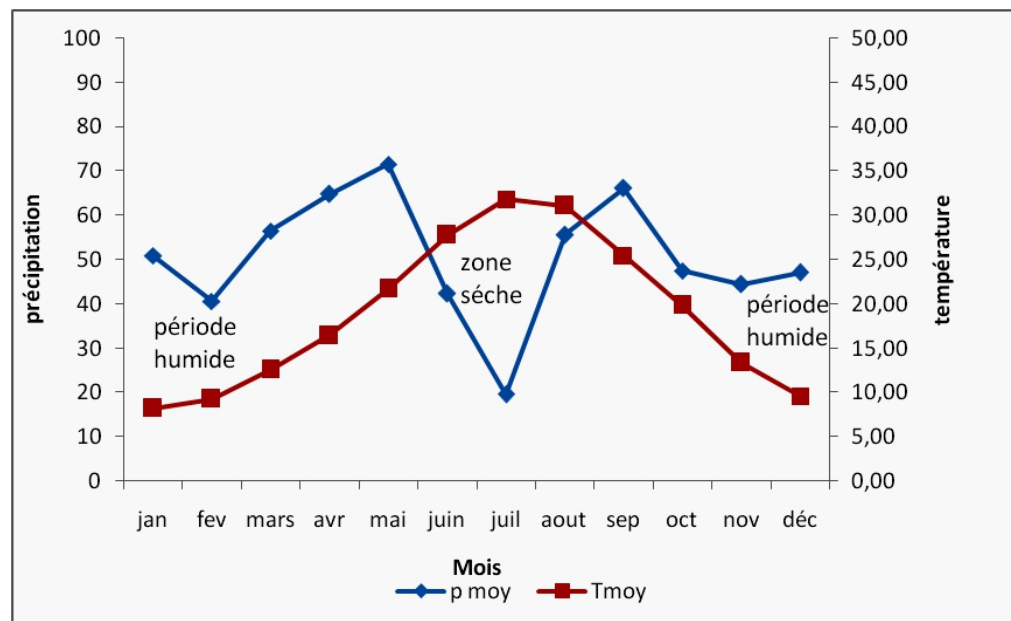


Figure.12: diagramme ombrothermique (1994-2020)

I.3.1 Le climagramme d'emberger

Il est destiné à caractériser le climat méditerranéen et ses nuances. En effet, Emberger (1955) a remarqué que dans les régions méditerranéennes, l'amplitude thermique annuelle est un facteur important de la répartition de la végétation (Guyot, 1999).

Il est donné par la forme suivante :

$$Q2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Q : le quotient pluviométrique d'EMBERGER

P : pluviométrie annuelle moyenne en mm

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré kelvin (°k)

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré kelvin (°k)

Le résultat de calcul quotient pluviométrique est : $Q2 = 63.34$ la valeur $Q2$ est portée sur le Climagramme d'EMBERGER. Donc le Climagramme d'EMBERGER indique que notre zone d'étude est située dans l'étage bioclimatique semi aride , (Fig.04).

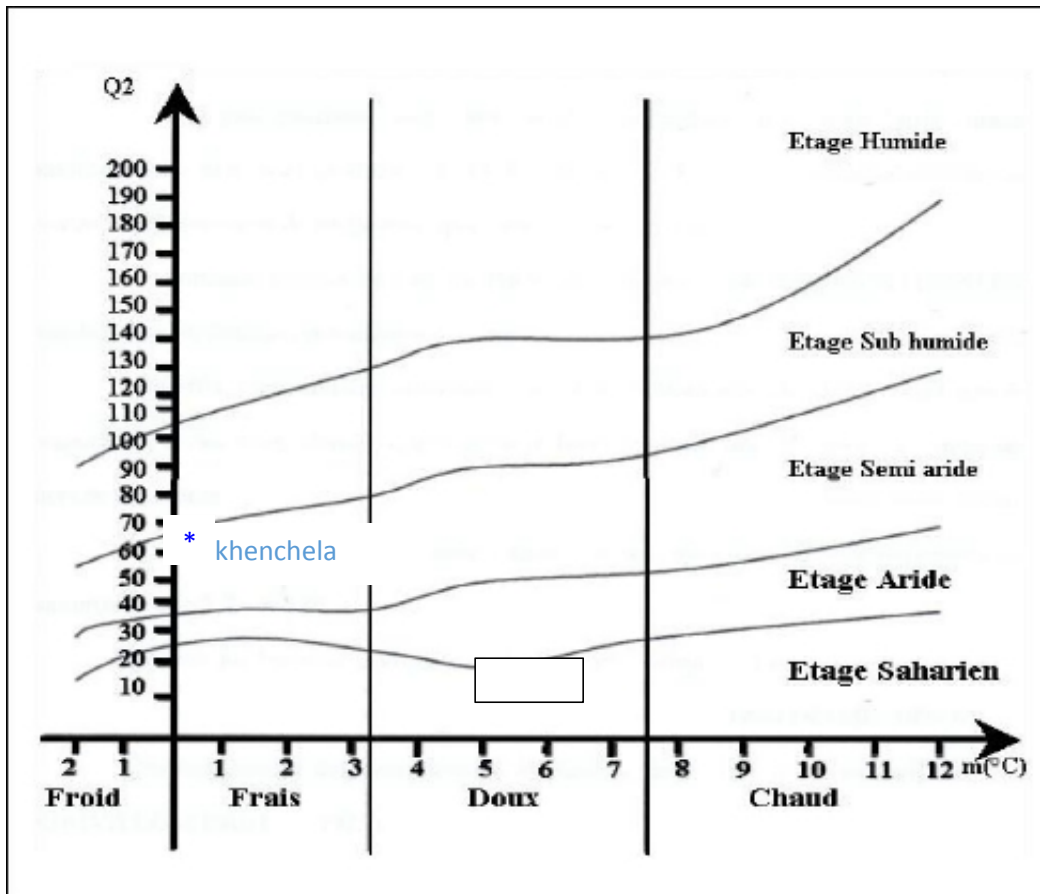


Figure.13:Projection de la zone d'étude dans le climagramme d'EMBERGER pour la station d'el-Hamma.

I.3.2.indice d'aridité de De. Martonne

Indice de martonne (1923) est un indicateur climatique ou une relation entre la hauteur des précipitations et des températures. GHRIEB.A,(2011).

cet indice n'est pas utilisable dans les régions froides à cause de sa sensibilité aux température annuelle très basses Indice d'aridité de martonne (Berkani 2010)

On le calculer par la formule suivante :

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

I : indice d'aridité annuel de De.Martonne

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyenne annuelle(°C)

station	P (mm)	T	i
khenchela	624,99	375,46	20

Avec :

$I < 5$: climat hyper aride

$7.5 < I < 10$: climat steppique

$10 < I < 20$: climat semi aride

$20 < I < 30$: climat tempère

$I > 30$: climat humide

La valeur de l'indice : 20

Donc le climat de notre zone d'étude est une zone avec un climat semi aride

I.4. Bilan hydrologique

le bilan hydrologique et un mécanisme du mouvement et renouvellement des eaux , sa connaissance nécessite la disponibilité des données climatiques (température, précipitaion).

pour déterminer le bilan hydrique on calcule: l'infiltration, l'évapotranspiration et le ruissellement.

I.4.1. L'évaporation

L'évaporation est définie comme étant la restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe, aussi bien, la lame d'eau évaporée à partir du substratum terrestre que celle transpirée par les plantes. Il faut distinguer entre l'évaporation potentielle (E.T.P) employée lorsque la surface évaporant est convenablement alimentée en eau, et l'évaporation réelle (E.T.R) qui tient compte de l'abondance de l'eau à la surface. L'ETR par définition, inférieur ou égale à l'ETP. (Djelloul et Saidi. 2017).

I.4.2. Evapotranspiration potentielle (ETP)

Évapotranspiration = évaporation + transpiration des plantes

C'est la quantité maximale d'eau qui sera probablement perdue dans le stade de la vapeur sous un climat donné par une couverture de végétation continue bien alimenté en eau et une plante de croissance saine, elle comprend donc l'évaporation des sols et la transpiration du couvert végétale au cours de la période considérée pour un terrain donné.

I.4.2.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Afin d'évaluer la diffusion possible, les méthodes basées sur les variables climatiques, cependant, le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et du type climatique de la région. Les formules empiriques utilisées sont: THORNHWAITE et ANRH2002.

I.4.2.2. la formule de THORNHWAITE

La formule THORNHWAITE nous permet d'estimer la possibilité d'évapotranspiration potentielle sur l'échelle mensuelle dans un endroit en fonction de la température mensuelle moyenne et de la latitude de cet endroit.

$$ETP(m) = 16 * \left[\frac{10 * \bar{T}(m)}{I} \right]^a * F(m, \phi)$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad i(m) = \left[\frac{\bar{T}(m)}{5} \right]^{1.514}$$

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

T : température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

I : indice thermique mensuel

a : coefficient en fonction de l'indice I (a = 1.6 / 100) I + 0.5)

K : coefficient de correction; qui dépend du temps et de l'altitude

I.4.3. Calcule de l'évapotranspiration réel (ETR)

C'est la quantité d'eau évaporée par le sol et la végétation, elle tient compte de la lame d'eau de la surface évaporante. Celle-ci est inférieure ou égale à l'ETP qui correspond à une restitution hydrique maximale à l'atmosphère. (Latreche et Malkia 2015).

pour la détermination de ce paramètre à l'échelle annuelle , on utilise les formules de TURC et de COUTAGNE

I.4.3.1. Méthode de TURC :

la formule de TURC mensuelle permet de calculer ponctuellement (en une station) l'évapotranspiration potentielle mensuelle . cette forme est la suivante (Arlery et al., 1954)

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

Où:

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en mm

P: Précipitation moyenne annuelle en mm

T: Température moyenne annuelle (en °C)

$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$: pouvoir évaporant de l'atmosphère .

I.4.3.2. Méthode de THORNTHWAIT

Le même auteur signale que cette méthode met en évidence quatre paramètres: ETP, déficit agricole ,ETR (DA) et l'excédent (EX) . Tous ces paramètres dépendent de l'estimation de la réserve facilement utilisable (RFU),

la RFU est la quantité de l'eau stockée dans la couche de sol et qui est facilement utilisable par des plantes, en raison de son bon fonctionnement physiologique.

La détermination de la ETR en fonction de l'ETR de la quantité d'eau disponible (pluie + RFU) ETR peut être évaluée par l'évaluation du bilan et l'application de certaines formules empiriques.

Il peut être calculé en utilisant les conditions suivantes :

- Si $ETP = P$; Il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR , la réserve RFU ne se modifie pas et aucune infiltration est produite en direction de nappe.
- Si $ETP > P$; on $ETR = P + RFU$. un déficit apparait une partie de l'RFU sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'ETR . l'évapotranspiration agit donc sur le sol.
- Si $ETP < P$; alors $ETR = ETP$. RFU pourra atteindre son maximum au-delà du quel , il y aura une infiltration vers la nappe.

Il est très nécessaire d'établir l'évaluation hydrologique du bassin hydrologique, qui fournit des informations sur la relation entre la quantité d'eau de précipitation, l'évapotranspiration, le déficit dans le sol et le flux observé au niveau de l'exutoire.

