



Mémoire présenté en vue d'obtention du diplôme de
Master académique en écologie



Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et Environnement
OPTION : Ecologie Fondamentale et Appliquée

Thème

***Caractérisation Hydro chimique et microbiologique
et identification de l'origine des eaux des ressources
Ain Fringale, Ain Silèn et Ain Kerma***

Présenté par

- BOUDRAA RANYA
- OULD AMMAR SANA

Soutenu le 20 /06 / 2024

Mémoire de Master académique soutenu devant le jury composé de

<i>Président</i>	<i>M LARBAA RABEH</i>	<i>MCA</i>	<i>Univ. Abbès Laghrou – Khenchela</i>
<i>Encadreur</i>	<i>M HOUHA Belgacem</i>	<i>Professeur</i>	<i>Univ. Abbès Laghrou – Khenchela</i>
<i>Examineur</i>	<i>M SADRATI Abd El-nour</i>	<i>MCA</i>	<i>Univ. Abbès Laghrou – Khenchela</i>

Année Universitaire : 2023/2024



Dédicace

Je dédie ce travail

A ma famille, qui m'a tout donné : amour, éducation, instruction, orientation, savoir –faire et savoir vivre, la synergie de tous ces concepts a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très chère père

Pour ses encouragements, son soutien pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études. A mes très chers frères Amin et Khalil et ma sœur Lina qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A ma meilleures amies qu'ils trouvent ici l'expression de mon respect et de mon grand attachement (Nouasri Sana, Djaafri Ranya, Mekersi Selsabil, Boudraa Maysa, Bouhafer Imen, Bouselsla Ikram, sahraoui Mona, Azizi Aya, Laiche Hamida, Tlales Chaima, Rihani Wissem, Gunis Yassmina, Hasbi Ikram.

A tous les amis d'EFA

En fin, je remercie mon partenaire Ouldammam Sana, qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

A tout ceux qui aiment RANYA et ceux qui RANYA aime.

A TOUTE LA FAMILLE BOUDRAA

Ranya



Dédicace

A mon cher papa pour ses prières, patience, amour, et ses encouragements tout au long de mes études.

Puisse Dieu, vous procure santé, bonheur et longue vie.

Attou

تلك الإنسانية العظيمة التي تمننت أن تفرح عيناها برؤيتي في يوم تخرجني إلى تلك التي يحتضنها التراب قبل أن إلى تتحقق أمنيتها إلى سر قوتي وعزيمتي إلى أمي رحمها الله اهدي تخرجني ونجاحي إليها
رحمك الله ورزقك الفردوس الأعلى أمي حبيبتي

*A mes chers frères : MOUSSA, HAROUN et ABDEL DJABAR
Que dieu vous protège.*

*A mes adorables sœurs : SOUMIA, IMEN et DAYA
Pour votre amour, vos encouragements et votre soutien moral.*

*A mes très chers : DOUAA ERRAHMENE, MOHAMED IYAD, ZAKARIA, LYDIA et
ILINE
Je vous dis : que Dieu vous bénisse.*

Un spécial dédicace pour : OUALID AIT ELHADJ

*A ceux avec qui la vie m'a réuni :
IKRAM, SOUMIA, RAYANE et MOUNA.*

A ceux qui m'ont accompagné dans mon parcours académique

*A tous mes amis : MOUNA, AMIRA, CHAIMA, HAMIDA,
RAOUF BOUKHIL.*

*Je remercie mon partenaire BOUDRAA RANIA qui a contribué à la réalisation de ce
modeste travail*

Enfin je le dédie à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux qui me connaissent

A tout ceux qui aiment SANA et ceux qui SANA aime.

A TOUTE LA FAMILLE OULDAMMAR

Sana



Remerciements

C'est avec une grande joie et une certaine émotion que je rédige aujourd'hui ces quelques lignes de remerciements.

En préambule à ce mémoire Je glorifie et remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience qui m'ont permis d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens tout particulièrement à témoigner ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à notre encadreur le Professeur HOUHA BELKACEM, d'avoir accepté de diriger, ce travail de mémoire, de m'avoir conseillée judicieusement, et de m'avoir orientée et encouragée tout au long de ce travail. Mes remerciements vont aussi aux membres de jury qui ont consacré leur temps à l'évaluation de ce mémoire leurs questions et suggestions et recommandation m'ont été d'un grand apport à ce travail qui n'est autre qu'une initiation à la recherche

Présente mes remerciements au Professeur BENAMEUR Tarek d'avoir accepté de co-encadrer ce Travail et pour la confiance qu'il avait en moi, pour aborder cet axe de recherche et ses conseils judicieux,



Me vifs remerciements vont également aux membres du jury, Mme ROUDOUANE SALAH, présidente, et DJOUMA Manel, examinatrice pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes remerciements s'adressent également à Tout le personnel de laboratoire de Kais en particulier Madame BRDIARE.

Je souhaite remercier tous les membres de service de laboratoire de département de biologie et en particulier MIZENE SARA.

Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont apporté un soutien pour l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude, particulièrement ma famille.

Dans le souci de n'oublier personne, nous remercions vivement tous ceux qui Ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de nos études.





{ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ }

قَالَ تَعَالَى

Résumé

L'objectif de cette étude est de caractériser les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques des eaux souterraines dans trois localités de la Wilaya de Khenchela : Ain Kerma, Ain Fringuel et Ain Silèn. Nous avons effectué des analyses approfondies pour évaluer la qualité de ces ressources en eau, cruciales pour les communautés locales.

Sur le plan physique, le mémoire examine des paramètres tels que la température, le Ph et la conductivité électrique, qui fournissent des indications sur la pureté et la clarté de l'eau. Les caractéristiques chimiques comprennent la présence de divers composés, tels que les ions, et les cations, qui peuvent influencer la potabilité de l'eau et son utilisation dans diverses applications industrielles ou agricoles. La dimension microbiologique explore la présence des Coliformes fécaux, Streptocoque fécaux, Clostridium et E. Coli qui peuvent constituer des risques pour la santé humaine s'ils sont présents en quantités excessives.

Les conclusions du mémoire fournissent une évaluation globale de la qualité des eaux souterraines dans ces régions, mettant en lumière les défis potentiels en termes de contamination, de gestion et de protection de ces ressources vitales. Les recommandations formulées peuvent servir de base pour des interventions visant à améliorer la qualité de l'eau et à garantir son utilisation sûre et durable pour les populations locales.

Mot clés : Ain Fringuel, Ain silèn, Ain kerma, température, ph, Coliformes fécaux, Streptocoque fécaux, Clostridium et E. Coli.

Obstruct

The objective of this study is to characterize the physical, chemical, and microbiological characteristics of groundwater in three localities of the Khenchela Province: Ain Kerma, Ain Fringuel, and Ain Silèn. We conducted thorough analyses to assess the quality of these water resources, crucial for local communities.

On the physical aspect, the paper examines parameters such as temperature, pH, and electrical conductivity, which provide indications of water purity and clarity. Chemical characteristics include the presence of various compounds, such as ions and cations, which can influence water potability and its use in various industrial or agricultural applications. The microbiological dimension explores the presence of fecal coliforms, fecal streptococci, Clostridium, and E.coli, which can pose risks to human health if present in excessive quantities.

The conclusions of the paper provide an overall assessment of the quality of groundwater in these regions, highlighting potential challenges in terms of contamination, management, and protection of these vital resources. The recommendations made can serve as a basis for interventions aimed at improving water quality and ensuring its safe and sustainable use for local populations.

Keywords : Ain Fringuel, Ain silèn, Ain kerma, temperature, pH, fecal coliforms, fecal streptococci, Clostridium, E. Coli.

الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للمياه الجوفية في ثلاث مناطق في ولاية خنشلة: عين كرمة وعين فرينجال وعين سيلان. أجرينا تحليلات مكثفة لتقييم جودة هذه الموارد المائية، والتي تعتبر حاسمة للمجتمعات المحلية.

على المستوى الفيزيائي، تفحص الأطروحة معلمات مثل درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني والتوصيل الكهربائي، والتي توفر مؤشرات على نقاء الماء ووضوحه. تشمل الخصائص الكيميائية وجود مركبات مختلفة، مثل الأيونات والكاتيونات، والتي يمكن أن تؤثر على صلاحية الماء للشرب واستخدامه في مختلف التطبيقات الصناعية أو الزراعية. يستكشف البعد الميكروبيولوجي وجود البراز القولوني والبراز العقدية والطمثية والإشريشيا القولونية التي قد تشكل مخاطر على صحة الإنسان إذا كانت موجودة بكميات زائدة.

وتقدم استنتاجات الأطروحة تقييماً شاملاً لنوعية المياه الجوفية في هذه المناطق، وتسلط الضوء على التحديات المحتملة من حيث التلوث وإدارة وحماية هذه الموارد الحيوية. ويمكن أن تستخدم التوصيات كأساس للتدخلات الرامية إلى تحسين نوعية المياه وضمان استخدامها الآمن والمستدام للسكان المحليين.

كلمات مفتاحية: عين فرينجال، عين سيلان، عين كرمة، درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني، القولونيات البرازية، المكورات، البرازية، المطثية، الإشريشيا القولونية

Table des Matières

Introduction générale.....	1
CHAPITRE CADRE GEOLOGIQUE.....	1
I-Introduction	4
I.1- Cadre de l'étude.....	4
I.2 La géologie régionale.....	5
I.2.1 Litho stratigraphie.....	5
I.2.1.1 Le Mésozoïque.....	5
a) Le trias.....	5
b) Le Crétacé	6
b.1Crétacé inferieure	6
b.1.1 Barrémien- Aptien.....	6
b.1.2 Albien.....	6
b.2 Crétacé supérieur.....	6
b.2.1 Cénomaniens.....	6
b.2.2 Turonien	7
b.2.3 Sénonien	7
I.2.1.2 Le Cénozoïques.....	7
a) Le Néogène	7
I.2.1.3 Quaternaire.....	8
I.2 IDENTIFICATION DE LA TYPOLOGIE DES NAPPES AQUIFERES DU BASSIN DE REMILA	9
I.2.1 Lithologie et âge des formations aquifères	9
I.2.1.1 Aquifère superficiel	9
I.2.1.2 Aquifère profond.....	9
I.3 Présentation et nature des nappes aquifères.....	9
I.3.1 Nappe phréatique	9
I.3.1.1 Profondeur de la nappe	10
I.3.2 Nappes profondes.....	10
I.3.3 Les eaux des calcaires et des grès miocènes de la bordure Sud.....	10
I.3.3.1 Quaternaire.....	10
I.3.3.2 Crétacé	11
I.3.3.3 Trias diapiritique.....	12
I.4 Cadre hydrogéologique.....	12

I.4.1	Identification du système aquifère	12
I.4.2	Carte piézométrique	13
I.5	Conclusion	14
	Chapitre II HYDRO CLIMATOLOGIE	4
II.1	Introduction	16
II.2	La station de mesures	16
II.3	étude des facteurs climatiques	16
II.3.1	Précipitation.....	16
II.3.1.1	Variations de la précipitation moyenne mensuelle.....	17
II.3.2	Température.....	18
II.3.2.1	Variations de la température moyenne mensuelle.....	19
II.4	Caractérisation du climat	20
II.4.1	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS.....	20
II.4.2	Indice climatique	22
II.4.2.1	L'indice climatique de DE MARTONE 1923	22
II.5	estimation de l'évapotranspiration.....	23
II.5.1	Méthode de THORNTHWAIT :	23
II.5.1.1	Formule de THORNTHWAITE	24
II.6	Interprétation du bilan hydrologique	25
II.6.1	Le bilan hydrique.....	25
II.6.2	Calcul du ruissellement	28
II.6.3	Estimation de l'infiltration.....	28
II.7	Conclusion	29
	Chapitre III HYDROCHIMIE	20
III.1	Introduction	31
III.2	Caractérisation Physico-chimique des aquifères montagnes des Aurès.....	31
III.2.1	Sources de Fringuel et Ain Silèn.....	32
III.2.2	La Température des eaux	33
III.2.3	PH.....	33
III.2.4	Conductivité électrique des eaux.....	34
III.3	Les représentations graphiques les plus courantes.....	35
III.3.1	Le diagramme de Piper	35
III.3.2	Le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	36
III.3.3	Diagramme horizontal de Stabler.....	37