La méthode THORNHWAITE permet d'établir une évaluation mensuelle hydrologique. Pour la station d' EL Hamma est porté dans le tableau suivant :

Tableau n°05: Bilan hydrologique des eaux du bassin versant de Rémila-khenchela. (1994-2020)

Chapitre II

cadre hydroclimatologique

	sep	oct	nov	déc	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	
p(mm)	66,13	47,46	44,4	47,06	50,9	40,66	56,45	64,81	71,58	42,4	19,58	55,63	607,06
T(°C)	25,45	19,87	13,4	9,61	8,19	9,29	12,57	16,45	21,68	27,78	31,83	31,08	227,20
i	11,74	8,07	4,44	2,68	2,11	2,55	4,03	6,06	9,21	13,41	16,48	15,89	96,67
k	1,03	0,97	0,85	0,83	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	12,33
ETP(mm)	118,73	67,48	26,47	13,12	9,92	12,53	28,15	51,58	100,57	166,77	223,77	201,02	1020,11
P-ETP	-52,6	-20,02	17,93	33,94	40,98	28,13	28,3	13,23	-28,99	-124,37	-204,19	-145,39	-413,05
ETR (mm)	66,13	47,46	26,47	13,12	9,92	12,53	28,15	51,58	100,57	113,41	19,58	55,63	444,55
RFU(mm)	0	0	17,93	51,87	92,85	100	100	100	71,01	0	0	0	533,66
EX (mm)	0	0	0	33,86	40,98	28,13	28,3	13,23	0	0	0	0	162,43
DA(mm)	52,6	20,02	0	0	0	0	0	0	28,99	124,37	204,19	145,39	575,56

Comment vérifier si un bilan hydrique est équilibré ;

$$1.P = ETR + Ex$$

2. ETP

= ETR + Da

Vérification du bilan hydrique

$P = 544.55 + 62.51 = 607.06 \text{ mm}$

$ETP = 544.55 + 475.56 = 1020.11 \text{ mm}$

I.4.4. Interprétation du bilan hydrique

Les réserves en eau commencent à se reconstituer dès le mois de novembre, les précipitations l'emportent sur l'évapotranspiration ; le mois de novembre annonce le début de saison agricole. Les réserves en eau arrivent à saturation au mois de février. L'excédent en eau ressentie en ce mois de février s'infiltrerait progressivement pour alimenter les réserves en eau souterraines. La recharge des nappes se prolonge tout au long du printemps, le niveau piézométrique commence par remonter les puits et les forages se rempliraient ; la coïncidence du niveau piézométrique avec le niveau topographique du sol, générerait une résurgence de l'eau sous forme de chotts marécage et lac. La réponse des nappes à cette recharge se voit à travers l'écoulement des sources, des ruisseaux et des oueds. Cet écoulement de surface va alimenter les plans d'eau libre (lac, barrage, sebkha)

Le déficit agricole est ressenti au mois de juin et se poursuit jusqu'au mois d'octobre, sur une période continue de six mois. Au début de cette période commence l'épuisement des réserves et la lente mort des plantes s'en suivrait.

Comme le bilan hydrologique est déficitaire nous proposons une politique de gestion rationnelle des ressources en eau qui reposerait sur de nouvelles techniques d'irrigation (encourager le goutte à gouttes) le recyclage des eaux usées comme ressources pérenne et inépuisable ; imposer des périmètres de protection des ressources actuelles, capter les eaux de surfaces par la construction de petites retenues d'eau qui seraient destinées à l'irrigation et à l'abreuvement des bestiaux.

I.4.5. Calcul de ruissellement

le ruissellement correspond à l'écoulement des eaux pluviales, ces eaux constituées d'eau de pluie, de neige qui ruissellent à la surface du sol jusqu'à les cours d'eau ; qui sont conditionnés par des différents facteurs hydrogéographiques, l'écoulement

se produit lorsque l'intensité des précipitations dépasse les capacités d'infiltration et de rétention à la surface d'un sol

Le calcul du ruissellement sera utilisé pour évaluer les contributions liquides des oueds, la réduction des barrages et les ponts et la prévention contre les inondations

pour déterminer le bilan hydrologique, il est nécessaire de calculer le ruissellement (R) à partir de la formule de TIXERONT-BERKALOFF

$$R = \left[\frac{P^3}{3[ETP]^2} \right]$$

R : ruissellement en mm

P: précipitation moyenne annuelle en mm

ETP : évaporation potentielle en mm

Après les calculs on a trouvé le résultat suivant : $R = 71.66 \text{ mm}$

I.4.6. Estimation de l'infiltration

L'infiltration est le phénomène de passage de l'eau de la surface du sol à l'intérieur de celui-ci. L'infiltration revêt une grande importance car c'est elle qui contrôle plusieurs processus en hydrologie comme le ruissellement, l'humidification des sols et la percolation profonde. (Musy et Soutter, 1991).

On a la formule de bilan globale : $P = R + I + ETR$

Donc : $I = P - R - ETR$

Avec

P : précipitation moyenne annuelle en mm

R : Ruissellement annuel en mm

I : l'infiltration moyenne annuelle en mm

ETR : évaporation réelle annuelle en mm

Le résultat de calcul de l'infiltration directe à partir du sol est égale à 9.48 mm.

Conclusion

Dans le secteur étudié, le Crétacé inférieur s'est déposé sous forme de calcaires marneux, de marne, de calcaire gréseux et des calcaires compacts. Sur le secteur étudié, l'Aptien affleure au Djebel Fedjoudj, au Nord du bassin. Dans l'ensemble du massif du Fedjoudj, les faciès gréseux sont donc très réduits et il y a prédominance de calcaires néritiques à Orbitolines et de dolomies.

L'Albien existe dans les anticlinaux des Aurès, mais n'affleure pas au Nord dans la chaîne du Djebel Fedjoudj. Dans l'Aurès, il présente souvent un faciès gréseux, marneux et dolomitique il devient franchement marneux.

Au Sud du bassin, l'Albien est représenté sur la bordure de l'Anticlinal de Khenchela (Djebel Aidel).

Le tertiaire est constitué d'argiles rouges gypseuses et repose directement, en discordance, sur le Crétacé. Cette formation est composée de marnes gréseuses et grès reposent directement sur le conglomérat de base. 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. L'épaisseur de cette série marine semble varier de 200 à 400 m sur la bordure Sud de la plaine.

Les affleurements ne sont connus qu'au Sud du bassin, jusqu'au Djebel Amrane. Il est probable qu'en profondeur, l'extension de ces dépôts soit limitée au prolongement de cet anticlinal sous la plaine.

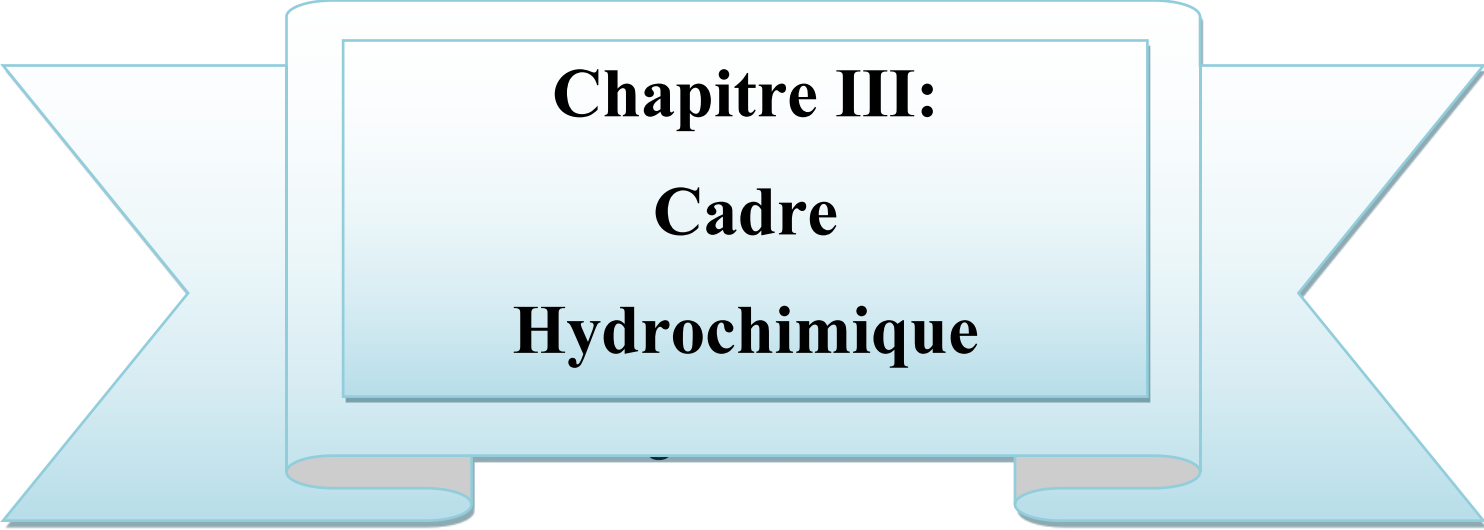
Les formations quaternaires sont particulièrement bien développées dans les régions comprises entre les reliefs crétacés des monts des Aurès au sud et la dépression centrale du bassin de Rémila, établie principalement sur le Néogène.

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. La corrélation des coupes géo électriques avec des log stratigraphique de 19 forages de reconnaissance a permis d'identifier les aquifères, de déterminer leur extension et leur profondeur.

L'existence de plusieurs nappes profondes contenues dans les différents niveaux grossiers du remplissage est mise en évidence par la prospection géophysique.

Les aquifères sont constitués de conglomérats de graviers et graviers sableux.

Mise en évidence d'une zone de bonne transmissivité de: $T=10^{-2}m^2/s$ Correspondant aux conglomérats profonds qui doivent reposer directement sur le Les principaux aquifères prolongements.



**Chapitre III:
Cadre
Hydrochimique**

Introduction

l'étude hydrologique doit être complétée par une étude chimique qui permet de présenter les caractéristiques des eaux souterraines et de déterminer :

- . L'origine des eaux souterraines, ainsi que leur potabilité et leur degré de pollution.
- . Les critères physico-chimiques de la qualité des eaux superficielles pour l'irrigation ainsi que d'établir la relation géologie-chimie

L'interprétation des analyses a pour but de déterminer le faciès chimique, d'effectuer des comparaisons chimiques et d'établir des classifications ioniques afin de mettre en évidence les différents éléments pouvant jouer un rôle primordial dans l'acquisition de la minéralisation des eaux et de caractériser ainsi les eaux souterraines.

Le présent travail est une initiation à la recherche scientifique en matière d'hydrogéochimie et de pollution naturelle et/ou anthropique des eaux; il s'agit de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux du versant nord des Aurès et ses prolongements naturelles dans la plaine de Rémila par la mise en exergue de la composition chimique des eaux et la qualité des eaux, du faciès chimiques, et de leur portabilité et l'aptitude de ces eaux à l'irrigation d'une part et d'autre part de hiérarchiser les processus qui affectent la qualité chimique des eaux souterraines

Pour ce travail de recherche qui n'est qu'une contribution à la caractérisation des eaux souterraines du versant Sud des Aurès, nous avons travaillé sur 6 sources qui captent toutes l'aquifère carbonaté et 8 forages qui émergent dans le remplissage Plio-quaternaire. Pour les mesures de terrain, le prélèvement et les analyses physico-chimique, la pandémie du Covid-19 était un empêchement pour nous réaliser des campagnes de prélèvement et de profiter de cette expérience en présence de nos enseignants encadreurs, afin de découvrir le matériel de terrain (multiparamètre, GPS, cartes topographiques, de réaliser des mesures in-situ, de manipuler les sondes de mesures de la profondeur, de se familiariser avec les techniques d'échantillonnage et enfin le flaconnage. Il était important pour nous de décrire les caractéristiques organoleptiques, de réaliser des mesures in-situ et de géo référencier tous nos points d'eau en utilisant le matériel adéquat ; malheureusement notre dévolu s'est jeté sur les travaux antérieurs et les

résultats d'analyses réalisés par les chercheurs de notre unité de recherche Eau, environnement et changements climatique du laboratoire Biotechnologie, Eau, Environnement et santé.

La fiabilité des analyses chimiques a été contrôlée à l'aide de la balance ionique (BI)

Les analyses pour lesquelles la balance ionique est supérieure à 10 seront éliminées lors de l'interprétation .

I. Matériels et méthodes

I.1. Prélèvement

I.1.1. Considération générales sur l'échantillonnage

L'échantillonnage d'une eau comprend la préparation du prélèvement, le prélèvement proprement dit, le conditionnement de l'échantillon, ainsi que son stockage jusqu'au moment où l'eau est analysée. Chacune de ces étapes est importante pour assurer la fiabilité des résultats d'analyses physico-chimiques pour caractériser la composition chimique des eaux, leur fonctionnement et leur faciès chimique (**Berkani, 2010**).

I.1.2. Les étapes de l'échantillonnage

A. Préparation du matériel

Les échantillons d'eau destinées aux analyses physico-chimiques sont prélevées dans des flacons en plastique et en verre stériles par des gouttes d'acide nitrique et bien rincées avec l'eau à échantillonnée(**Berkani, 2010**).

Le matériel de terrain consiste à : une série de bouteilles d'échantillonnage, une glacière (istherme) , un échantillonneur, sonde(pour mesurer le niveaux statique d'eau),et étiquettes ,carnet de terrain, carte topographique et GPS (Global postioning System), carte géologique et des instruments de mesure, tel qu'un multi paramètre, thermomètre , un PH-mètre et un oxymètre (**Houha, 2007**).





B. Calibrage des appareils

Le calibrage est une étape essentielle lors de l'utilisation des instruments de mesure sur terrain, elle se compose de deux parties : tout d'abord l'examen et ensuite un ajustement. Les appareils utilisés sont le multi paramètre , le thermomètre , l'oxymètre et le ph-mètre **(Berkani, 2010)**

B. Prélèvement et conservation des échantillons

Collecter les échantillons dans des flacons en polyéthylène à haute densité qui ont été nettoyés soigneusement avec de l'eau désionisée ensuite plusieurs fois avec de l'eau à échantillonner. Ne pas nettoyer les flacons avec des acides forts ou des détergents car ils laissent des traces d'ions sur les parois. Ces ions peuvent interférer avec les analyses Si les échantillons ne sont pas analysés le même jour que leur collecte, les filtrer avec des filtres de 0.45µm immédiatement après leur collecte, sinon des bactéries dans l'échantillon peuvent faire changer la concentration des ions avec le temps. Réfrigérer les échantillons à 4°C pour minimiser l'activité bactérienne **(Benmoussa, 2021)**

I.2. Techniques de mesures et d'analyses in situ

Certaines variables doivent être mesurées sur le terrain, à l'aide de capteurs manuels (multiparametre) ou par d'autres moyens, de même qu'en laboratoire. Cette apparente répétition des mesures tient au fait que l'échantillon peut changer d'état pendant le transport entre le lieu de prélèvement et le laboratoire

La température de l'échantillon devrait toujours être relevée immédiatement à partir d'un échantillon distinct, qui ne fera l'objet d'aucune autre analyse. En outre, les concentrations l'oxygène dissous sont habituellement déterminées à l'aide d'un appareil ou par la méthode de Winkler. Deux autres variables devraient être mesurées sur le terrain afin de documenter tout changement de l'état de l'échantillon au cours du transport vers le laboratoire : le pH et la conductivité spécifique. La turbidité est souvent mesurée sur le terrain, parfois en continu tout au long de la séance d'échantillonnage **(Houha, 2007)**.

I.3. Etude analytique des paramètres physico-chimiques

Les résultats d'analyses chimiques en éléments majeures effectuées sur les échantillons prélevés des 15 points d'eau de la zone d'étude sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau n°06: Résultats des analyses chimiques des eaux (sources et 8 forages) du massif du pourtour des Aurès.

Nom	T°C	Ph	c25°C	HCO3-	Cl-	NO3-	SO4--	Ca++	Mg++	Na+	K+
AK	22	8	373	175	19	12	27	18	27	7	1
CH	21	7	569	223	31	40	38	63	20	10	1
AB	17	7	1837	301	283	105	357	127	84	94	2
AT	16	7	465	191	22	29	32	56	8	9	1
AM	17	7	2070	215	95	32	77	140	55	151	0
AK2	18	8	474	222	19	19	35	58	6	8	1
Forage BA	18	7	806	199	95	139	446	126	58	261	2
F1	19	8	800	183	70	33	144	60	36	48	2
f2	19	8	2200	214	400	58	340	112	67	248	10
f3	20	8	1900	165	170	76	480	184	36	138	2
f4	20	8	1400	403	160	9	238	124	58	122	21
f5	19	8	1300	293	153	5	190	126	49	100	7
f6	18	8	2700	275	500	2,5	500	292	65	220	6
f7	19	8	2800	372	486	2,3	486	274	80	238	10
f8	21	8	2500	288	620	5	323	246	104	130	5

I.3.1. Mesure de température

C'est un paramètre physique variable qui influence tous les autres paramètres physiques, les équilibres chimiques, la densité, la viscosité, la solubilité des gaz et les éléments chimiques dans l'eau (BREMONT et PERRODON, 1979 *in* CURIE, 2006).

La température est l'exemple même du paramètre qui évolue très vite après le prélèvement, en particulier quand l'écart avec la température de l'air est important, car la température de l'eau est fortement influencée par la température de l'air dans des profondeurs de 15-20m..

L'étude des températures des eaux souterraines, mesurées aux points d'émergence ou sources, peut apporter, d'utiles renseignements sur leur origine et sur les conditions de leur circulation et de leur recharge dans le sous-sol. On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, les relations hydrauliques inter-nappes (drainance ou infiltration) et la présence d'éventuelles pollutions ou influences humaines.

Les eaux d'infiltration ont tendance à se mettre en équilibre thermique avec les couches géologiques qu'elles traversent.

Une augmentation de la température de l'eau peut, par exemple, entraîner une diminution de la concentration en oxygène dissous, favorisant la présence de bactéries pathogènes et provoquant ainsi la diminution des micro-organismes indicateurs de la bonne qualité de la ressource (Houha, 2007).

Les températures mesurées in situ sur les eaux souterraines de l'aquifère sont assez homogènes et varient entre 16 °C et 21 °C avec une moyenne de 19 °C.

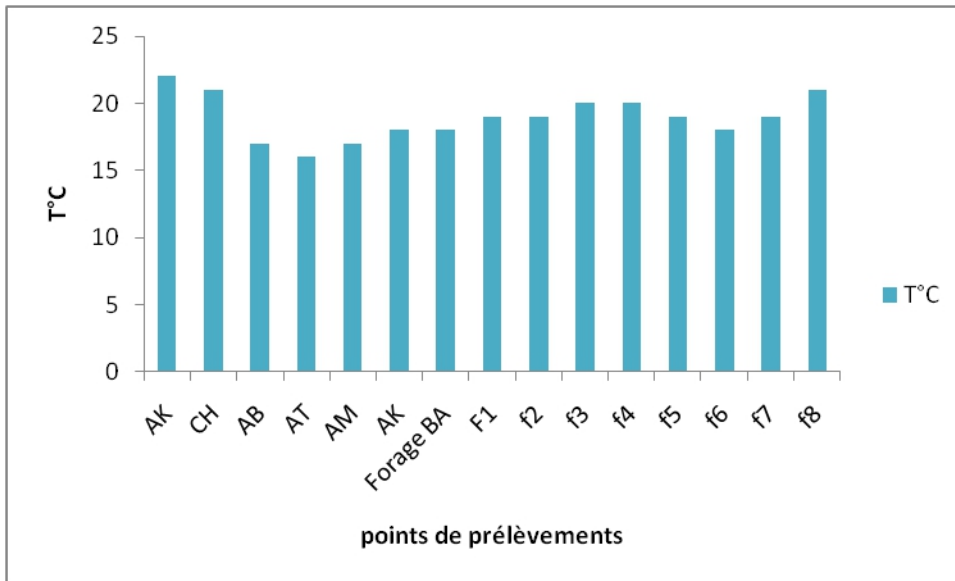


Figure.14: valeurs des températures des eaux du sous bassin versant du massif des Aures (juin 2021)

I.3.2. Mesure de potentiel d'Hydrogène (pH)

La détermination du pH constitue une mesure de concentrations des ions H^+ dans l'eau. Cette mesure est très importante car la valeur du pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. En générale le pH est lié à la nature des terrains traversés et la nature lithologique du réservoir (**Ouldammam, 2020**).

Dans notre secteur d'étude le pH des points d'eau oscille entre une valeur minimale de 7 et une valeur maximale de 8, ces valeurs observées relèvent que le pH est neutre à alcalin (**Benmoussa, 2021**).

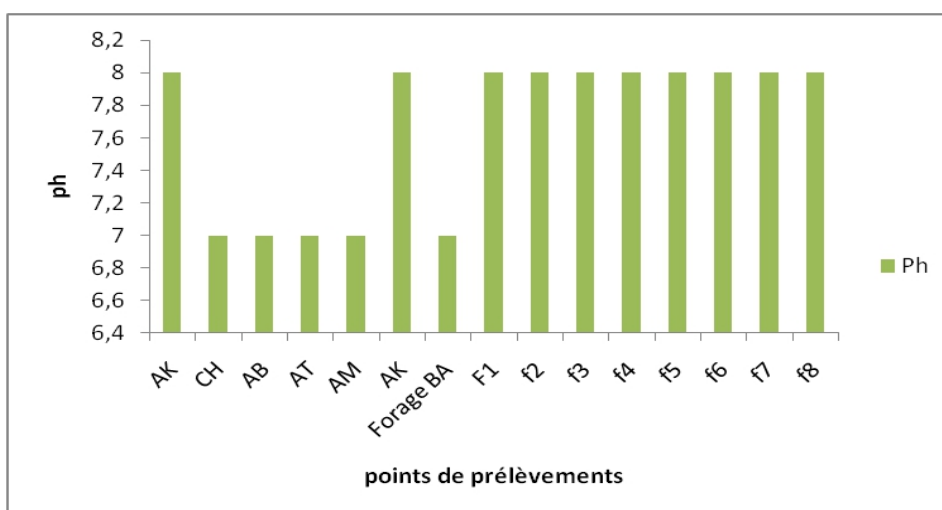


Figure.15: valeurs de pH des eaux du sous bassin versant du massif des Aures (juin 2021)

I.3.3. Mesure de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc c'est une mesure indirecte de la teneur de l'eau en sels dissous. La conductivité électrique est une mesure indirecte de la minéralisation globale d'une solution aqueuse.

Elle dépend de la quantité de sels en solution ; en effet, en se dissolvant, les sels (NaCl, CaCO₃, CaSO₄, MgCO₃.....) se dissocient (Na⁺ et Cl⁻, Ca²⁺ et CO₃²⁻) en paires d'ions (anions et cations) qui autorisent le passage du courant électrique. Plus l'eau contient des ions, plus la solution est minéralisée et plus la conductivité électrique mesurée est élevée.

Elle varie avec la température et doit toujours être corrigée par rapport à une température de référence. La température de référence pour l'expression de la conductivité est de 25°C, mais beaucoup utilisent encore la correction à 20 °C.

L'instrument de mesure qui possède une sonde de température incorporée, corrige automatiquement la valeur obtenue en fonction de la température de l'eau.

Le conductivimètre possède une sonde de température qui corrige la conductivité à 25 °C. Pour les liquides, les résultats sont lus directement et sont exprimés en µS/cm.

L'unité de mesure de la conductivité électrique est Siemens par mètre [S / m]. (Houha, 2007).

Les conductivités électriques des eaux souterraines mesurées de notre région d'étude présentent une grande amplitude de variation. Elle varie entre 373 et 2800 µS/cm avec une moyenne 1479.6 µS/cm

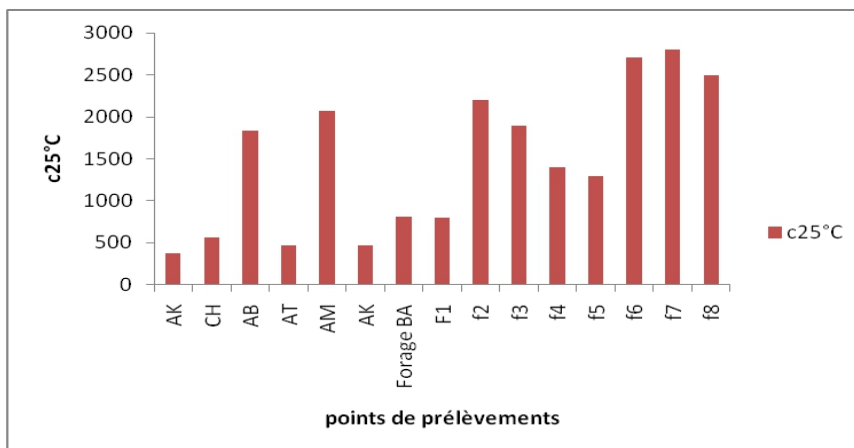


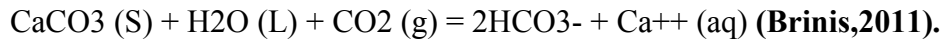
Figure.16 : valeurs de la CE (µS/cm)des eaux du sous bassin versant du massif des Aures (juin 2021)

I.4. Mesure en laboratoire des éléments chimiques majeurs

I.4.1. Les anions

a. Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les bicarbonates proviennent de la dissolutions des formations carbonatées (calcaire, dolomie) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO₂) selon l'équation suivante :



Les teneurs en HCO₃⁻ sont variable dans le secteur étudié , elle varient entre 175 mg/l et 403 mg/l , avec une valeur moyenne de 247.93 mg/l.