III.4.Origine de la minéralisation des eaux	38
III.5.Aptitude des eaux à l'irrigation.....	42
III.5.1.Introduction.....	42
III.5.2.Risque de salinité (salinisation des sols).....	42
III.5.3. Aptitude des eaux a l'irrigation.....	42
III.5.4. Pourcentage de sodium	42
III.6.Résultats	43
III.7. Conclusion.....	44
CHAPITRE IV	31
ETUDE BACTERIOLOGIQUE.....	31
IV.1.Introduction.....	46
IV.2. La qualité des eaux souterraines	47
IV.3. Qualité bactériologique	48
IV.4. Indicateurs de contamination bactérienne :.....	48
IV.5. Echantillonnage d'eau pour les analyses bactériologiques.....	49
IV.5.1. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale	49
IV.4.1.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux	49
Test de présomption	50
Test de confirmation (test de Mac Kenzie).....	50
IV.4.1.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (Enterococcus)	51
a- Test de présomption	51
b- Test de confirmation	51
IV.5.1.3. Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices (Clostridium).....	52
IV.6. Echantillonnage d'eau pour les analyses bactériologiques.....	53
IV.7. Résultats :.....	54
IV .8. Conclusion	57
Conclusion générale	58
Liste des références	57

Listes des figures

N°	Titre	Page
01	Situation géographique de la zone d'étude.	04
02	Carte géologique de la Wilaya de Khenchela	05
03	coupe géologique de Djebel Aidel	08
04	carte géologique du bassin d'Es-Sbikhat El-Mahmel	11
05	carte piézométrique de la zone d'étude	13
06	Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Hamma pour la période (1994 - 2023)	18
07	Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Hamma pour la période (1994 - 2023)	18
08	Evolution des températures mensuelle à la station d'El Hamma pour la période (1994 - 2023)	20
09	Variation des précipitations moyennes mensuelles El Hamma pour la période (1994-2023)	20
10	Diagramme Ombrothermique de la station d'El Hamma	21
11	Diagramme Ombrothermique de la station d'El Hamma	22
12	Bilan hydrique moyen de la période (1994-2023)	27
13	variation de la température des eaux de sources de montagne	33
14	représentation graphique des résultats des analyses chimiques	34
15	diagramme de piper	36
16	diagramme de schoeller-berkaloff	37
17	diagramme de stabler	38
18	diagramme conductivité électrique versus ions majeurs	39
19	diagramme du rapport $c_{25^{\circ}c}$ vs hco_3/so_4+cl	40
20	diagramme du rapport cl/so_4 vs $c_{25^{\circ}c}$	40
21	diagramme du rapport hco_3/so_4 vs ca/mg	41
22	classification de wilcox degré qualité classe l'état d'utilisation	43
23	représenter les eaux souterraines	47
24	représenter le réactif BCPL	54
25	représenter le réactif des streptocoques fécaux	54
26	REPRESENTER LE REACTIF DE LES CLOSTRIDIUMS SULFUTO-REDUCTEURS	55
27	représenter le réactif d'E. coli	55

Liste des tableaux

N°	Titre	page
01	Les coordonnées géographiques de la station de mesure	16
02	Pluviométrie interannuelle enregistré (1994-2023)	17
03	Les données des températures durant la période (1994-2023)	19
04	Indice d'aridité de de martonne	22
05	Bilan hydrologique moyen (1994 - 2023) a la station d'el Hamma par la méthode de thornthwaite	26
06	Représenter les caractéristiques organoleptiques les trois sources des eaux	43
07	Représenter les caractéristiques physico-chimiques les deux sources ain silèn et ain Fringuel	43
08	Représentant une comparaison Du Ph Et De L'O ² Sur Trois Sources Des Eaux	44
09	Représenter Les Résultats Des Analyses Bactériologiques Sur Trois Sources Des Eaux	56
10	Représenter La Table De Mac Grady	56

Liste des Abréviations

- **A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydriques
- **As**: Arsenic
- **BCPL**: Bouillon Lactose au Pourpre de Bromocrésol
- **°C** : degré Celsius
- **CGG** : compagnie générale de géophysiques
- **CE** : conductivité électrique
- **(Ca²⁺)** : le calcium
- **(Cl⁻)** : Chlore
- **Cr**: chrome
- **Cd**: Cadmium
- **Cu** : cuivre
- **CT** : coliformes totaux
- **CF** : coliformes fécaux
- **D.E.W** : Directed Energy Weapon" "arme à énergie dirigée"
- **DA** : Déficit Agricole (mm)
- **DSP** : Direction de la santé et de la population
- **(D/C)** : Double Concentration
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle (mm)
- **ETR** : Evapotranspiration Réelle (mm)
- **EX** : Excédent en eau du sol (mm)
- **Etc** : Et cetera
- **E. coli** : Escherichia coli
- **(HCO³⁻)**:bicarbonate
- **Hg**: mercure
- **I** : Indice d'aridité
- **JORA** : Journal Officiel de la République Algérienne
- **Km**: kilomètre.
- **M**: mètre.
- **Mm** : millimètre
- **M² /s** : mètre carré par siemens.
- **m/s** : mètre par siemens.

- **Min** : minimum
- **Max** : maximum
- **Ms/cm** : milli siemens par centimètre
- **Meq /l** : milli équivalent par litre
- **(Mg²⁺)** : le magnésium
- **ml** : millilitre
- **N** : nord
- **(NO³⁻)**: nitrates
- **N°** : Numéro
- **NBH** : numération des bactéries hétérotrophes
- **NPP** : Nombre le plus probable
- **(Na⁺)** : sodium
- **ONM** : Office National de la Météorologie.
- **O²** : oxygène dissous
- **P** : Précipitations (mm)
- **Physico-chimiques** : physique et chimique
- **PH** : potentiel hydrogène
- **Ppm** : partie par million
- **Pb**: plomb
- **(K⁺)** : Potassium
- **RFU** : réserve facilement utilisable
- **(SO⁴⁻)** : sulfate
- **(S/C)** : Simple Concentration
- **T** : température (°C)
- **Zn** : zinc
- **%** : pourcentage
- **(+)** : positifs
- **<** : Inférieur
- **=** : Egale

Introduction Générale

Introduction générale

Le massif des Aurès, cette imposante structure conçue de roche fissurées et fracturées d'où jaillissaient de l'eau claire. De nombreuses sources d'eau foisonnent dans ce massif telles que, Ain Silèn , Ain Kerma, Ain Fringuel, Ain Hanou, Ain Zarif, Ain Amen- Iberkan, Ain Mimoun, Ain Iddares....., abreuvant des populations en soif d'eau potable, rafraichissante, salubre et servant de moteur aux différentes activités socio-économique de toutes une région, des Aurès, en quête de développement économique et social.

Le Djebel Aide, culmine à 1500 m d'altitude, dans la wilaya de Khenchela, cette imposant massif qui s'étale sur toute la partie nord-Ouest et Ouest de Khenchela sur quelques Km de longueur, débite de l'eau à travers de nombreuses sources dans les plus connues, sont Ain Kerma, Ain Silèn et Ain Fringuel. Elles sont situées, à différentes altitudes, de part et d'autre des versants de ce massif.

L'objectif de ce travail de master est une initiation à la recherche et à l'application des connaissances acquises en théorie ; il s'agit d'étudier les eaux de deux sources situées sur deux versants opposées de Djebel Aidel dans les Aurès de Khenchela.

Il s'agit d'une étude hydrogéochimique et bactériologique dans un objectif de comparaison afin de tirer des traits de ressemblances et similitudes pour conclure sur l'origine de l'eau et de sa qualité physico-chimique et bactériologique ainsi que de sa potabilité.

Trois chapitres sont traités dans ce mémoire :

- Introduction générale ;
- Géologie ;
- Hydro climatologie ;
- Physico-chimie et bactériologie ;
- Conclusion générale assortie de recommandations et perspectives.

Source Ain Kerma

Cette source est située à un altitude comprise entre 1100 et 1134 m. les eaux émergent dans les calcaires fissurés du Turonien au pied de Djebel Aidel qui culmine à plus de 1500 m d'altitude, la température de l'eau est de 20°C, la conductivité est de 400µS/cm. C'est une source captée avec un débit de 7 l/s.

Source Ain Silèn

La source est située aux coordonnées suivantes 35°26'07N 07°05'19^E, sur le versant Nord de Djebel. Aidel, à une altitude de 1179 m, elle donne sur la station thermale de hammam Essalihine et s'ouvre de lointain sur la plaine de Remila. La température de l'eau est de 16°C avec une conductivité de 437 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La source affleure dans les formations géologiques marno-calcaires du Crétacé.

Source Ain friguel

C'est une source située au piedmont de Djebel Aidel sur son versant Sud, elle donne sur la vallée de Oued El Hatiba qui alimente le barrage de Babar, située à 1263m d'altitude, aux coordonnées suivantes : 35°23'53 N, 7°05'13E. La température de l'eau est 16.4°C, la conductivité électrique est de 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$. C'est une source qui débite à 5l/s, elle émerge dans les calcaires turoniens du Crétacé. Inférieur.

CHAPITRE I

CADRE GEOLOGIQUE

I-Introduction

La géologie constitue la base fondamentale de toute étude hydrogéologique, elle détermine les formations susceptibles ou non de constituer des aquifères à partir de leur lithologie ; ainsi que la détermination des relations pouvant exister entre eux.

Les travaux de recherche de plusieurs géologues tels que ; **(R. Laffitte 1939, R. Guiraud 1973, J. M. Vila 1977, B. Houha 2007)**, sont à la base de cette synthèse géologique.

Situation Géographique

Les deux sources d'eau ; Ain silèn et Ain Fringuel, sont situées sur le massif de Djebel Aidel qui donne sur la ville de Khenchela, cette masse de roc, d'une altitude de plus de 1500 m, est une d'émergence de plusieurs sources de part et d'autres de ces deux versant, laissant jaillir de l'eau claire, rafraichissante et riche en minéraux.

La source de Ain Silèn est située sur le versant nord de cette immense structure de roches et de marnes, aux coordonnées suivantes $35^{\circ}26'07\text{N}$ $07^{\circ}05'19\text{E}$, à une altitude de 1179 m, elle affleure de près sur la station thermale de Hammam Essalihine et s'ouvre de loin, de son belvédère, sur la plaine de Rempila. C'est un lieu de villégiature, ces eaux de cette source sont très appréciées par les habitants de la wilaya de Khenchela. En période de hautes eaux son débit dépasse les 10 l/s.

La source d'Ain Fringuel est située au sud, au piedmont de Djebel Aidel, à 1263 m d'altitude, aux coordonnées suivantes : $35^{\circ}23'53\text{N}$, $7^{\circ}05'13\text{E}$. Elle donne directement sur les vallées d'Oued El-Hatiba et Oued Boughagal, qui leur assure un écoulement permanent par une alimentation directe. C'est une source qui débite à 5l/s d'eau.

I.1- Cadre de l'étude

La wilaya s'étend sur une superficie d'environ 9715.6 km², regroupant 8 daïras et 21 communes (**figure 01**).



Figure 01 : Situation géographique de la zone d'étude.

I.2 La géologie régionale

I.2.1 Litho stratigraphie

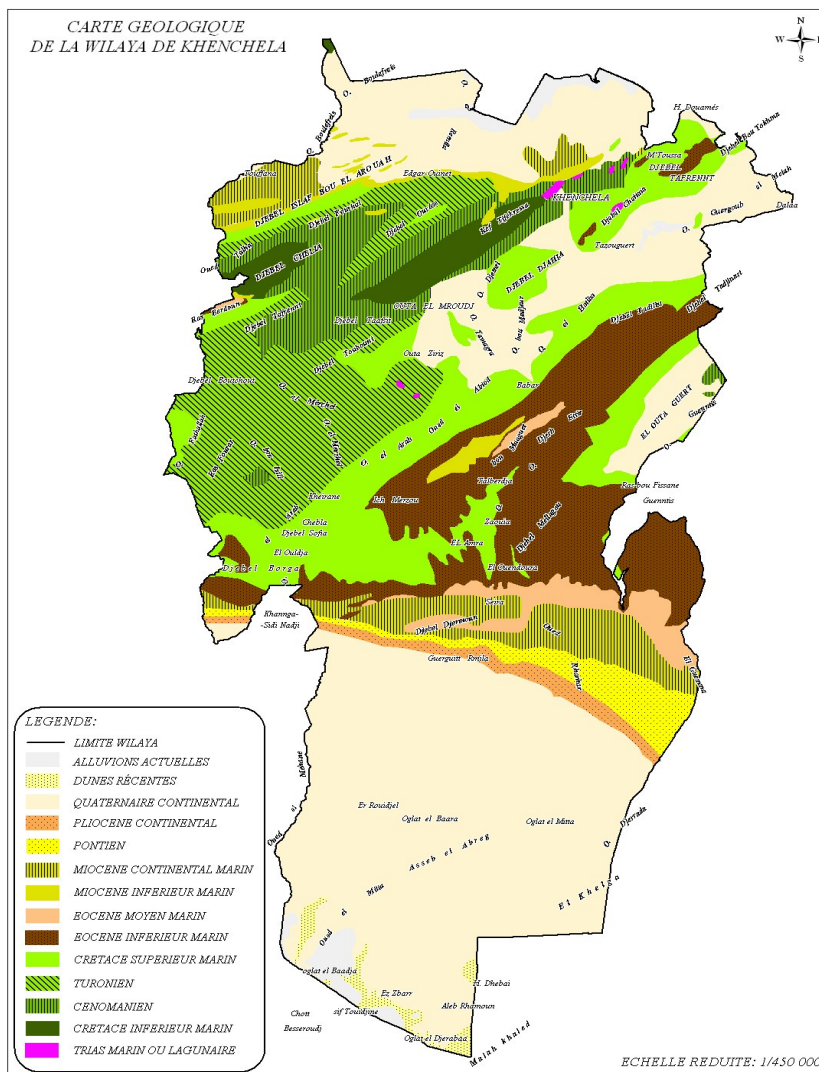
R. Laffitte en 1955 a dressé un log stratigraphique des principales couches géologique des Aurès.