B. chlorures (Cl⁻)

ce sont des anions qui se présentent naturellement et toujours dans les eaux naturelles (élément conservé), et surtout en grande quantité dans l'eau de mer (la moyenne est de 19 g/l). Sa teneur dépend de l'origine de l'eau, de la nature des terrains qu'elle travers ainsi que de la pollution. (Houha 2007)

Les valeurs maximales sont enregistrées aux forages F6, F7 et F8 dont les concentrations sont respectivement 500, 486 et 620 mg/l. les teneurs minimales sont enregistrées dans les sources AK, CH et AT dont les concentrations sont respectivement 19, 22 et 31 mg/l .

C. Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates (NO₃⁻) est la forme la plus oxydée de l'azote. Ils sont indispensables aux développements des végétaux. La plupart des eaux naturelles contient normalement des nitrates à des doses faibles (quelques milligrammes par litre). Cependant de nombreuses eaux souterraines et de surfaces ont une concentration élevée en nitrate du fait de l'enrichissement des sols par les engrais ou par les rejets d'eaux usées domestiques ou industrielles.

La détermination des nitrates était effectuée par la méthode de la réduction par colonne cadmium traité au cuivre. Cette méthode décrite en RODIER (2009) consiste à faire passer un volume de 50 ml par la colonne. Ce volume contient 5 ml d'échantillon, 5 ml de la solution tampon et 40 ml d'eau distillée. Le volume versé dans la colonne sera récupéré mais uniquement les derniers 25 ml. L'eau récupérée contenant des nitrites (résultats de la réduction des nitrates par la colonne), qui seront transformés en sel de diazonium par l'ajout

du réactif de diazotation. La solution finale est mesurée par un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 537 nm. (Houha 2007)

Les valeurs maximales sont enregistrées aux forages AB, F3 et source AB dont les concentrations sont respectivement 139, 76 et 105 mg/l. les teneurs minimales sont enregistrées dans les forages F7, F6 et F5 dont les concentrations sont respectivement 2.3, 2.5 et 5 mg/l .

d. Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates (SO₄²⁻) sont des composés naturels des eaux, il sont liés au cations majeurs: calcium, potassium et sodium. Il proviennent essentiellement de la dissolution du gypse (CaSO₄, 2H₂O). les sulfates peuvent provenir de l'activité humaine (Brinis, 2011).

Ils sont déterminés par la méthode néphélométrie, décrite dans RODIER (2009). Elle consiste à mesurer à l'aide d'un spectrophotomètre (de marque BOECO, S20), l'absorbance d'une prise d'eau de 39 ml d'échantillon. La prise est acidifiée par l'ajout d'un 1 ml de HCl (N/10), afin de la stabilisé et on ajoute 5 ml de la solution de chlorure de baryum (BaSO₄²⁻) stabilisé par le Tween 20. La mesure est effectuée à une longueur d'onde de 650 nm. (Houha, 2007)

Les valeurs maximales sont enregistrées aux forages F6, F7 et F3 dont les concentrations sont respectivement 500, 486 et 480 mg/l, les teneurs minimales sont enregistrées dans les AK ,AT et CH dont les concentrations sont respectivement 27 , 32 et 38 mg/ l .

I.4.2. Les cations

a. Calcium Ca⁺⁺

Le calcium , élément principal de la dureté de l'eau , est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Dans les roches sédimentaires, il se présente sous forme de carbonates (calcite , dolomite et aragonite) . (Drever, 1997)

Les valeurs maximales sont enregistrées aux forages F6, F7 et F8 dont les concentrations sont respectivement 292, 274 et 246 mg/l, les teneurs minimales sont enregistrées dans les sources AK, AT et AK dont les concentrations sont respectivement 18, 56 et 58 mg/l .

b. Magnésium (Mg ⁺⁺)

Le magnésium est le quatrième cation, après le calcium, le potassium et le sodium, ainsi que le deuxième cation intracellulaire le plus abondant du corps humain dont il représente 0.05% (**Wacker, W. & Parisi A., 1968, cités par Nadier, J. & RudeR., 1995**).

Il provient principalement de la dissolution des dolomies, des calcaires et marnes dolomitiques. Il est faiblement présent dans les eaux de pluies en général. La présence du magnésium, dans la cinétique d'acquisition chimique est lente, caractérise des eaux qui ont séjourné longtemps dans les blocs capacitifs donc à transit lent (**Henri BENECH, 1999**).

Magnésium: $MgCO_3 = Mg^{+2} + CO_3^{-2}$

Dolomite : $Ca Mg (CO_3) = Ca^{+2} + Mg^{+2} + CO_3^{-2}$

Les valeurs maximales sont enregistrées aux forages F8, F2 Et la source AB dont les concentrations sont respectivement 80 , 67 et 84 mg/l, les teneurs minimales sont enregistrées dans les sources AK, AT et CH dont les concentrations sont respectivement 6, 8 et 20 mg/l .

e. Le sodium Na^+

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formation salifères et à l'effet de la salinité marine. La plus importante source de sodium se trouve dans les évaporites (halite $NaCl$, mirabilite $Na SO_4 (10(H_2O))$). (**Benmoussa, 2021**).

Les valeurs maximales sont enregistrées aux forages BA, F2 et F7 dont les concentrations sont respectivement 261, 248 et 238 mg/l, les teneurs minimales sont enregistrées dans les sources AK, AT et AK dont les concentrations sont respectivement 7, 8 et 9 mg/l.

f. Le potassium k^+

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques. En général le potassium dépasse rarement les 10 ou 15 mg/l dans les eaux naturelles (**Houha, 1996**).

Dans notre région d'étude les teneurs potassium sont beaucoup moins abondantes que le sodium, la teneur maximale observée est de 21 mg/l.

I.5. Le faciès chimique des eaux échantillonnées

Pour classer et connaître les différents faciès chimiques aux quels appartiennent les eaux étudiées , plusieurs méthodes ont été définies par divers auteurs , les deux graphiques , Schoeller-Berkaloff et piper , sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes .

I.6. Diagramme de piper

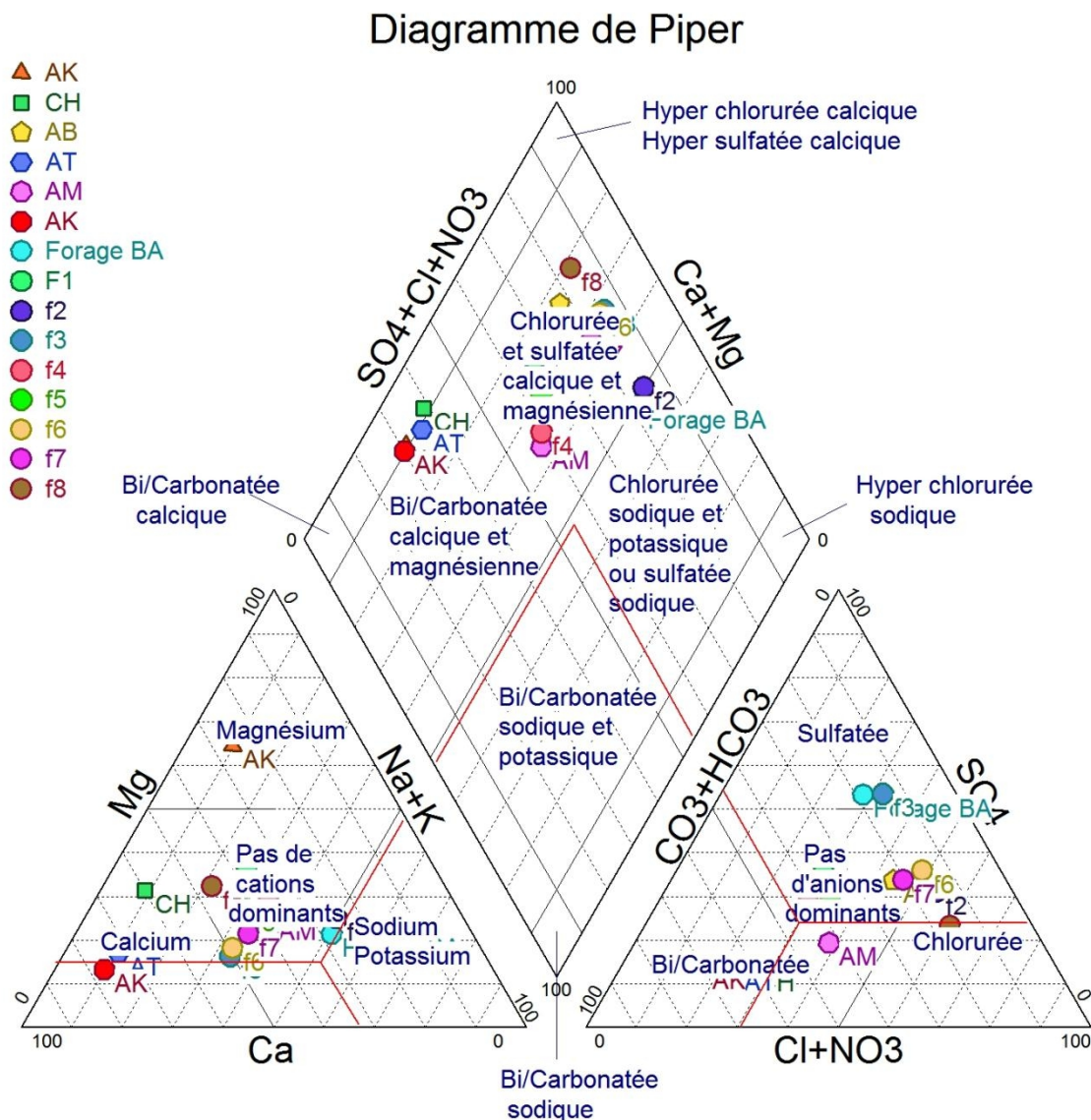


Figure.17: classification des eaux selon diagramme de piper

Les résultats des analyses chimiques en ions majeurs exprimé en mg/l ont été également reportés sur le diagramme de Piper (Figure 17). Les eaux de sources qui affleurent dans les

formations carbonatées possèdent un faciès bicarbonaté calcique, au fur de l'écoulement et du changement de la structure et de la texture géologique et du climat les eaux évoluent vers un faciès secondaire de type chloruré calciques à sulfatées calcique et magnésien, enfin les eaux qui captent le remplissage Plio-quaternaires constitué de gravies, sable, conglomérat contenant des inclusions évaporitiques salines (gypse et halite) présentent un faciès chloruré sodique.

I.7. Diagramme de schoeller-Berkaloff

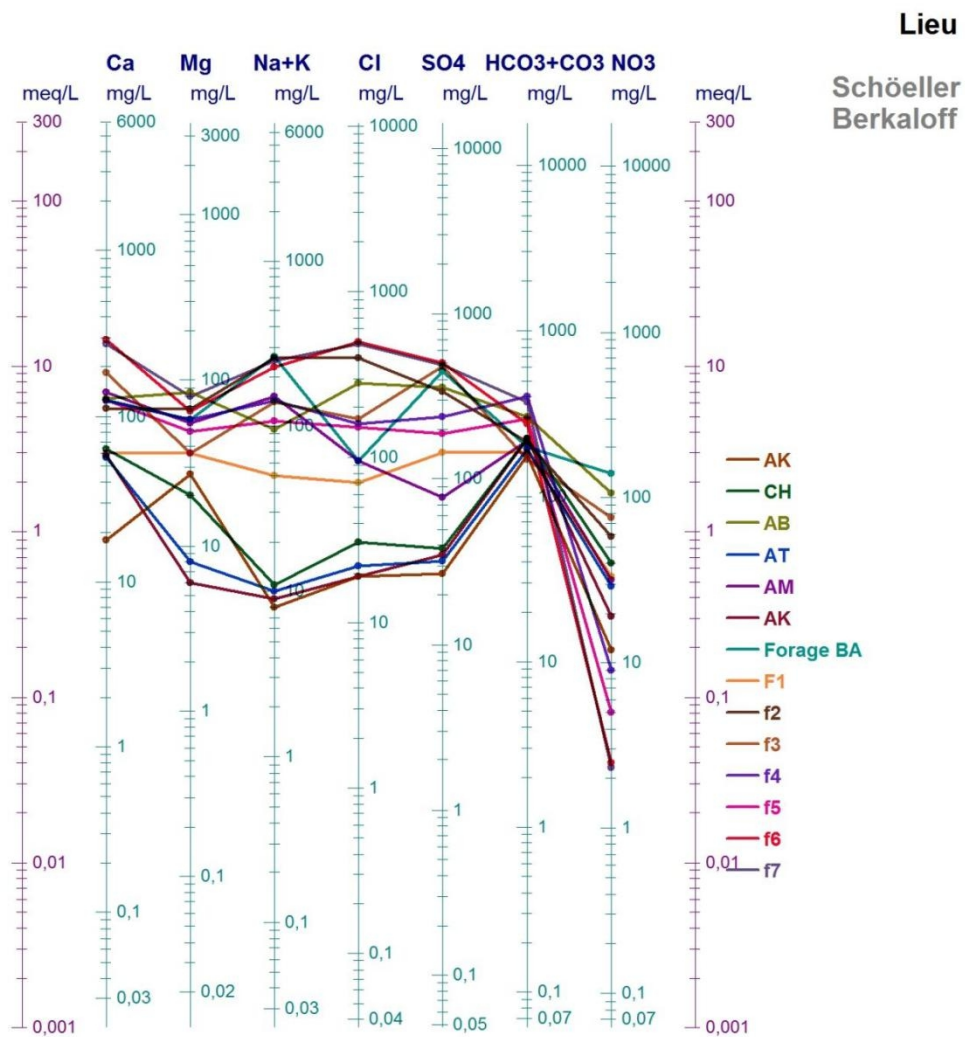


Figure.18: représentation graphique des faciès chimiques sur diagramme de Scholler-Berkaloff

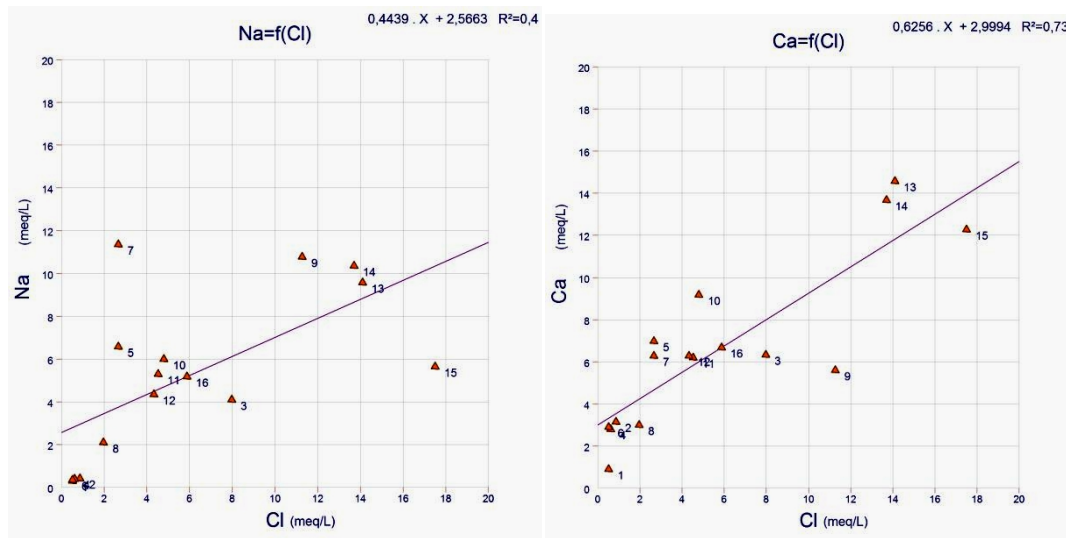
Les résultats des analyses chimiques ont été portés sur les diagrammes semi logarithmiques de SCHOELLER-BERKALOFF où chaque composition chimique sera représentée par une ligne figurative. (fig.). le diagramme tracé confirme la dominance du faciès chloruré calcique. Permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions Cl⁻ et Ca⁺⁺.

Certaines échantillons d'eau présentent un faciès bicarbonaté calcique, d'autres chloruré sodique.

I.8. Relation binaires

I.8.1. Relation des éléments majeurs en fonction de chlorure

Pour comprendre les processus hydrochimique des eaux, nous avons utilisé les diagrammes de corrélation ionique réalisés en concentrations molaires des principaux éléments majeurs (Figure 19). Les diagrammes Na⁺ / cl⁻ - et K / cl⁻ - montre que le R = 40% et 14% (faible concentration), les échantillons d'eau n'ont pas la même origine chimique. Par contre les diagrammes Mg/cl⁻, So4 / cl⁻ - et Ca / cl⁻ - montre que R = 70%, 50% et 73% (forte concentration) les échantillons d'eau sont de la même origine chimique à savoir la dissolution de minéraux tels que, chlorure de magnésium et chlorures de calcium CaCl₂.



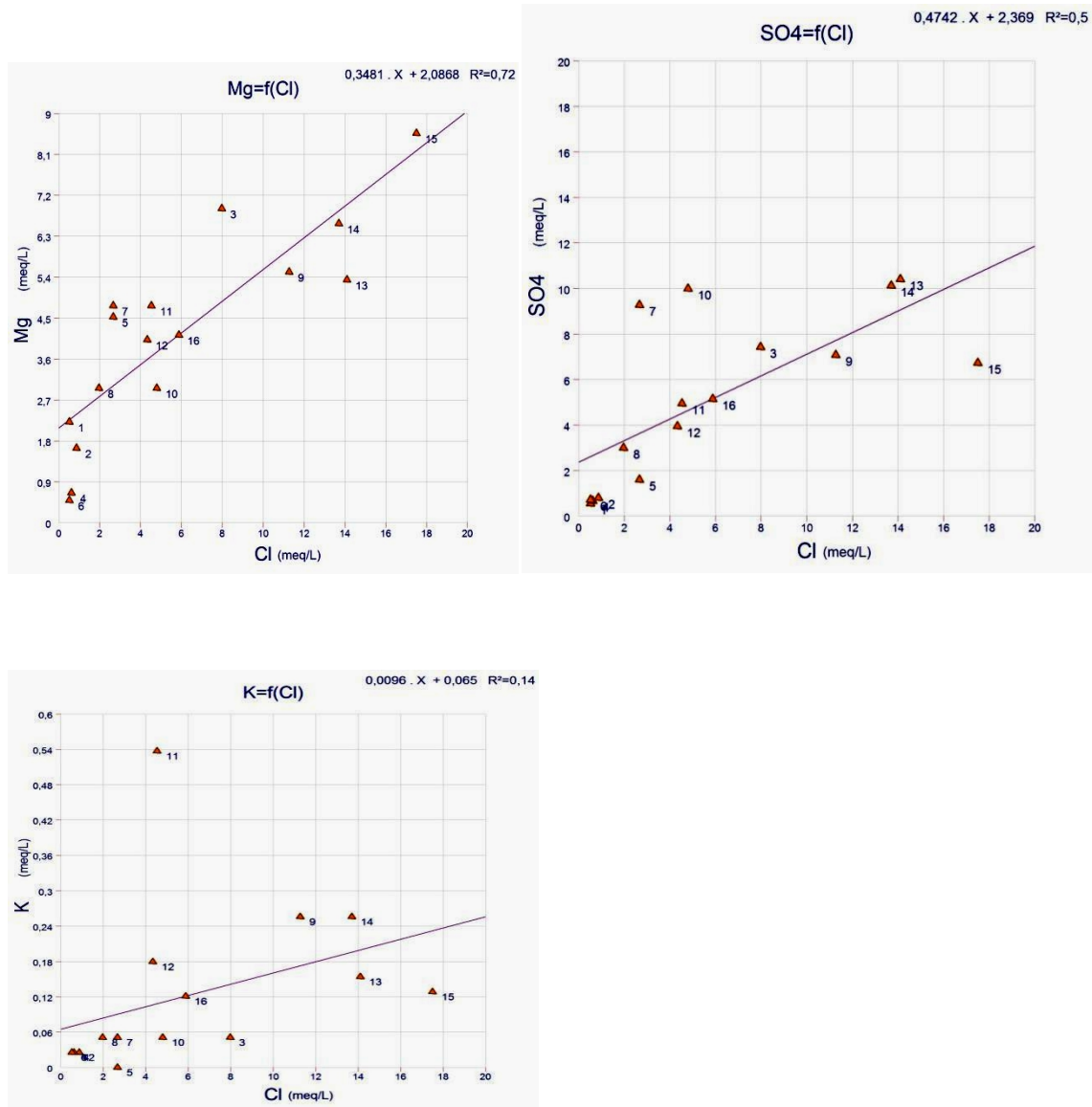


Figure.19: Relation entre les éléments majeurs et les chlorures

I.8.2. Rapports caractéristiques des éléments majeurs

Origine des éléments chimiques et Mécanismes de l'acquisition de la charge saline

Afin de discriminer l'origine de la minéralisation des éléments chimiques ; une première approximation consiste à croiser les principaux éléments majeurs (Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} , K^+ , SO_4^{-2} , HCO_3^-), sous forme de rapports caractéristiques de déceler d'éventuelle corrélation et une certaine linéarité entre ces éléments chimiques afin d'identifier les minéraux qui sont à l'origine de la minéralisation des eaux

Pour comprendre les processus hydrochimique des eaux, nous avons utilisé les diagrammes de corrélation ionique réalisés en concentrations molaires des principaux éléments majeurs (Figure 20).

Rapport Mg/Ca

C'est le rapport des concentrations du Mg^{2+} et du Ca^{2+} . Il permet d'apprécier la part de Magnésium (provenant de roches dolomitiques) par rapport au Calcium. Une valeur élevée serait liée à la présence de dolomies et/ou à un temps de séjour long (Barbieri et *al.*, 2005).

Sur le digramme Mg/Ca, le coefficient de corrélation est significatif de l'ordre de $R=0.52$, nous sommes en présence de la dissolution de minéraux carbonatés tels que savoir la calcite ($CaCO_3$), la magnésite ($MgCO_3$) et la dolomite ($CaMgCO_3$)₂.

Le diagramme HCO_3^- / Ca montre un nuage de dispersion aléatoire marqué par un faible coefficient de corrélation $R=0.25$ marquant une origine diverse et non carbonatée seulement. Le diagramme Ca / HCO_3^- montre un excès des ions Ca par rapport aux HCO_3^- ceci peut s'expliquer par un apport des ions Ca^{2+} à partir de la dissolution des évaporites (gypse et anhydrite), (origine évaporitiques).

Le diagramme $Ca / HCO_3^- + SO_4^{2-}$ montre une origine carbonatée du calcium, ceci n'est pas en contradiction avec le diagramme précédent. En effet Issaâdi (1992) a évoqué que le réservoir carbonaté des eaux thermales qui ont donné cet excès en calcium et lors de l'ascension de ces eaux en surface a induit la dissolution des formations évaporitiques.

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,

Le diagramme Na/Cl est marqué par un nuage de point non linéaire qui traduit un faible coefficient de corrélation $R=0.40$ ce qui indique que ces deux éléments chimiques sont le résultat d'un apport divers et non liés uniquement à la dissolution de l'halite

Le diagramme SO_4^{2-}/Ca montre une bonne corrélation $R=0.64$ entre ces deux éléments ce qui indique un apport en calcium par la dissolution des évaporites (Gypse et Anhydrite).