I.2.1.1 Le Mésozoïque

a) Le trias

Le Trias est très affleurant dans le massif des Aurès, notamment à Djebel Aidel dans la région de Hammam Essalihine sur de grande longueur et épaisseurs. Il est essentiellement évaporitiques, constitué en grande partie d’argiles de couleur rouge lie-de-vin, à calcite et dolomies noires et à gypse marneux, halite et gypse.

Ce gisement est en contact anormal avec les calcaires de l’Albien, les marnes du Cénomaniens inférieur à moyen et marno-calcaires du Sénonien.



Source : D.E.W., 2009.

Figure 02 : Carte géologique de la Wilaya de Khenchela

b) Le Crétacé

b.1 Crétacé inférieure

b.1.1 Barrémien- Aptien

Dans le sud-ouest du massif de l'Aurès, le Barrémien est représenté par des grès, marnes rouges, montant jusque dans l'aptien. A djebel Aidel, on trouve des intercalations de calcaires marins dont l'épaisseur est en moyenne de 350 m sud donnant sur la source de Ain-Fringuel et à 250 m au nord sur la source de Ain-Silène.

Cette région a alors été le siège d'une sédimentation puissante (plus de 2000 m de dépôts parfois), principalement grés-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, 1939**). 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.

b.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 Remila 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.

b.2 Crétacé supérieur

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

b.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 (**Houha, 2007**).

b.2.2 Turonien

Le Turonien comporte, en effet, au-dessus des marno-calcaires de base, un ensemble de marnes beige et calcaires.

Dans le Djebel Amrane, le Turonien est schisteux à la base, calcaire dans la partie moyenne, et Marno-calcaire au sommet. L'épaisseur du Turonien peut atteindre 800 mètres dans les faciès Marno-calcaires du cœur de l'Aurès, mais varie de 1000 à 300 mètres dans les calcaires.

b.2.3 Sénonien

Le sénonien est présent au Sud de la plaine de Remila, 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.

I.2.1.2 Le Cénozoïques

a) Le Néogène

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

Reposant en discordance sur le Crétacé on observe généralement à la base de la série des conglomérats et calcaires, dont la puissance dépasse rarement une vingtaine de mètres. Au-dessus viennent des alternances de marnes gréseuses aux environs de 300 m entre Khenchela et Kais sur la bordure Sud du bassin de Remila, où elles sont surmontées par 150 m de marnes gréseuses grises. Il convient de préciser que ces formations Miocènes marines, classées fréquemment sous le terme de « grès », ne comportent en réalité que quelques bancs de grès noyés dans une importante épaisseur de marnes gréseuses. Ce qui fait que ces marnes gréseuses, paraissant très friables à l'affleurement, constituent en réalité une roche assez dure et probablement peu perméable (**Houha, 2007**).

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 (**Houha, 2007**).

I.2.1.3 Quaternaire

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

Le Quaternaire récent qui est entaillé par quelques oueds mais qui est recoupé par de très nombreux puits et forages. Ils présentent des faciès et des dispositifs assez variables qui résultent de la diversité de la lithologie et de la structure antérieures.

Les piémonts sont ici généralement modelés en glacis à couverture détritique peu épaisse, dont le plus visible est situé 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.

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 provenant des reliefs environnants.

L'examen de quelques coupes de forages 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. (Houha, 2007).

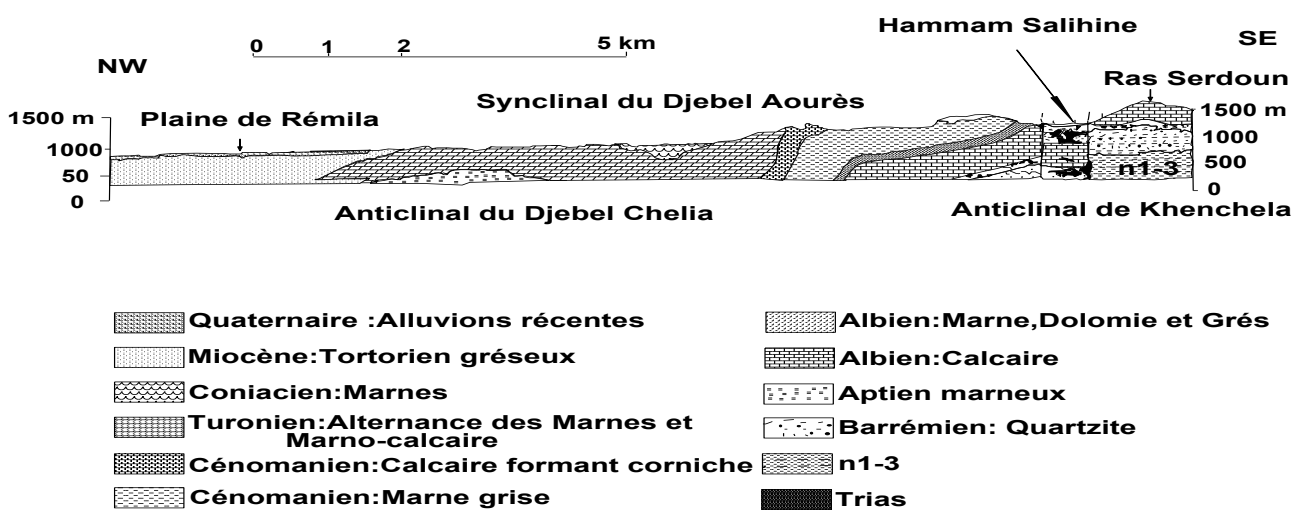


Figure 03 : coupe géologique de Djebel Aidel

I.2 Identification de la typologie des nappes aquifères du bassin de Remila

I.2.1 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. .

I.2.1.1 Aquifère superficiel

L'alternance des dépôts de graviers hétérogènes, argile rouge, conglomérats, marnes gréseuses plus ou moins grossiers sur une épaisseur de plus de 150 m, 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 intercalations argilo sableuse et dans des sable et graviers. C'est un aquifère multicouches séparés par des argiles et des marnes.

I.2.1.2 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, 2024**).

Les niveaux profonds calcaires Crétacés et qui alimentent par drainance ascendante les sources d'Ain Silèn au Nord et la source de Fringuel au Sud reposer directement sur les calcaires turonien au Sud-Ouest et sur les grès du Miocène au Sud (**Houha, 2007**). Il s'agit d'une nappe captive profonde de 300 m d'épaisseur recouverte de marno-calcaire et de marnés gréseuses.

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, la perméabilité et de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-3} m/s (**Houha, 2007**).

I.3 Présentation et nature des nappes aquifères

I.3.1 Nappe phréatique

La nappe aquifère est contenue dans le remplissage quaternaire dans des

intercalations argilo sableuse et dans des sable et graviers. C'est un aquifère multicouches séparés par des argiles et des marnes.

Les zones d'alimentation se situent :

- Principalement au Sud, à partir du versant Nord du Massif de l'Aurès et à l'Ouest, à partir du Djebel Amrane.
- L'alimentation par le Djebel Fedjoudj au Nord est considérablement plus réduite.

Il faut noter que le rôle joué par les Oueds est conséquent sur l'alimentation de la nappe phréatique. Il semblerait que certaines eaux s'échappent des oueds, Gueiss, Boulfreis et Baghai, pour alimenter la nappe (**Houha, 1997**).

I.3.1.1 Profondeur de la nappe

La nappe est dans l'ensemble de la plaine peu profonde et se situe vers 5 m dans toute la partie centrale et Ouest de la plaine. On remarquera une anomalie importante dans la région de Kais, où la nappe est profonde et atteint jusqu'à 30 m pour se trouver très rapidement à 5 m de profondeur à quelques kilomètres au Nord (**CGG, 1970 et ANRH, 2002**).

I.3.2 Nappes profondes

Les nappes profondes sont reconnues par quelques forages qui ont permis de tester les formations Quaternaires et récentes. Aucune autre formation antérieure (Grès miocène ou calcaires crétacés) n'a été testée dans les limites de la plaine (**d'après les données d'ANRH**).

Les forages captent tous des niveaux grossiers ou des conglomérats dans le remplissage Quaternaire.

I.3.3 Les eaux des calcaires et des grès miocènes de la bordure Sud

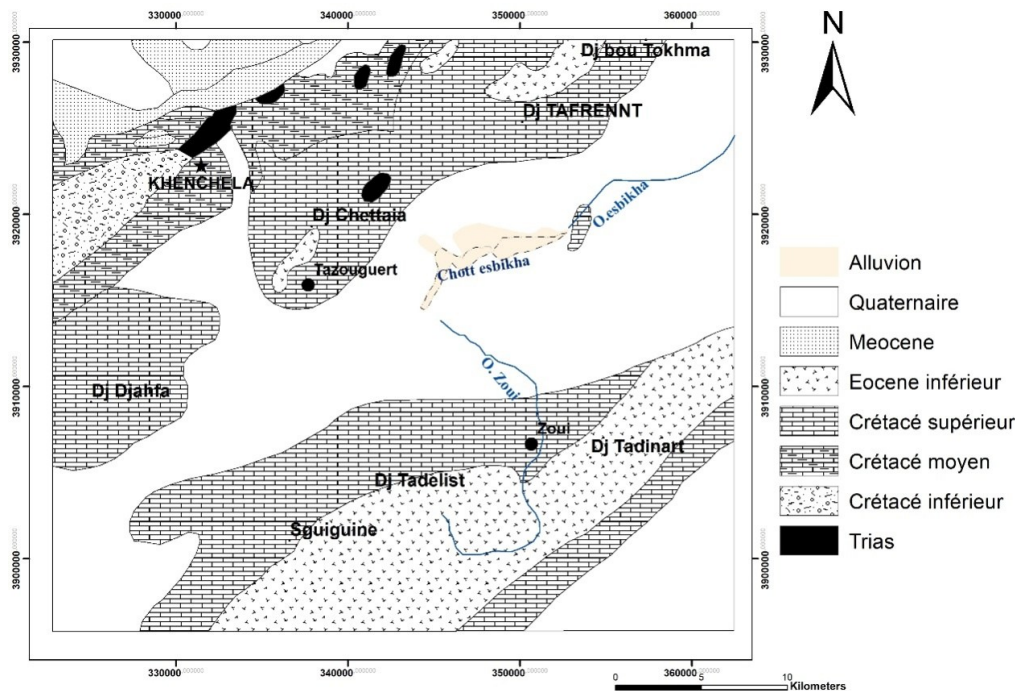
Le versant nord du massif des Aurès, constitué par les calcaires crétacé et les grès miocènes ont un pendage dirigé vers la plaine (direction des couches SE) assurent une réalimentation par vidange latérale et profonde sur la bordure Sud de la plaine, avec un débit de 1.11 m³/s (**A.N.R.H. 2002**). L'écoulement alimente, dans ces couches, les nappes des alluvions de la plaine. Comme les formations, crétacé et miocène, plongent sous le recouvrement plio quaternaires ; ces dernières constituent un grand front d'alimentation.

I.3.3.1 Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont d'origine continentale et occupent d'importantes surfaces. Ils se sont développés essentiellement dans les parties bordant les massifs montagneux. On y rencontre des éboulis à blocs, éboulements et glacis polygéniques. Dans les zones basses telles les vallées et les sebkhas, terrasses et sols salés hydromorphes.

On y trouve une croûte calcaire villafranchienne, perché, entaillé et probablement karstifié ainsi que des tufs carbonatés, liés à quelques sources hydrothermales.

Donc le quaternaire recouvre la majeure partie de la plaine d'el Mahmel. Le bassin étant fermé, il a recueilli tous les produits de l'érosion des reliefs environnants. Sédimentation est en majeure partie sableuse, limoneuse ; avec une proportion importante de gypse. On y trouve également des intercalations de : graviers, avec de gros galets.