Figure.20: Rapport caractéristique entre les éléments majeurs

I.9. ETAT DE SATURATION

Pour déterminer l'influence des éléments chimiques, nous avons utilisé l'outil thermodynamique par le calcul de l'indice de saturation. D'après la loi d'action de masse, pour une solution aqueuse en équilibre avec un minéral, le produit d'activité ionique (IAP) du minéral est égal à la constante d'équilibre (KSP) thermodynamique. Le degré de saturation d'une eau peut être représenté par

$$IS = \text{Log} (\text{PAI}/\text{KSP})$$

Cette constante K caractérise l'équilibre établi dans un système réversible qui cesse d'évoluer (pour une température donnée). (Houha 1996)

A. Variation de l'indice de saturation :

les résultats obtenus après calcul sont dans le tableau ci-dessous :

Notons qu'un indice de saturation 'IS nul correspond à la saturation; il s'agit d'un état de la saturation qui correspond à l'état d'équilibre entre le minéral et la solution, dépendant de la température et surtout du pH. La sous-saturation ($IS < 0$) indique la dissolution spontanée du minéral; Alors que la sursaturation ($IS > 0$) indique la précipitation spontanée du minéral. (Houha 1996)

L'observation du tableau 1 montre que les indices de saturation sont en majorité positifs pour les minéraux carbonatés suivants : la calcite, l'aragonite et la dolomite indiquant un état de saturation à sursaturation. La figure.....confirme bien cette évolution de la tendance de la solution à la sursaturation des minéraux carbonatés ce qui indique la précipitation minérale..

Les minéraux évaporitiques qui sont représentés par le gypse, l'anhydrite et l'halite présente des valeurs d'indices de saturation négatives voire très faibles pour l'halite, qui indique un état de sous saturation, en effet une éventuelle dissolution de ces minéraux peut contribuer à l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines

Le calcul de l'indice de saturation des différents minéraux dans l'eau indique que seuls les minéraux carbonatés ont tendance à précipiter. Par contre, les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous saturation, donc en état de dissolution.

Tableau n°07: Evolution des indices de saturation des minéraux

	Minéraux carbonatés			Minéraux évaporitiques		
	CALCITE	ARAGONTE	DOLOMITE	GYPSE	ANHYDRITE	HALITE
Ain chabor1	-0,45	-0,6	-0,42	-2,55	-2,78	-6,86
Ain chabor2	-0,09	-0,24	-0,38	-1,91	-2,14	-8,06
an babar	-0,32	-0,47	-0,58	-0,8	-1,05	-6,18
ain nsigha	-0,06	-0,21	-0,72	-2,01	-2,26	-8,24
ain moumna	-0,37	-0,52	-0,91	-1,37	-1,61	-6,43
ain knif	0,41	0,27	0,11	-1,95	-2,19	-8,38
forage BA	0,12	-0,03	0,16	-0,71	-0,95	-6,22
ain Sfa	0,48	0,33	0,1	-1,57	-1,82	-6,96
F1	0,68	0,53	1,4	-1,4	-1,64	-7,05
F2	0,71	0,56	1,48	-0,88	-1,12	-5,62
F3	0,84	0,69	1,26	-0,51	-0,74	-6,25
F4	1,08	0,93	2,12	-0,96	-1,19	-6,32
F5	0,95	0,8	1,76	-1,03	-1,27	-6,41
F6	1,17	1,03	1,96	-0,36	-0,6	-5,59
F7	1,29	1,14	2,33	-0,4	-0,64	-5,58
F8	1,38	1,23	2,69	-0,6	-0,84	-5,73

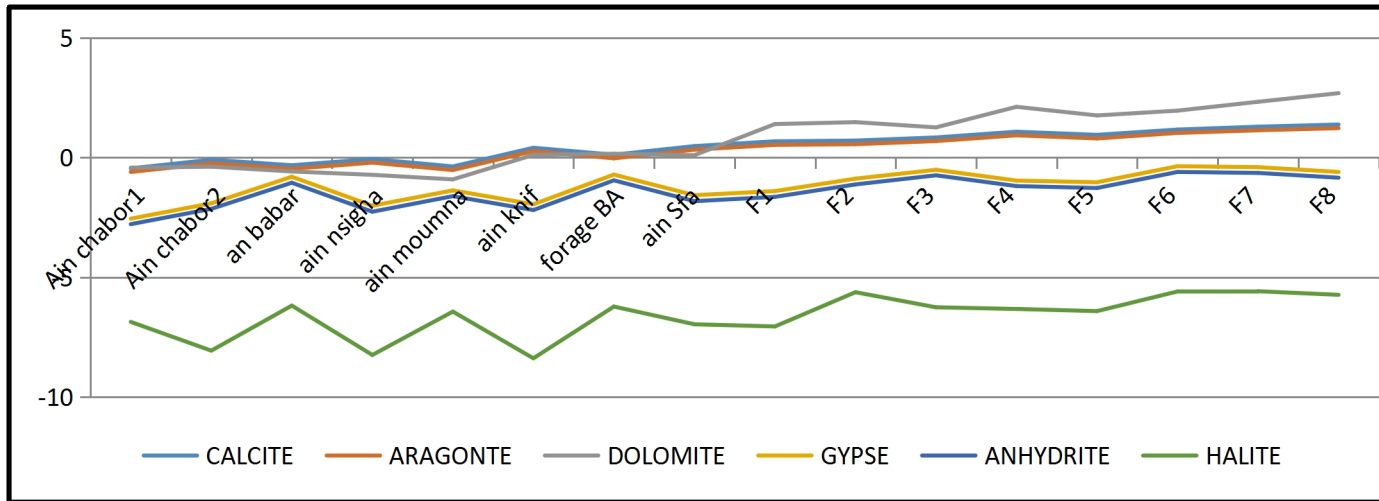


Figure.21: Variation de l'indice de saturation des minéraux

I.10. Analyse en composantes principale (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode d'analyse statistique multidimensionnelle. Il s'agit d'une méthode factorielle linéaire qui traite des caractères numériques jouant tous le même rôle.

L'ACP permet de résumer les informations et de mettre en évidence les corrélations en projetant les nuages de points sur les axes factoriels. Le premier axe factoriel explique le plus grand pourcentage de la variance totale, le second axe F2 explique le plus grand pourcentage de la variance résiduelle. L'objectif est de chercher des liaisons entre variables afin d'identifier les groupes de familles de variables qui représentent le mieux les corrélations entre elle et de mettre en évidence des typologies de variables et d'individus et d'établir des groupes de variables et de ressemblances entre les individus.

Il s'agit donc d'un outil puissant d'aide à l'interprétation des données puisqu'il permet de prendre en considération simultanément tous les échantillons et toutes les variables, et leur inter-relation (**Benmouss, 2021**).

Nous avons appliqué une analyse en composante principale (ACP) sur les données de 12 forages dans un espace de 13 variables quantitatives constituées de la température, du pH, CE Calcium, magnesium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfates, chlorures et nitrates. Par cette méthode nous cherchons à synthétiser l'information contenue dans un tableau croisant des individus et des variables quantitatives afin de déterminer les paramètres géochimiques expliquant la majorité des variations dans la série de données.

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
T°C	15	16,000	22,000	18,933	1,668
Ph	15	7,000	8,000	7,667	0,488
c25°C	15	373,000	2800,000	1479,600	865,805
HCO3-	15	165,000	403,000	247,933	71,815
Cl-	15	19,000	620,000	208,200	200,624
NO3-	15	2,300	139,000	37,787	40,769
SO4--	15	27,000	500,000	247,533	182,762
Ca++	15	18,000	292,000	133,733	82,910
Mg++	15	6,000	104,000	50,200	28,234
Na+	15	7,000	261,000	118,933	91,634
K+	15	0,000	21,000	4,733	5,574

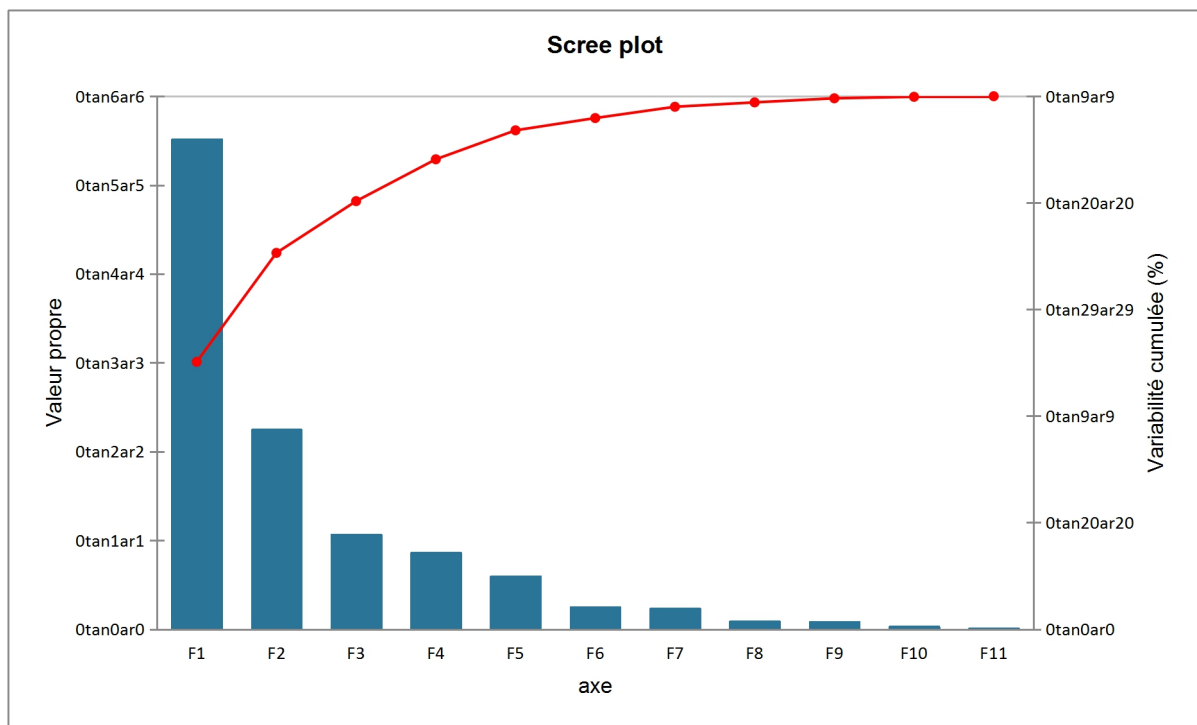


Figure.22: valeurs propre

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valeur propre	5,518	2,249	1,068	0,863	0,598	0,253	0,233	0,090	0,084	0,031	0,012
Variabilité (%)	50,16 1	20,44 7	9,708	7,849	5,438	2,299	2,119	0,821	0,766	0,281	0,110
% cumulé	50,16 1	70,60 7	80,31 6	88,16 4	93,60 2	95,90 2	98,02 1	98,84 2	99,60 9	99,89 0	100,00 0

Corrélations entre les variables et les facteurs :

	F1	F2	F3	F4	F5
T°C	0,063	-0,620	-0,548	0,363	-0,384
Ph	0,392	-0,700	-0,380	0,051	0,381
c25°C	0,922	0,105	-0,053	-0,260	-0,018
HCO3-	0,654	-0,341	0,599	0,123	-0,169
Cl-	0,917	-0,020	-0,140	-0,216	-0,145
NO3-	-0,133	0,837	-0,113	0,483	-0,063
SO4--	0,827	0,360	-0,214	0,203	0,174
Ca++	0,907	0,099	-0,083	-0,275	0,029
Mg++	0,868	0,160	0,017	0,040	-0,373
Na+	0,789	0,402	-0,064	0,205	0,235
K+	0,582	-0,470	0,415	0,454	0,164

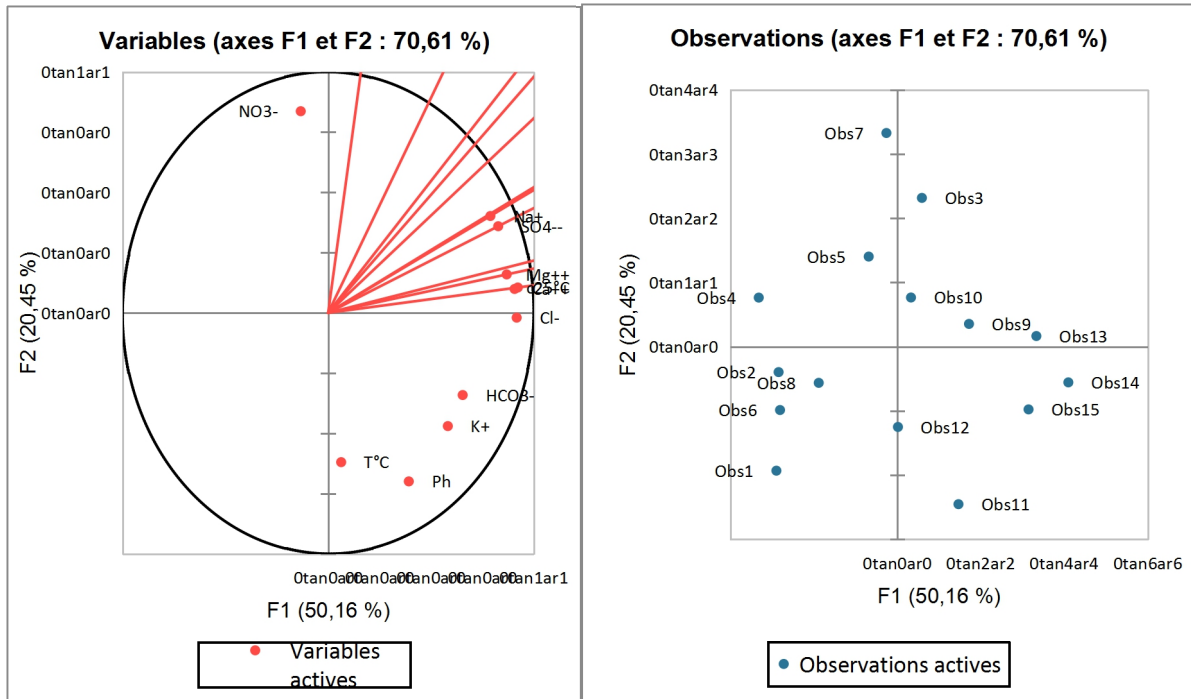


Figure.23: ACP. Espace des variables et espace des individus F1-F2

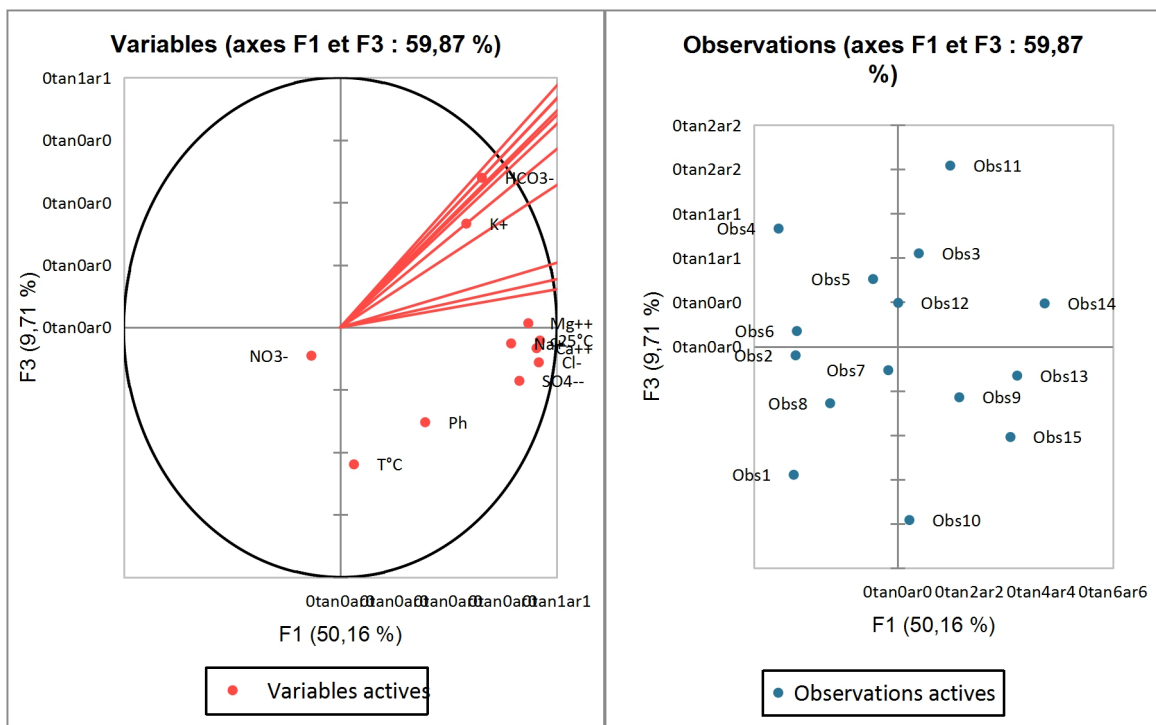


Figure.24: ACP . Espace des variables et espace des individus

I.11. Interprétation de l'ACP

L'étude du spectre des valeurs propres montre qu'il y a trois axes à retenir pour l'interprétation des résultats puisqu'ils détiennent 80.3 % de la variance totale expliquée. Dans l'espace des variables,

Dans l'espace factoriel F1-F2, nous retenons 70.6 % de l'inertie. L'axe F1 représente 50.16 % d'information, il est défini positivement par la conductivité électrique et tous les ions majeurs tels que: Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , HCO_3^- et SO_4^{2-} . Cet axe exprime la minéralisation des eaux représentée par la conductivité électrique.

L'axe F2 est défini par 20.45% de la variance expliquée il est dominé positivement par les nitrates (0.83%), il s'agit d'un axe de pollution 'opposition entre les bicarbonates qui sont corrélés positivement et la température des eaux, qui est corrélé négativement, il s'agit d'une opposition entre les eaux superficielles récentes qui sont marquées par la dissolution des carbonates et les eaux profondes marquées par des eaux chaudes caractéristiques de gradient géothermique.

L'axe F3 est marqué par l'opposition entre les bicarbonates qui sont corrélés positivement et la température des eaux qui est corrélé négativement ; il s'agit d'une opposition entre des eaux superficielles et récentes marquées par la dissolution rapide des bicarbonates et des eaux profondes et chaudes marquées par le gradient géothermique.

I.12. Qualité des eaux d'irrigation

Sous l'effet du climat de type semi-aride, voire aride, l'agriculture rencontre des problèmes tels que le risque de salinisation qui peut entraîner, à long terme, la stérilité du sol, et celui de l'alcalinisation des sols qui entraîne la destruction de la structure du sol.

Le développement de l'irrigation s'accompagne, dans la majorité des situations, par l'apparition de processus de salinisation, de sodification ou d'alcalinisation des sols à des degrés divers.

Ces situations sont en relation étroite avec les caractéristiques naturelles du milieu (sol et climat) et la modalité de gestion des eaux destinées à l'irrigation dont la qualité est déterminante (Houha, 1996).

I.12.1. Risque de salinité (salinisation des sols)

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. Une concentration élevée en sel de sodium dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines. (Houha 1996).

I.12.2. SAR

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (RAS). Le RAS

décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation.

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs :

- la tolérance en sel de la culture
- les caractéristiques du sol sous l'irrigation
- les conditions climatiques, la qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.
- les procédures de gestion des sols et de l'eau.

La concentration en sel est donnée par le TDS (qualité totale de matière dissoute : minéralisation) exprimé en mg de sel par litre d'eau (mg/l) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m³).

Elle peut être aussi mesurée grâce à la conductivité électrique de l'eau d'irrigation, qui est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) ou decisiemens par mètre (ds/m) ou microsiemens par mètre (ds/m) ou microsiemens par centimètre, sachant que $1\text{ds/m}=1000\mu\text{s/cm}$ (Houha, 1996).

I.12.3. L'alcalinisation des sols (excès en sodium)

est le processus par lequel la teneur en Na^+ échangeable d'un sol augmente par la fixation sur le complexe adsorbant.

Une grande quantité d'ions de sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présente dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles et cause la dispersion des particules dans le sol.

Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure.

Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol (**Houha, 1996**).

I.12.4. Aptitude des eaux du Bassin versant du Nord des Aurès à l'irrigation

Pour tester l'aptitude des eaux vis-à-vis à l'irrigation, on utilise la classification de L'USSLS (United States Salinity Laboratory Staff). Cette classification distingue différents types d'eaux en tenant compte de la conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$) à 25 °C et le rapport d'adsorption du sodium « S.A.R » (**Houha, 1996**).

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} (échange de base) dans le complexe adsorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium adsorbable (Sodium Adsorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante:

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

Na : concentration de l'eau en ions sodium en méq/l

Ca : concentration de l'eau en ions calcium en méq/l

Mg : concentration de l'eau en ions magnésium en méq/l

Trois classes de risque alcalin ont été définies en relation avec le risque salin.

$SAR \leq 10$ Risque faible

$10 \leq SAR \leq 18$ Risque moyen

$SAR \geq 18$ Risque élevé

Tableau.n°08: Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R.

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

I.13. Diagramme de Riverside :

La salinisation est sans doute le principal risque encouru par les terrains irrigués, principalement en climat aride. Il peut être apprécié par la conductivité électrique des eaux d'irrigation. Un autre risque majeur est celui de l'alcalinisation des sols par suite d'échanges ioniques, concernant surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol. De fortes teneurs en sodium modifient la structure des sols et leur perméabilité.

Ce risque peut être apprécié par le coefficient d'absorption du sodium, les risques de salinisation et d'alcalinisation ne sont pas indépendants. Ce dernier est d'autant plus grand que la salinité est importante.

Le diagramme de Riverside permet de faire une première classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation. Si les eaux de la catégorie 1 peuvent être utilisées sur presque n'importe quel sol et pour n'importe quelle culture, celles des catégories 2 et 3 doivent être utilisées avec précaution, et celles de la catégorie 4 doivent pratiquement toujours être rejetées.

(Houha 1996)

Degré Qualité Classe Etat d'utilisation

1 Excellente C1 -S2 Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.

2 Bonne

C2-S1 En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation

C2-S2 l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité

3 Admissible

C3-S1 En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel

L'examen du diagramme du SAR (Fig.) permet de dire que les eaux de la classe C2-S1, c'est-à-dire les eaux de sources Ain Chabor 1 et 2, Ain Knif, Ain Sfa sont des eaux de bonnes qualité chimique et très convenables à l'irrigation de toutes les cultures et sans distinction aucune, alors que les eaux de forage qui captent la nappe profonde du remplissage Plio-Quaternaire présentent un risque de sodisation et de salinisation des sols à l'irrigation.

Les eaux de la classe C3-S1 issues de la nappe profonde du Plio-Quaternaire conviendraient à l'irrigation des cultures sous certaines restrictions à savoir ; ils peuvent être utilisées si les espèces culturales ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé. Les eaux de la classe C4-S2 sont à proscrire de l'irrigation des cultures sous climat

semi-aride car l'évolution de la salinité est rapide et doit être contrôlée ; abstraction faites s'il s'agit de certaines espèces d'arboricultures résistantes aux sels(olivier).