Source : la carte géologique Nord-est de l'Algérie 1 :500000

Figure 04: carte géologique du bassin d'Es-Sbikhat El-Mahmel

I.3.3.2 Crétacé

Il correspond aux formations carbonatées situées surtout au nord de la plaine (Djebel Tafrent) en trouve :

- **Maestrichtien** : il correspond à des calcaires à des nodules de silex et une alternance de marnes et de calcaires.
- **Campanien** : correspond essentiellement à des marnes et des calcaires crayeux.
- **Santonien** : constitué par une série marneuse, d'une formation à caractère récifal et béchique
- **Coniacien** : correspond essentiellement à des marnes grises et marneuses calcaires.
- **Turonien** : en a le turonien supérieur constitué de marnes et de calcaires noduleux .le turonien basal correspond à de marnes à intercalations de marne calcaire.

I.3.3 Trias diapiritique

Le Trias correspond aux terrains les plus anciens des zones externes de la chaîne Alpine. Il est essentiellement évaporitique et se présente sous forme de structure diapiritique et en lames injectées le long des accidents tectoniques. Les affleurements d'extension et de constitution variable, perçant leur couverture mésozoïque et cénozoïque de façon anormale, s'observent en plusieurs dizaines de points dans les Aurès, ou sur ses bordures. Le trias dans la zone d'étude se trouve à l'est de djebel Chetaia où on observe un époinement triasique en forme décroissante allant d'Ain Karima au djebel tarf sur une longueur de 12 km et une largeur de 02 km. Il est en contact anormal avec le Turonien et le Sénonien supérieur.

Le diapir de Tazougert est formé par des argiles varicolores et gypses chaotiques à glaçon avec passage des marnes calcaires et cargneules. (J.M. Villa, 1973)

I.4 Cadre hydrogéologique

I.4.1 Identification du système aquifère

L'hydrogéologie est définie par deux grands aquifères, l'un superficiel constitué par des dépôts de sables, argiles et gravier d'épaisseur moyenne 50 mètres. Ces formations d'affleurements et d'extension réduite ne peuvent constituer à elles seules, un aquifère important dans la région, néanmoins elles pourraient répondre aux besoins domestiques et agricoles à petite échelle. Les débits extraits n'excédant pas 10 l/s.

L'aquifère profond est constitué par les formations de calcaires avec des intercalations de marnes d'une épaisseur pouvant atteindre 135 mètres.

Les calcaires du Turonien, constitué par une alternance de calcaires et de marnes (150 mètres) peuvent-être aussi un aquifère potentiel dans la région, cependant son importance hydrogéologique ne peut être connue que par un forage de reconnaissance.

❖ Dépôts Quaternaires

L'aquifère Quaternaires est constitué par des dépôts de sables, argiles et gravier d'épaisseur moyenne 50 mètres. Ces formations d'affleurements et d'extension réduite ne peuvent constituer à elles seules, un aquifère important dans la région, néanmoins elles pourraient répondre aux besoins domestiques et agricoles à petite échelle. La surface du niveau statique de cette nappe est en communication directe avec le réseau hydrographique superficiel.

I.5 Conclusion

La zone d'étude se présente comme un bassin sédimentaire dont la série stratigraphique est constituée par une alternance des marnes cénomaniennes et des marnes et calcaires du Turonien, sur laquelle dépose une bande calcaire qui représente le Maëstrichtien pour trouver au sommet des dépôts sableux, limoneux et des graviers avec de gros galets qui représente le quaternaire. La zone d'étude est définie par deux grands aquifères, l'un superficiel constitué par des dépôts de sables, argiles et gravier d'épaisseur moyenne 50 mètres et l'autre profond constitué par les formations de calcaires avec des intercalations de marnes d'une épaisseur pouvant atteindre 135 mètres.



Chapitre II
HYDRO CLIMATOLOGIE

II.1 Introduction

La climatologie est la science qui permet d'appréhender le climat d'une région selon une distribution statistique des données climatiques de l'atmosphère sur de longues périodes. Elle repose sur l'analyse des données statistiques des paramètres climatiques enregistrés sur une période définie, permettant ainsi d'évaluer les divers éléments du bilan hydrique. Ce dernier est essentiel pour appréhender le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface, nécessitant la prise en compte de plusieurs paramètres tels que les précipitations, la température et l'évapotranspiration.

L'examen des données climatiques permet d'identifier les caractéristiques climatiques de la région, fournissant des informations sur :

- Le type de climat ;
- Les caractéristiques du bilan hydrique du bassin versant ;
- La variation temporelle des termes du bilan, tels que les précipitations et l'évaporation ;
- Le comportement hydro-climatologique du bassin versant.

II.2 La station de mesures

Les paramètres climatologiques sont obtenus soit par des mesures sur le terrain (précipitations, températures), soit par des calculs à l'aide de formules empiriques (évapotranspiration potentielle, évapotranspiration réelle, pluviométrie, indice pluviométrique).

En l'absence des relevées de la station de l'ONM de Khenchela, qui nous a refusé l'octroi des données climatiques mesurées durant les vingt dernières années, nous avons utilisés les données fournies par les sites web :

Historique-Météo.net

Tableau.01 : Les Coordonnées géographiques de la station de mesure

Station	Altitude	Latitude	Longitude
El Hamma	982,5 m	35° 28 N	07° 05

Source : station météorologique d'El-Hamma

II.3 étude des facteurs climatiques

II.3.1 Précipitation

Le terme précipitation inclut toute l'eau atmosphérique. Les pluviomètres collectent l'eau, sous forme de : pluie, neige, grêle, brouillard et rosée. Dans cette étude, nous nous concentrerons uniquement sur Les précipitations liquides (pluie), qui sont avec la température

les principaux facteurs qui conditionnent le climat d'une région donnée.

Les précipitations mensuelles annuelles varient de manière irrégulière et aléatoire. Sur une période de trente ans d'observation mensuelle, le mois le plus pluvieux est Mai, avec une moyenne cumulée de 58.96 mm de pluie. En revanche, le mois de juillet est le moins pluvieux, avec une moyenne de 14.08 mm. Les précipitations sont importantes pendant la saison printanière, tandis que l'été connaît une diminution des pluies, en rapport avec le relief. En 2020, les précipitations ont atteint 192 mm en avril, mais aucune pluie n'a été enregistrée en février.

Tableau 02 : Pluviométrie interannuelle enregistré (1994-2023).

Mois	Précipitations (mm)
janvier	39,28
février	29,67
mars	44,41
avril	49,79
mai	58,96
juin	27,67
juillet	14,08
août	34,03
septembre	51,26
octobre	37,23
novembre	35,42
décembre	38,88

II.3.1.1 Variations de la précipitation moyenne mensuelle

Les précipitations moyennes mensuelles annuelles sont irrégulières, aléatoires et épisodiques, durant trente années d'observation mensuelle, le mois le plus pluvieux est Mai avec une moyenne cumulée de pluie de 58.96 mm. Le mois de juillet est le moins pluvieux avec une moyenne de 14.08 mm. Les événements pluvieux sont importants en saison de printemps, alors que l'été est marqué par un tarissement de la pluie en rapport avec la nature du relief caractérisé par un climat semi-aride. Durant l'année 2020 les précipitations ont atteint 192mm en avril et 00 mm en février.

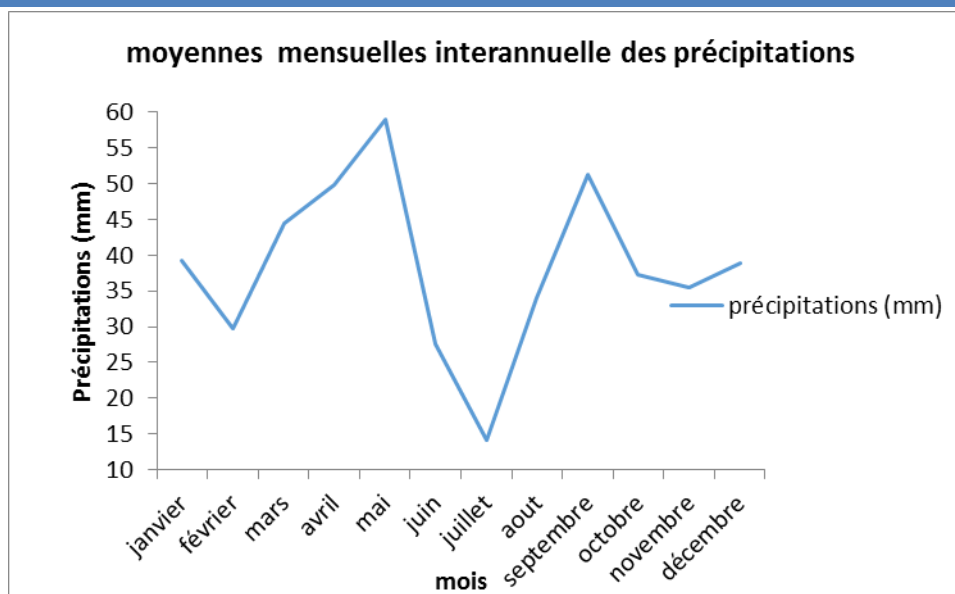


Figure 06 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d’El Hamma pour la période (1994 - 2023).

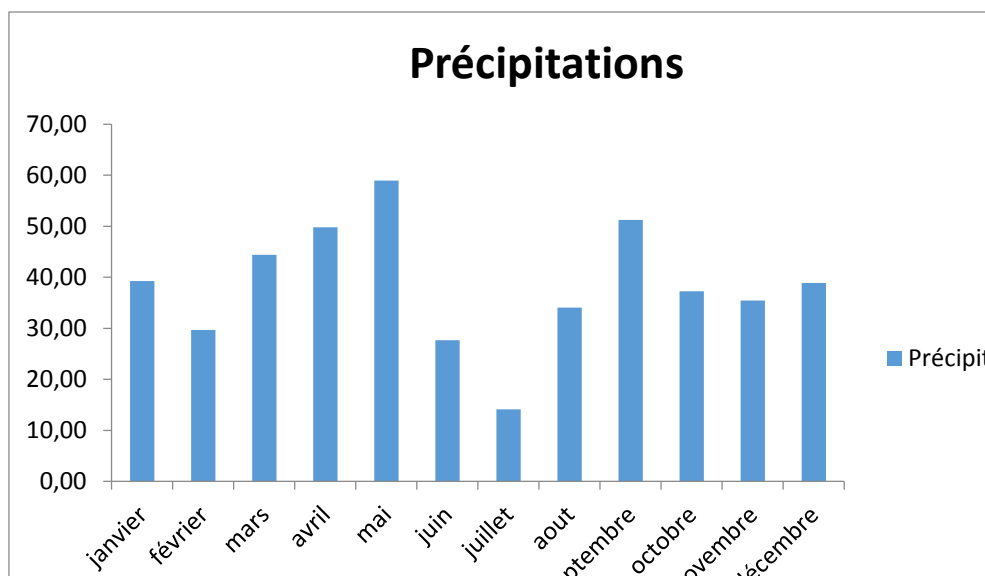


Figure 07 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d’El Hamma pour la période (1994 - 2023).

II.3.2 Température

La température est l’un des éléments majeurs ayant un grand impact sur le climat, car, elle conditionne le climat, il entre dans l’estimation du bilan hydrologique et permet de quantifier l’évaporation.

Des variations mensuelles et saisonnières des températures de l’air sont un fait très frappant durant les chroniques d’observation. La saison d’été est la plus chaude avec une moyenne de 25°C observée en juillet-août. Les températures peuvent grimper jusqu’à 50°C certaines années.

L'hiver est marqué par une moyenne de 6°C. Durant cette saison la température pourrait descendre vers des valeurs négatives et sont marquées par des grêlées nocturnes et matinales.

La température mensuelle moyenne interannuelle de l'air est de 14°C.

Tableau 03. Les données des températures durant la période (1994-2023)

Températures	moyenne	Min	Max
Janvier	5,41	0,40	10,00
Février	6,52	0,90	23,00
Mars	9,13	3,40	28,00
Avril	12,01	4,10	18,70
Mai	16,11	9,10	23,00
Juin	21,26	13,10	30,00
Juillet	24,23	17,40	32,00
Aout	23,62	12,40	30,00
Septembre	19,75	13,70	27,00
Octobre	15,32	8,90	22,00
Novembre	9,66	1,80	15,00
Décembre	6,30	1,60	11,00

II.3.2.1 Variations de la température moyenne mensuelle

Le diagramme des températures se caractérise par une distribution unimodale, marquée par une valeur centrale élevée en mois de juillet de 24.23°C et son opposée, une valeur faible, en mois de janvier 5.41°C.

L'amplitude de température est de 18°C très influencée par l'effet d'altitude des Aurès qui culmine à 2800 m d'altitude sur Ras-Keltoum (Djebel Chélia).

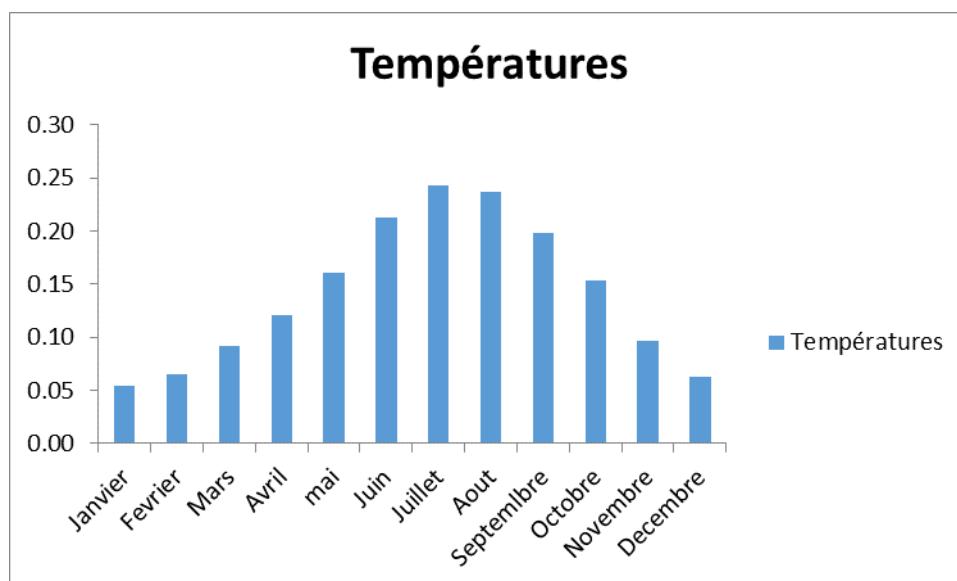


Figure 08: Evolution des températures mensuelle à la station d'El Hamma pour la période (1994 - 2023).

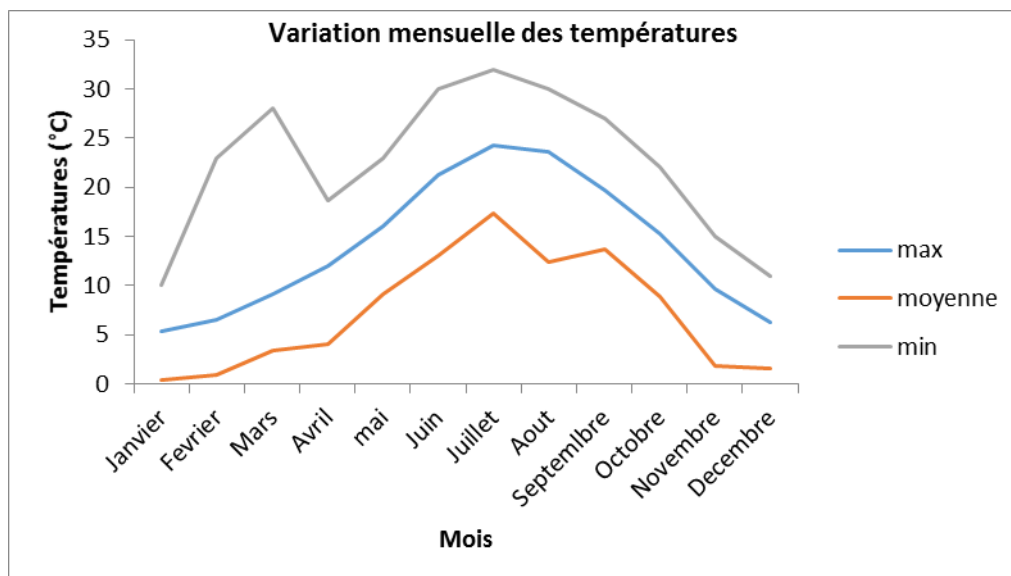


Figure 09 : Variation de la température moyenne mensuelle El Hamma pour la période (1994 - 2023).

II.4 Caractérisation du climat

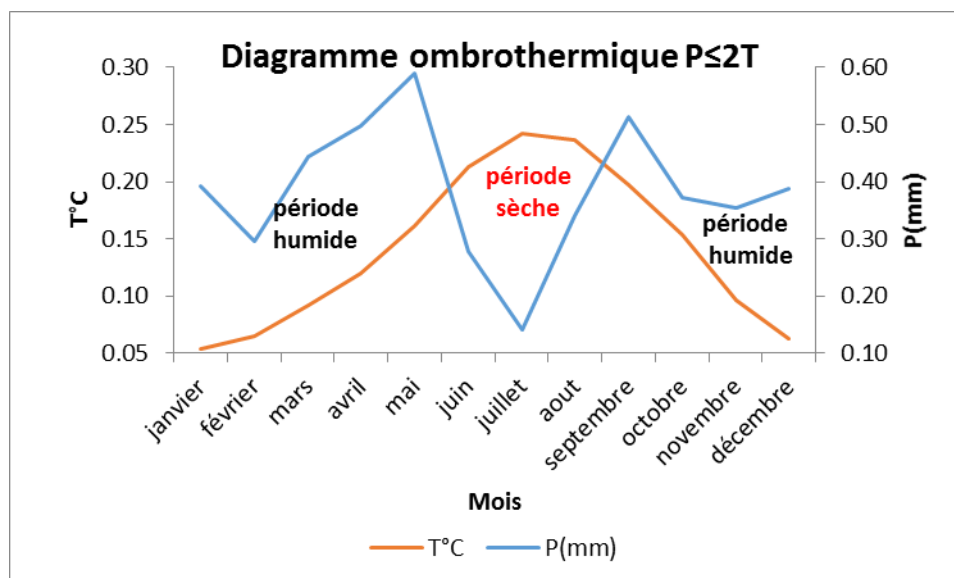
II.4.1 Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

Les mois humides et pluvieux se distinguent des mois sec par une représentation graphique grâce aux mesures des températures et précipitations selon l'inéquation $P \leq 2 T$. il s'agit d'une représentation graphique par le diagramme de Bagnouls et Gaussien (1961), qui indique l'importance des saisons sèches en durée et en intensité en tenant compte de l'emplacement de la courbe des températures moyennes par rapport à celle des précipitations.

Selon Gausсен une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales inférieures ou égales au double de la température : $P \leq 2T$ (période sèche).

Un mois sec se définit, selon Bagnouls et Gausсен (1961), comme celui ayant un total des précipitations, en millimètres, égal ou inférieur au double de la température moyenne en °C ($P < 2 T$). Une saison sèche est celle formée de plusieurs mois secs consécutifs.

Grace au diagramme précipitations versus deux fois la température , la courbe pluviométrique de « GAUSSEN ET BAGNOULS », a permis de mettre en exergues les mois de juin, juillet et aout comme étant des mois secs en rapport avec $P(\text{mm}) < 2T^{\circ}\text{C}$ et le reste de l'année sont des mois pluvieux et humides.



$P = 2T$

Figure 10 : Diagramme Ombrothermique de la station d'El Hamma.

Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double de la température : $P=2T$.

Avec ; P : précipitations moyenne mensuelle en mm.

T : température moyenne mensuelle en °C.

Le diagramme ombrothermique de la station étudiée est illustré dans la figure.

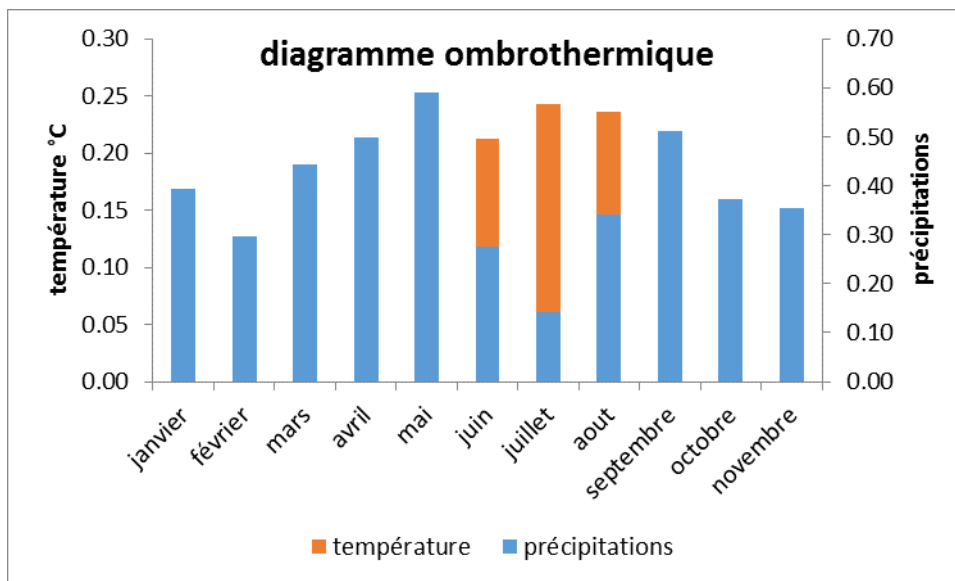


Figure 11 : Diagramme Ombrothermique de la station d’El-Hamma.

II.4.2 Indice climatique

II.4.2.1 L’indice climatique de DE MARTONE 1923

L’indice d’aridité de Martonne (1923) se base sur le régime des précipitations et des températures pour caractériser le climat d’une région :

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

Où :

P : précipitation moyenne annuelle en mm ;

T : température moyenne annuelle en °C.

Ainsi, suivant la valeur de A, il définit des climats distincts :

Tableau 04: Indice d’aridité de Dé Martonne

Classement d’indices d’aridité	Type de climat
I < 5	Climat hyperaride
5 < I < 7.5	Climat désertique
7.5 < I < 10	Climat steppique
<u>10 < I < 20</u>	<u>Climat semi-aride</u>
20 < I < 30	Climat tempéré
I > 30	Climat humide

P = mm.

T = °C

Le climat régnant dans le massif des Aurès est de type semi-aride avec une tendance tempéré.

II.5 Estimation de l'évapotranspiration

Le terme le plus important du bilan hydrologique, après les précipitations, est l'évapotranspiration. L'évapotranspiration en milieu semi-aride représente une composante majoritaire du cycle hydrologique (**Hernandez, 2000**). (**Pilgrim et al ., 1988**) rapportent que l'évapotranspiration recycle 80% des précipitations en milieu semi-aride et 95% en région aride. L'évaporation du sol nu a souvent un poids supérieur à la transpiration des plantes du fait de la large portion de sol nu et d'une couverture végétale souvent discontinue et peu abondante. L'évapotranspiration joue donc un rôle majeur et ne peut pas être négligée sous ce type de climat.

Ce paramètre climatique peut être mesuré directement sur le terrain à l'aide d'appareils (évaporomètre, bacs d'évaporation) ou calculé par des formules empiriques (Turc, Thornthwait, Coutagne...).

II.5.1 Méthode de THORNTHWAIT :

Cette méthode fait ressortir quatre paramètres : ETP, ETR, déficit agricole (DA) et l'excédent (EX). A partir de ce dernier paramètre on aboutira au ruissellement et à l'infiltration. Tous ces paramètres, reposent sur l'estimation de la réserve facilement utilisable (RFU).

La RFU est la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique.

La réserve facilement utilisable RFU est calculée par la formule de Hallaire (1960) donnée ci-dessous :

$$RFU = \frac{1}{3} Da * He * Pr$$

Où :

RFU : la réserve facilement utilisable (m);

Da : densité apparente du sol prise égale à 1,5;

He : capacité de rétention prise égale à 0,3;

Pr : profondeur des racines prise égale à 0,5 m.

La RFU ainsi calculée pour la région est égale à 60 mm.

Donc La détermination de l'ETR est en fonction de L'ETP et de la quantité d'eau disponible ETR peut être évalué par l'établissement du bilan comme par l'application de certaines formules empiriques .ce paramètre peut être calculé d'après G.Thornthwaite en utilisant les

conditions suivantes :

- 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 a $ETR=P+RFU$.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 duquel, il y aura une infiltration vers la nappe.

La méthode de Thornthwaite est la plus appropriée pour de tels calculs car elle contient un facteur de correction K qui intègre la durée d'insolation.

Le bilan hydrologique, selon la méthode de Thornthwaite, pour la région de Khenchela est porté dans le tableau suivant :

II.5.1.1 Formule de THORNTHWAITE

La méthode de Thornthwaite d'évaluation de l'évapotranspiration potentielle est une méthode empirique qui a été établie par ajustement statistique en 1951.

Il est souvent aisé de calculer l'ETP par cette formule car elle nécessite des données climatiques relativement simples à acquérir.

La formule de Thornthwaite est la suivante :

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10.T}{I} \right)^a \times K$$

Avec

E.T.P : Evapotranspiration potentielle en mm

T : Température moyenne annuelle en °C

I : indice thermique annuel qui est la somme des douze indices thermiques mensuels i.