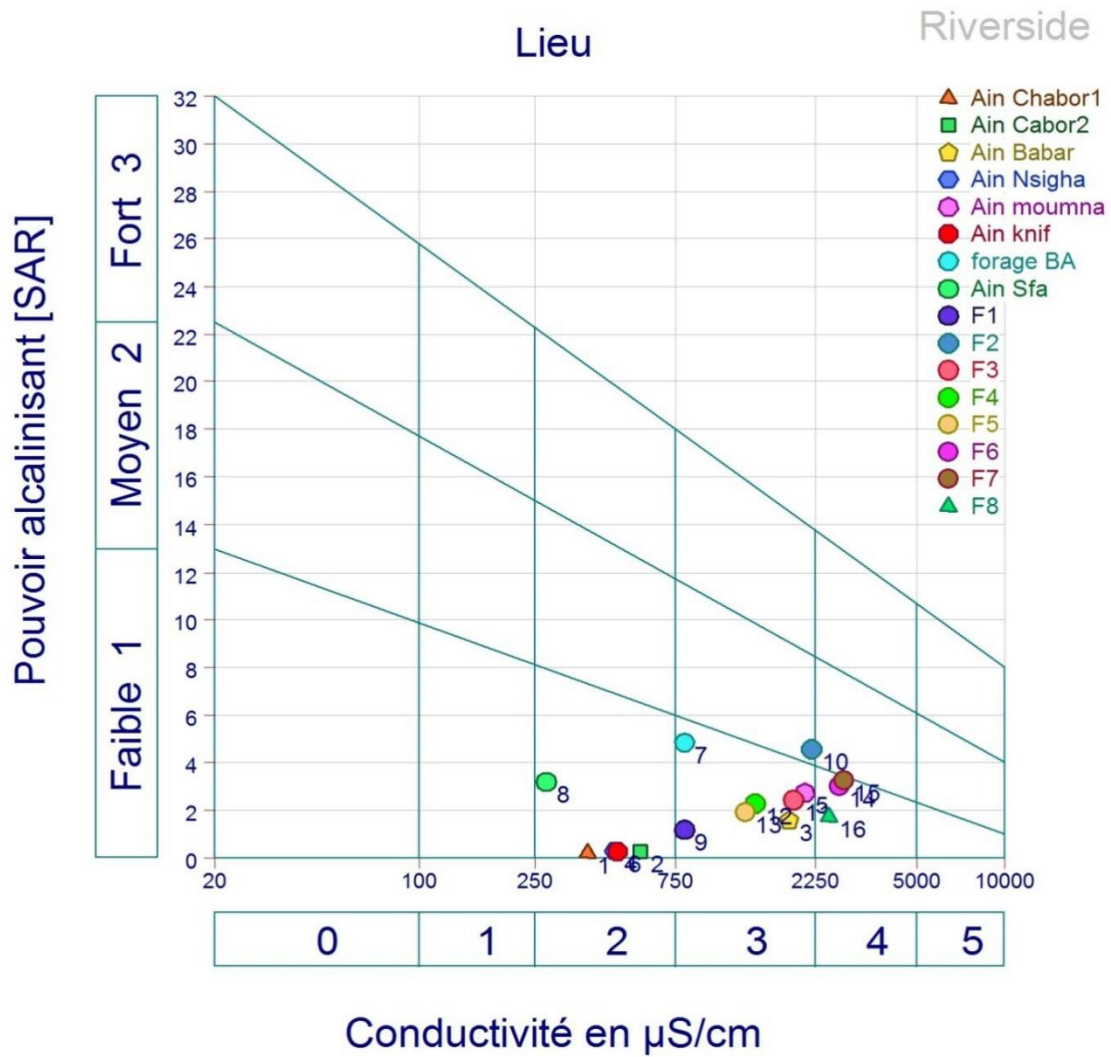
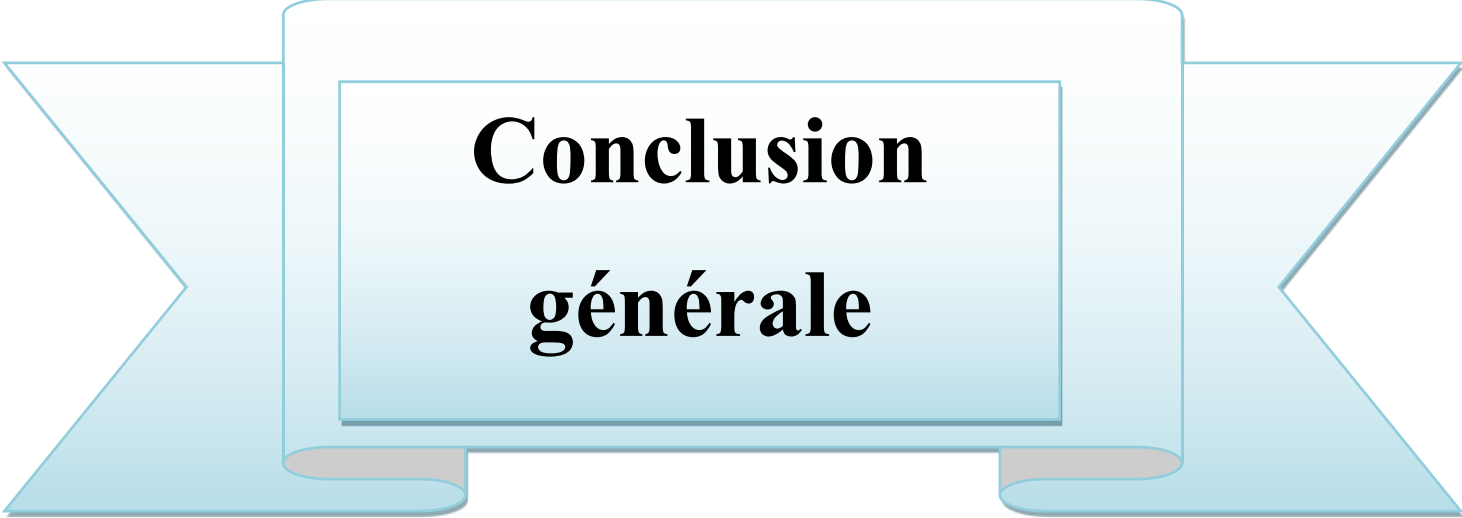


Figure.25: Diagrammes de RIVERSIDE

Conclusion

Les résultats des analyses physico-chimique montrent que :

- Les fortes concentrations de sodium et des chlorures sont dues à la dissolution de l'halite (NaCl), présente dans les formations salifères du Trias et à l'utilisation des engrais chimique et aux échanges de base qui enrichies les eaux en alcalins (Na et K) au détriment des alcalino-terreux (Ca et Mg)
- Les fortes teneurs en sulfates sont dues à la dissolution du gypse et de l'anhydrite fréquente dans les formations gypsifères et à la pollution par les intrants organiques et inorganiques
- L'usage des diagrammes binaires des ions majeurs contre un élément conservé caractérisant la salinité de l'analyse statistique multi variée en composantes principales (ACP) qui a montré que la majorité des éléments sont corrélés positivement à la conductivité électrique ont conduit à l'identification de l'origine de la salinité des eaux. En effet, les chlorures, le sodium, les sulfates, et le calcium et à degré moindre, magnésium et nitrates seraient la source de minéralisation des eaux souterraines par dissolutions des sels suivants : halite, calcite, gypse, dolomite et sans oublier l'apport de la pollution par les nitrates.



**Conclusion
générale**

Conclusion générale

Conclusion générale

Le versant sud du massif des Aures est située au Nord-Est algérien dans la région des Aurès. Ce versant s'ouvre sur la vallée de Mellagou et donne sur le barrage de Babar et les parcours sud de Khenchela est bâti sur le bord de la face libre du plateau, une sorte de belvédère d'où l'on domine la vaste plaine de Rémila qui s'étend immédiatement au Nord du massif des Aurès à la latitude $35^{\circ} 26' 9''$ N et à la longitude $7^{\circ} 8' 36''$ E, sur une superficie de près de 1800 km². Après l'analyse des données climatiques reprises d'une station pluviométrique : station météo "EL Hamma dans la période 1994- 2020".

La géologie générale est de type sédimentaires, carbonaté du Crétacé sur les versants et détritique du Quaternaire dans le remplissage. Deux nappes d'eau souterraines sont bien individualisées, une nappe superficielle dans le remplissage Plio-Quaternaire et une nappe profonde dans les formations Calcaires du Crétacé

Les paramètres climatique ont donné un climat tempérée sur les reliefs et à hautes altitude, Djebel Aidel, Djebel Laouresse Djebel Faraoun et semi-aride sur les plaines avoisinantes. La température Moyenne annuelle est de 19°C et les précipitations moyenne annuelle sont de l'ordre de 600 mm/an. Le mois de juillet est le mois le plus chaud et sec, 40.42°C , et le mois de janvier est le mois le plus froid, 3.43°C .

L'étude hydrochimique a permis de caractériser les principaux paramètres des eaux souterraines. La température moyenne des eaux souterraines est de 19°C , la conductivité électrique est de $1404 \mu\text{S}/\text{cm}$, avec un Minimum de $373 \mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée dans la source de Chabor 1 et un maximum dans le forage F7 de 2800. Le diagramme de Piper a déterminé une évolution du facies chimique depuis des eaux bicarbonatées calcique dans les affleurements calcaires vers des eaux chlorurées sodiques en basse plaine, le facies intermédiaire de transition est chloruré Calcique.

Les rapports caractéristiques ont identifier l'origine de la minéralisation, a savoir la dissolution des roches calcaires, CaCO_3 , CaMg CO_3 , et des roches évaporitiques, gypsifère et salifère tels que, CaSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 et Mg_2SO_4 et NaCl

Les fortes concentrations de sodium et des chlorures sont dues à la dissolution de l'halite (NaCl), présente dans les formations salifères du Trias et à l'utilisation des engrais chimique

Conclusion générale

Les fortes teneurs en sulfates sont dues à la dissolution du gypse et de l'anhydrite fréquente dans les formations gypsifères et à la pollution par les intrants organiques et inorganiques

L'outil statistique par l'analyse statistique multi variée en composantes principales (ACP) qui a montré que la majorité des éléments sont corrélés positivement à la conductivité électrique et que la minéralisation des eaux est due en première position à l'interaction eau-roches par dissolution minérale et en deuxième position à la pollution anthropique par infiltration des engrais azotés

Le diagramme de Riverside à qualifier les eaux du versant sud des Aurès comme des eaux convenables à l'irrigation, en particulier les eaux de sources et de quelques forages limitrophes aux affleurements calcaires

Enfin nous recommandons de protéger les sources par l'instauration de périmètres de protection rapprochés et immédiats et de les capter afin de d'alimenter les populations en eau potable. Il est recommandé d'accompagner les agriculteurs lors de la saison agricole afin de limiter l'usage des engrais chimique et de rationaliser l'usage de ces engrais inorganique et de les sensibiliser sur le risque qu'encours les eaux souterraines quant à un usage excessif.

Nous proposons aussi d'instaurer des petites retenues d'eau pour encourager la culture maraichère e, le pâturage et l'industrie de la poterie et toutes sortes d'élevage intensif.

Enfin, il est important de réduire le temps de pompage afin de réduire le risque de salinisation des eaux par la migration des eaux salées en provenance de la Sebka d'El Mahmel.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

Références bibliographique

- ARLERY R., GARNIER, LANGLOIS R. (1954)** Application des méthodes de THORNTWHAITE à l'esquisse d'une description agronomique du climat de la France. La Météorologie, oct. déc. 1954, p. 345-367.
- Benmoussa,A.(2020)** Etude physico-chimiques et isotopiques des eaux thermales (Hammam sokhenna).
- Berkani,ch. (2010).** étude hydrochimique des sources thermales des Aurès.
- Bouballi S ,2009** , identification et mise en évidence des formations hydrogéologiques a la wilaya de kenchela (nord – west) analyse et synthèse de données , magistère , Annaba.
- Ciesla, W. M. (1997).** *Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier: aspects généraux* (Vol. 126). Food & Agriculture Org..
- Djelloul.M & Saidi.M. (2017).** caractérisation hydrochimique des eaux souterraines et son amplitude à l'irrigation, cas de la plaine de mellagou (bouhmama- kenchela-), 29 pages .
- GHRIEB.A,(2011).** L'acquisition de la salinité des eaux souterraines en zone semi aride. Cas de la nappe du bassin d'effondrement de Tébessa dans le Nord Est algérien. Université Tebessa.(28)pages
- Guyot G., (1999).** Climatologie de l'environnement-Cours et exercices corrigés. Dunod, Paris, 525p.
- Henri BENECH.M. (1999).** APPORT DES ISOTOPES STABLES A L'ETUDE DE LA PHARMACOCINETIQUE DE SELS DE MAGNESIUM
- Houha,B. (2007).** Étude du fonctionnement hydrogéologique et salin d'un bassin semi- aride Rémila-Kenchela. Thèse de doctorat en Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar Annaba,
- Houha,B. (1996).** Quantité et qualité des eaux souterraines de la région de kenchela (Garaet Taref).Magister en hydrogéologie,université Badji Mokhtar Annaba .
- Latreche,M & Malkia,S. (2015).** l'usage de l'hydrochimie et des isotopes stables de la molécule d'eau H2 et O18, a la caractérisation de l'aquifères des Aurès, 13 pages.
- Musy, A., & Soutter, M. (1991).** *Physique du sol* (Vol. 6). PPUR presses polytechniques
- Ouldammam,H. (2021).** Délimitation de biseau salé dans le bassin versant de Gareat El Taref.