Avec :

$$T = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

$$i = \left(\frac{16}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = 0.429 + (1.79 \cdot 10^{-2} \cdot I) - (7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2) + (6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3).$$

K : est un terme correctif qui intègre la durée théorique d'insolation dépendant de la latitude et du mois.

II.6 Interprétation du bilan hydrologique

II.6.1 Le bilan hydrique

Le bilan hydrologique est un moyen de connaître les réserves et de suivre leur évolution au cours de l'année hydrologique.

La réserve hydrique d'un sol peut être définie comme la quantité maximum d'eau dont peut disposer la végétation pour son alimentation lors des déficits pluviométriques. Cette réserve est « utile » à la végétation, d'où le nom de « réserve utile » ; tout en privilégiant le terme plus explicite réserve hydrique.

Pour la réserve utile il faut prendre en compte la profondeur de sol colonisé par les racines et l'humidité volumique (**Cosandey, 2003**).

Pour un horizon de 20 cm de profondeur constitué de limon argileux et parcouru par des racines de céréaliculture, la variation d'humidité volumique aux bornes de la RFU peut être estimée à 15%.

La période de reconstitution des réserves commence dès que la pluie est supérieure à l'évaporation ($p > E_{tp}$) (**Cosandey, 2003**).

A la fin de l'été début d'automne, les sols sont secs et le niveau de la réserve hydrique du sol est nul. Au mois de novembre, les pluies l'emportent sur l'évapotranspiration. Le massif des Aurès est marqué par un cumul de pluie évalué à 460.67 mm avec un maximum de 58.96 mm au mois de mai et un minimum de 14.08 mm au mois de juillet. L'année hydrologique commence dès que les précipitations dépassent l'évaporation. En fait, le mois de juillet correspond à la plus forte valeur de l'évapotranspiration, il se trouve au cœur d'une période de six mois de sécheresse et de déficit hydrique. Durant cette période de six mois, en l'occurrence une saison sèche, la réserve d'eau commence à s'épuiser jusqu'à atteindre une valeur nulle dès le mois de juin et se prolonge jusqu'au mois d'octobre. Les réserves en eau commencent par se reconstituer dès le mois de novembre ou $P > E_{TP}$, c'est-à-dire, dès que les précipitations soient suffisantes, pour atteindre une valeur de saturation de 60 mm au mois de de Janvier. A partir de Janvier, Février, Mars Avril, la réserve du sol ayant atteint le maximum de saturation de la capacité de rétention spécifique, tous les surplus des précipitations sur les valeurs de l'évapotranspiration potentielle sont partagés entre la reconstitution des réserves des nappes et l'écoulement. Au mois de janvier la réserve hydrique

est reconstituée sur toute son épaisseur et que la teneur en eau du sol a atteint la capacité de rétention, toute la pluie non retenue par la couche superficielle du sol, s'infiltré et rejoint la zone saturée. Pendant le printemps, la pluie non reprise par évaporation profite à la réserve hydrologique jusqu'aux sources et aux cours d'eau. D'autre part l'excédent annuel est proche des écoulements annuels, on peut dire que tous les excédents. L'excédent en eau observé en mois de Janvier Jusqu'à avril, s'écoule pour alimenter les cours d'eau et les plans d'eau libres.

S'écoulent notamment en mois pluvieux où l'ETP est faible.

L'écoulement se poursuit malgré que les précipitations sont moindres et que l'ETP est très importante, et cela se produit par épuisement des réserves.

A la fin du printemps, mai, l'évaporation devient supérieure aux précipitations, la réserve hydrique s'épuise ; la réserve hydrologique, qui continue à maintenir les écoulements alors qu'elle n'est plus réalimentée, s'épuise également.

Au mois de Juin l'évapotranspiration réelle puise dans les réserves du mois précédent pour atteindre sa valeur maximale de 68.49 mm. De juillet à octobre est alimentée par les précipitations.

Globalement la période de mai à octobre correspond à une phase de tarissement de réserves souterraines puisque leur alimentation est stoppée. Leur recharge est effectuée durant le reste de l'année avec un maximum supposé en janv Bilan Hydrique.

Tableau 05 : Bilan hydrologique moyen (1994 - 2023) à la station d'El Hamma par la méthode de Thornthwaite

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	mai	Juin	Jet	Aout	Année
P (mm)	51,26	37,23	35,42	38,88	39,28	29,67	44,41	49,79	58,96	27,67	14,08	34,03	460,67
ETP (mm)	89,82	58,15	26,09	13,54	11,19	14,40	28,73	45,99	78,14	118,70	146,35	131,85	762,95
P-ETP (mm)	-38,57	-20,92	9,33	25,34	28,09	15,27	15,68	3,80	-19,18	-91,03	-132,26	-97,82	-302,28
RFU (mm)	0	0	9,33	34,67	60	60	60	60	40,82	0	0	0	324,82
ETR (mm)	51,26	37,23	26,09	13,54	11,19	14,40	28,73	45,99	78,14	68,49	14,08	34,03	423,17
Da (mm)	-38,57	-20,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-50,21	-132,26	-97,82	-339,78
Ex (mm)	0	0	0	0	2,76	15,27	15,68	3,8	0	0	0	0	37,51

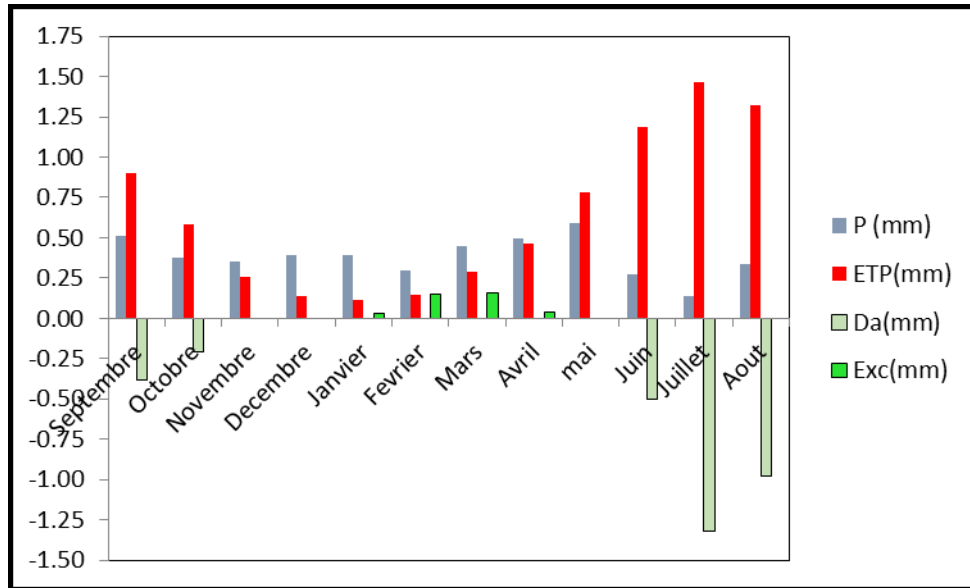
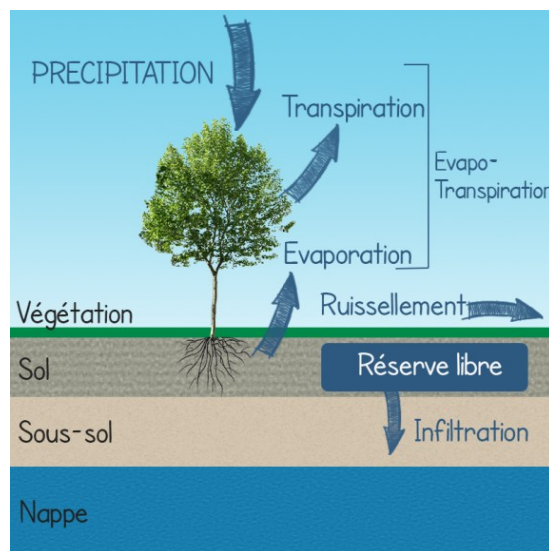


Figure 12 : Bilan hydrique moyen de la période (1994-2023)

Au mois de juin l'évapotranspiration réelle puise dans les réserves du mois précédent pour atteindre sa valeur maximale de 68.49 mm. De juillet à octobre est alimentée par les précipitations.

Globalement la période de mai à octobre correspond à une phase de tarissement de réserves souterraines puisque leur alimentation est stoppée. Leur recharge est effectuée durant le reste de l'année avec un maximum supposé en janvier Bilan Hydrique.



Le Bilan Hydrique

$$P = ETR + R + I$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm) ;

ETR : évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm) ;

R : ruissellement moyen annuel (mm) ;

I : infiltration moyenne annuelle (mm).

II.6.2 Calcul du ruissellement

Ces eaux sont des eaux de précipitations, pluies et de fonte des neiges, qui ruissellent à la surface du sol pour constituer un écoulement de surface et sont drainées jusqu'aux Sebkhah.

La formule de TIXERONT-BERKALOFF permet d'estimer le coefficient de ruissèlement (R) qui est exprimé en mm par an.

Avec :

R : ruissèlement en (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm) .

L'application numérique de la formule à donner le résultat suivant :

$$R = 55.98 \text{ mm.}$$

II.6.3 Estimation de l'infiltration

L'infiltration est estimée négativement ce qui pourrait conduire à une nappe captive qui ne reçoit pas directement de l'eau de pluie depuis la surface. L'alimentation de la nappe se fait latéralement par les écoulements de bordure et par drainance, les nappes sous-jacentes.

La lame d'eau infiltrée est souvent déduite à partir la formule de bilan hydrique:

$$P = R + I + ETR$$

Donc on aura:
$$I = P - (ET R+R)$$

Avec :

P: précipitation moyenne annuelle en mm ;

R: Ruissellement annuel en mm ;

I: l'infiltration efficace moyenne annuelle en mm ;

ETR: évapotranspiration réelle annuelle calculée selon la formule de THORNTHWAITE en mm.

La valeur de l'infiltration déduite de l'équation du bilan hydrique est négative ; ce qui traduit qu'on est en présence de la synergie de deux hypothèses :

Hypothèse 1 : sur le plan du relief, on est en présence d'une région montagneuse sylviculture à topographie escarpée ou l'écoulement de surface l'emporte sur l'infiltration ainsi que le pendage des couches géologiques n'est pas favorable à l'infiltration, la lame d'eau qui s'écoulée en surface est captée par la végétation pour l'évapotranspiration.

Hypothèse 2 : les coupes géologique dénotent que l'aquifère des calcaires de l'Albien

très profond est captif, il ne reçoit pas d'alimentation directe de la surface du sol, mais il serait alimenté par drainance ascendante et descendante, et/ ou ; il serait alimenté souterrainement et latéralement depuis les affleurements des aquifères contigus.

II.7 Conclusion

La zone d'étude à un climat semi-aride .Elle se caractérise par des hivers froids et pluvieux et des étés chauds et secs.

Précipitations annuelles moyennes au fil du temps (1994– 2023), estimé à 460.68 mm, leur répartition se fait principalement de novembre à mai. La période sèche dure six mois du mois de juin à octobre Les températures moyennes mensuelles varient entre 5.41 °C et 24.23 °C, avec une moyenne annuelle de 14.11 °C .Le mois de juillet étant le plus chaud, et Janvier le plus froid.

L'évapotranspiration potentielle est de 760,98 mm l'évapotranspiration réelle est de 447 ,09 mm le déficit agricole est de -300,31 mm l'excédent est de -3,79 mm.

Le ruissèlement est de valeur négative en mm A signaler l'absence de l'infiltration directe sur le sol et l'alimentation de l'aquifère se fait depuis les affleurements des roches calcaires et par drainance ascendante depuis les nappes profondes. Notons que le bilan hydrique est déficitaire par l'existence de deux saisons, l'une humide et l'autre est sèche.

A thick blue vertical bar runs down the right side of the page. A horizontal blue bar extends from the top of this vertical bar to the left, creating a header area. The text is centered within this horizontal bar.

Chapitre III
HYDROCHIMIE

III.1.Introduction

Dans ce chapitre nous tenterons de caractériser chimiquement la source souterraine d'Ain Silèn, d'identifier ses phases chimiques et de déterminer l'origine des éléments qu'elle contient (**Belkoun, 2017**).

Les eaux souterraines ont un ensemble de propriétés chimiques et physiques différentes de celles des eaux de surface. Chimiquement, leur composition peut varier en fonction de la géologie, de la topographie, de la recharge et d'autres facteurs environnementaux. Ils peuvent contenir divers composés, notamment des minéraux dissous comme le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le bicarbonate, le sulfate, le chlorure et des oligo-éléments comme le fer, le manganèse, et parfois des contaminants d'origine anthropique, comme les nitrates, les pesticides ou métaux lourds .

Au niveau physique, les eaux souterraines présentent des propriétés telles que la température, la conductivité, le pH et la turbidité, qui peuvent être affectées par des facteurs locaux tels que la profondeur, le débit et la présence de matériaux filtrants. Les températures des eaux souterraines sont généralement plus stables que celles des eaux de surface en raison de la protection du sol et des roches. La conductivité est couramment utilisée comme indicateur de la salinité des eaux souterraines et de la concentration en ions dissous. Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau, qui change également en fonction des processus géochimiques se produisant dans l'aquifère.

Le traitement statistique des données et les représentations graphiques ont été réalisés grâce au logiciel « **Diagramme** » établi par le docteur Roland Simler en 2005 et modifié à maintes reprises par lui-même, et du laboratoire d'hydrogéochimie de l'université d'Avignon (LHA).

III.2. Caractérisation Physico-chimique des aquifères montagnes des Aurès

Nous avons effectuées plusieurs sorties de terrain pour la description des sources, assorties de mesures de terrain, in-situ, concernant les paramètres physico-chimiques : température, pH, conductivité électriques et oxygène dissous, à l'aide d'un multi paramètre Consort du laboratoire de biologie de l'université de Khenchela.

Des prélèvements d'échantillons pour les analyses physico-chimiques ont été réalisés conformément au protocole d'échantillonnage.

Description des sources

Source d'Ain Kerma ;

Cette source est située à un altitude comprise entre 1100 et 1134 m. les eaux émergent dans les calcaires fissurés du Turonien au pied de Djebel Aidel qui culmine à

plus de 1500m d'altitude, la température de l'eau est de 20°C, la conductivité est de 400µS/cm. C'est une source captée avec un débit de 7 l/s.

Source d'Ain Silè

Elle est située sur le versant Nord du massif des Aurès sur Djebel Aidel à une altitude de 1179 m. La température de l'eau est de 16°C avec une conductivité de 437 µS/cm. La source. Elle affleure dans les formations géologiques marno-calcaires de l'albo-aptien. Sur le versant nord de Djebel Aidel 35°26'07N07°05'19E.

Source d'Ain Fringuel

C'est une source située au pied de Djebel Aidel sur son versant Sud, elle donne sur la vallée de Oued El- Hatiba, située à 1263 m d'altitude 35°23'53 N, 7°05'13E la température de l'eau est 16.4°, la conductivité électrique est de 465 C'est une source qui débite à 5l/s, elle émerge dans les calcaires turoniens.

III.2.1.Sources de Fringuel et Ain Silèn

La caractérisation physico-chimiques des aquifères de montagne s'articule sur des mesures des paramètres de terrain et des analyses de laboratoire afin de définir des ressemblances , similitudes et de différences pour expliquer l'origine de la minéralisation des eaux, les facies chimiques et les échanges cationiques, entre les différentes sources qui émergent sur les deux versants de Djebel Aidel qui culmine à 1500m d'altitudes dont le versant Nord donne sur la plaine de Rémila et les vents maritimes de la méditerranée et le versant sud fait face aux parcours steppiques de Khenchela et les vents du Sahara (Sirocco).

Ce travail doit être fait dans un contexte régional afin de pouvoir caractériser physiquement et chimiquement les aquifères de montagnes, tout en mettant en exergues les eaux des deux sources ; Ain Silèn et Ain Fringuel, situées respectivement, sur le versant nord et sud de Djebel Aidel, dont la géologie à la base se trouve des marnes surmontés par des calcaires marneux du Crétacé inférieur sur lesquels vient se déposé des calcaires marno-calcaire et des bancs calcaires au sommet du Crétacé supérieur.

Les mesures de terrain, sur les eaux des deux sources, ont été effectuées au mois de mars à l'aide d'un multi paramètre de terrain, consort C931, du laboratoire de biologie de Khenchela, à noter que la sonde pH est défectueuse. Les paramètres physico-chimiques «non conservés» qui évoluent rapidement et peuvent subir des transformations une fois les eaux prélevées de leur milieu initial d'interaction, ont été mesurés sur le terrain, sont : la température des eaux (T°C), la conductivité électrique (c à 25°C en mS/cm), l'oxygène dissous (O₂ en mg/l) et le potentiel d'oxydo-réduction (Eh en mV).

III.2.2. La Température des eaux

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 °C.

La température est un paramètre de première importance de la qualité des eaux souterraines, elle varie avec les eaux d'alimentation de surface et les eaux profondes qui remontent par drainance verticales ; elle est fonction du gradient géothermiques d'environ 3°C tous les 100 m de profondeur, la désintégration radioactives, le flux thermique terrestre à partir de 50 m et les frictions entre les roches sont tous sources d'énergies qui contribuent au réchauffement des eaux souterraines.

La température des eaux à l'échelle des aquifères de montagnes varient entre 11 et 20°C comme valeur maximale et autour d'une moyenne de 17°C, cette moyenne est proche de la moyenne annuelle de la température de l'air, qui, sous nos latitudes, se situe autour de 16 °C.

Ain Silèn et Ain Fringuel, présentent des températures, respectivement proches 16 et 17 °C, il semblerait qu'il s'agit d'un même aquifère avec des profondeurs de captage relativement différentes et des influences des eaux d'alimentation de surface.

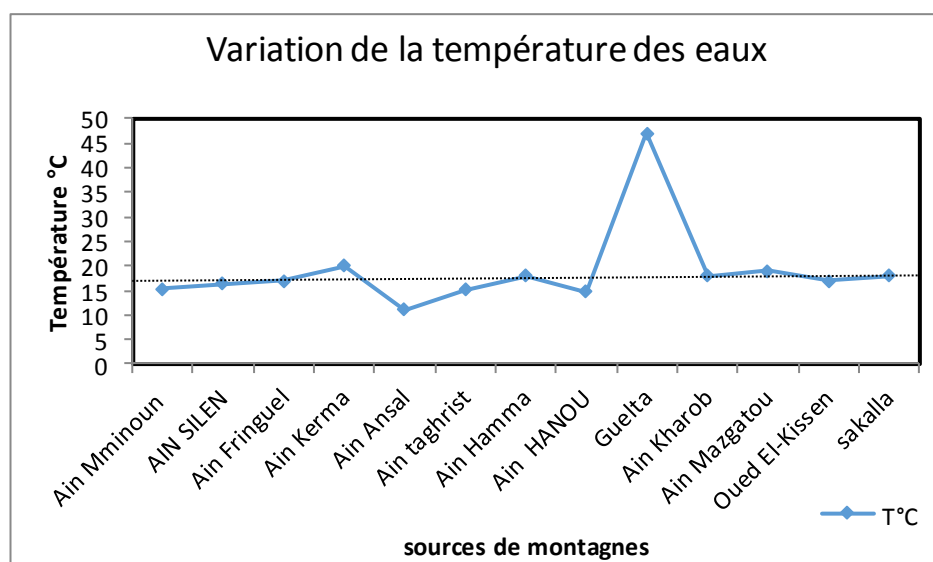


Figure 13 :Variation de la température des eaux de sources de montagne

III. 2.3. PH

Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'anhydride carbonique, l'alcalinité et la température. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés.

Habituellement il varie entre 7,2 et 7,6.

Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations. (R O D I E R J, 2005).

III. 2.4. Conductivité électrique des eaux

La conductivité électrique de l'eau représente la propriété d'une solution de conduire le courant électrique, en fonction de la quantité de ions présents dans l'eau. Il s'agit d'électrolytes de solution de celles qui sont dissous et dissocié en anion et cations.

D'une manière générale, on peut dire que la conductivité constitue un moyen rapide et peu coûteux de déterminer la force ionique d'une solution. C'est une mesure indirecte du degré de minéralisation des eaux. La mesure de ce paramètre est un moyen de contrôle de potabilité des eaux. Sa variation nous renseigne sur le degré de pureté des eaux par d'éventuelles contaminations par les eaux usées de surface, ou l'intrusion des eaux salées des Sebkhia et/ou mers.

La conductivité électrique des eaux de montagnes varient entre 373 et 2300 mS/cm, autour d'une moyenne de 868 mS/cm.

Ain Silèn et Ain Fringuel, présentent des valeurs de conductivité, respectivement, de 437 et 465 mS/cm. Ces deux valeurs semblent de même ordre de grandeurs. Ces deux sources captent le même aquifère avec des influences géologiques lors de la remontée en surface.

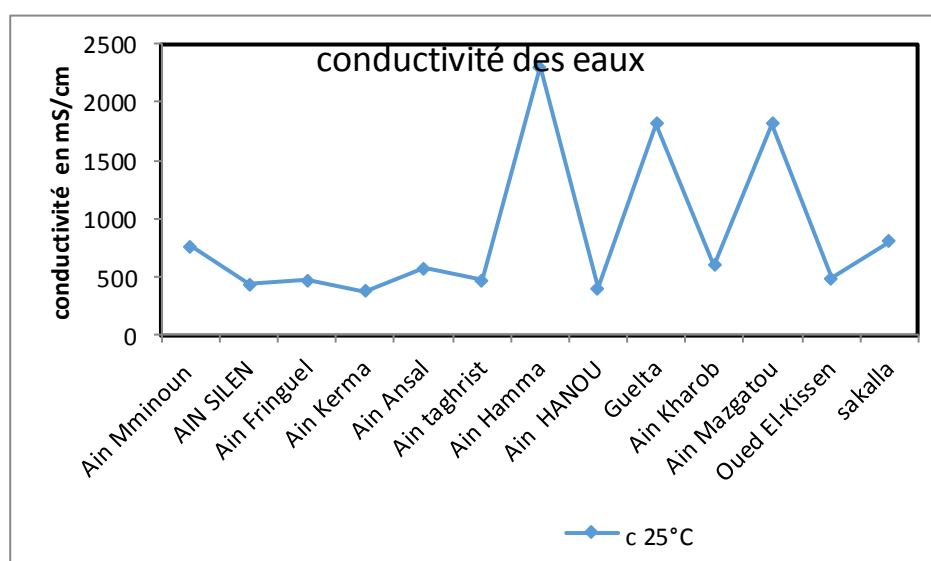


Figure 14 : Représentation graphique des résultats des analyses chimiques

La représentation graphique est un moyen de traitement et d'interprétation des résultats des analyses chimiques pour la caractérisation des eaux.

L'objectif principal d'une représentation graphique est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution afin de classer les eaux et de les comparer entre elles, en matière de compositions physico-chimiques et de proximité géographique. L'interprétation des éléments majeurs en termes de faciès chimique s'avère précieux quand il s'agit de distinguer des groupes d'eau de chimisme et de minéralisation différents au sein d'un aquifère. On peut également identifier des relations entre ces familles notamment en cas d'évolution et de mélange entre des eaux douces et salines.

III.3. Les représentations graphiques les plus courantes

Les deux graphiques, Schoeller-Berkaloff et Piper, sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes. L'objectif est de caractériser le faciès chimique et de comparer les différentes eaux entre elles, notamment les eaux d'Ain Silèn et Ain Fringuel.

III.3.1. Le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite).

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée.

Un avantage du diagramme de Piper est qu'il permet de représenter sur un même graphique de nombreuses analyses autorisant des regroupements par famille présentant des faciès similaires. Ce point peut s'avérer particulièrement intéressant dans le cadre du suivi qualité d'une eau dans le temps, pour lequel on dispose de plusieurs analyses physico-chimiques, ou dans le cadre d'études régionales de comparaison de divers points.

La représentation graphique sur le diagramme de Piper permet de déduire un faciès bicarbonaté calcique pour les eaux de sources de montagnes de hautes altitudes alors que les sources de basse altitudes sont sulfatées calciques en fin les forages avoisinant les reliefs sont chloruré sodique. Nous pouvons dire qu'il y a évolution progressive

du facies chimique depuis les eaux bicarbonatées calciques des sources situées en altitudes vers des eaux chlorurées sodique des plaines avoisinantes, avec un facies intermédiaire des eaux sulfatées calciques aux piémonts des montagnes par dissolution de roches évaporitique.

Les eaux de sources d'Ain Silèn et Ain Fringuel présentent un même facies chimique : il s'agit d'eau bicarbonatée calcique. Par ce type de facies nous confirmons que les deux sources, malgré leur position géographique sur deux versants opposés de Djebel Aidel, émergent d'un même aquifère à des altitudes différentes.

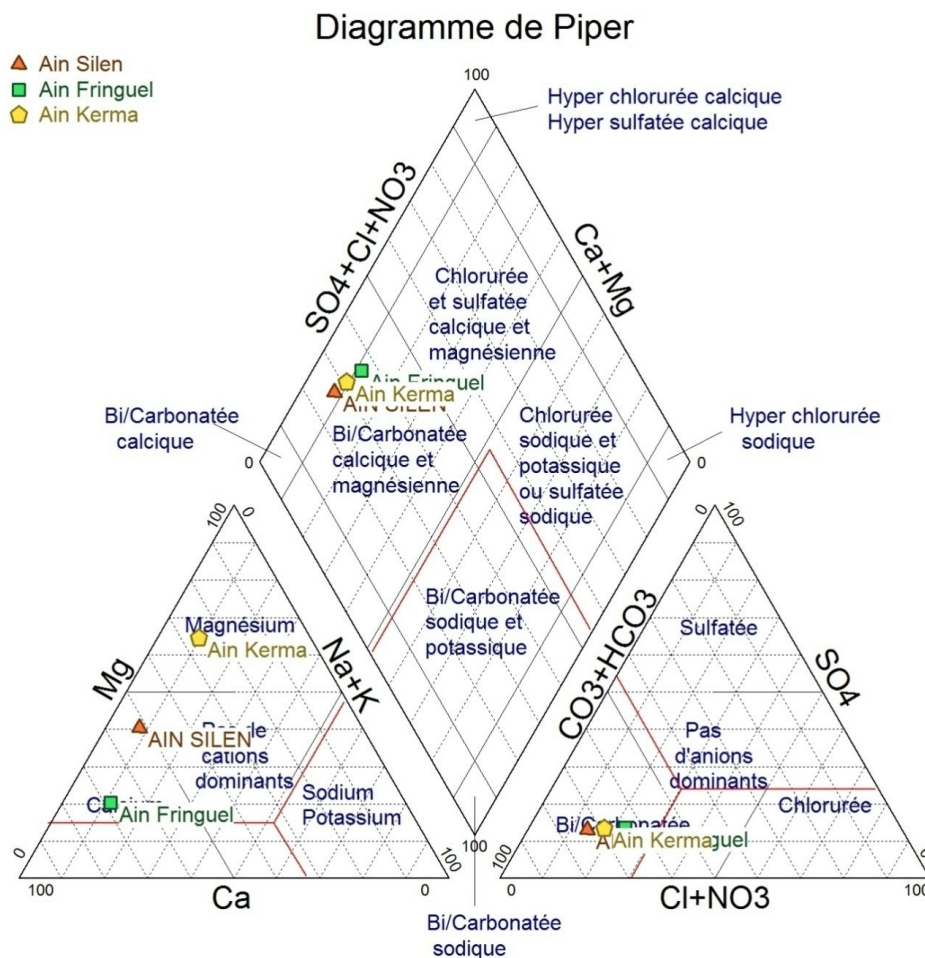


Figure 15 : Diagramme de Piper

III.3.2. Le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff est une représentation graphique semi-logarithmique, sur lequel on porte les résultats directement en mg/l ou en meq/l, et les 2 axes des ordonnées, situés à droite et à gauche du graphique, permettent une conversion directe en milliéquivalent. Il permet une lecture directe des concentrations en meq/l des différents ions majeurs. Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique. Il y a superposition des droites obtenues si les

concentrations sont identiques et décalage relatif des droites les unes au-dessus des autres dans le cas contraire.

La représentation graphique des résultats des analyses d'eau des sources d'Ain Silèn et Ain Fringuel donne des eaux à faciès Carbonaté calcique. La superposition des droites de représentation graphique laisse supposer que les concentrations sont identiques et le prélèvement des eaux est issu d'un même aquifère.

Sur l'axe des abscisses sont représentés les différents ions. Pour chacun de ces ions (ou des groupements $Na^+ + K^+$ et $CO_3^{--} + HCO_3^-$) la teneur réelle en meq/l est reportée sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès de l'eau concernée.

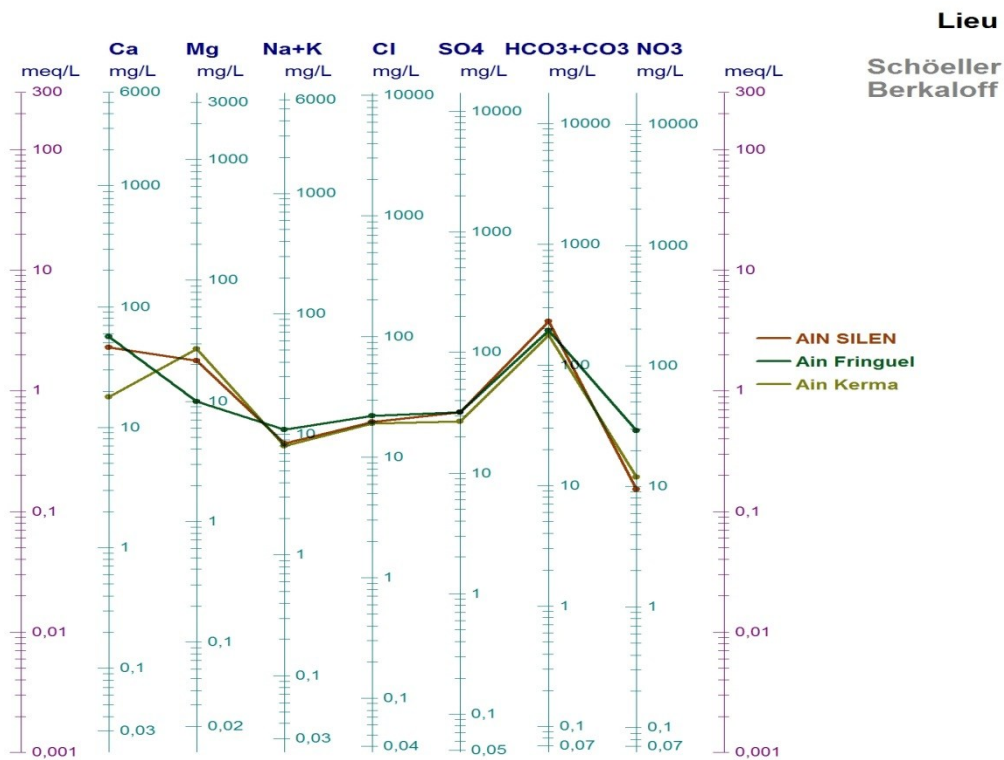


Figure 16 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff

III.3.3. Diagramme horizontal de Stabler

Ce type de diagramme est utilisé pour reconstituer les els dissous et comparer la composition ionique de différentes eaux, en particulier dans le contexte de l'hydrogéochimie et de la qualité de l'eau.

- o Reconstitution des sels dissous de la source d'Ain Silèn

Ca HCO₃ Mg HCO₃ Mg SO₄ Mg Cl₂ Na Cl

Calcite Magnésite Sulfate de magnésium Halite

Il s'agit de la dissolution d'une roche sédimentaire à dominance carbonatée calcique et dolomitique avec des inclusions saline : sulfate de magnésium et halite.

- **Reconstitution des sels dissous d'Ain Fringuel**

Ca HCO₃ Ca SO₄ Mg SO₄ Mg NO₃ Mg Cl₂ Na Cl

Calcite gypse sulfate de magnésium chlorure de magnésium et halite

Il s'agit de la dissolution de roches sédimentaires à matrice carbonatée calcite avec dissolution d'inclusions de gypse (Ca SO₄) et de Mg SO₄ et d'halite Na Cl.

- **Reconstitution des sels dissous d'Ain Kerma**

CaHCO₃MgHCO₃Mg SO₄ Mg Cl Na CL

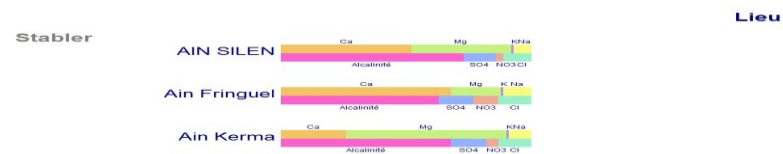


Figure 17 : Diagramme de Stabler

III.4.Origine de la minéralisation des eaux

La détermination de l'origine de la minéralisation des eaux des aquifères de montagnes se fait par les graphiques des rapports binaires avec le croisement des valeurs des conductivités électriques des points analysés en fonction des ions majeurs.

Sur la figure 16 : diagramme de Stables, nous avons croisé c25°C vs HCO₃/SO₄+Clafoin de déterminer le facies dominant dans les eaux des sources de montagnes. Sur cette représentation graphique Nous constatons que le nuage de points s'établi dans le pole carbonaté, y compris les sources de Ain Silèn et Ain Fringuel, ceci traduit que le facies carbonaté est dominant dans les eaux de sources de montagnes alors que les eaux de forage des affleurements présentent un facies évaporitique mineur.

Diagrammes conductivité électrique versus ions majeurs

Le diagramme de la conductivité électrique en fonction des ions majeurs montre une très forte corrélation linéaire entre la conductivité électrique et le calcium (A), magnésium (B), sulfates (C) Sodium (D), et Chlore (E) (figure 18) ce qui déduit que ces minéraux contribuent à la minéralisation des eaux.

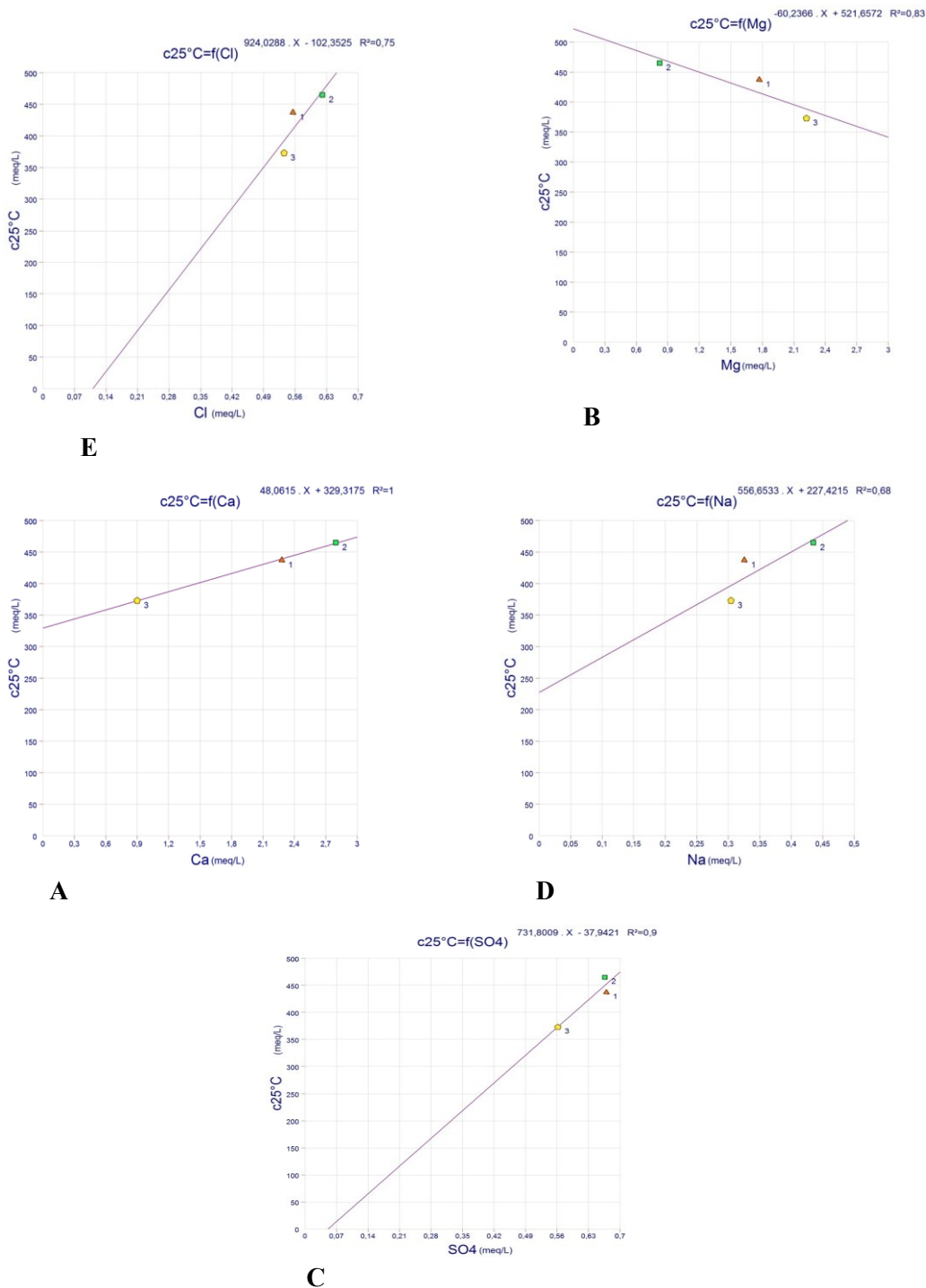


Figure 18 : Diagrammes conductivité électrique versus ions majeurs Rapports caractéristique

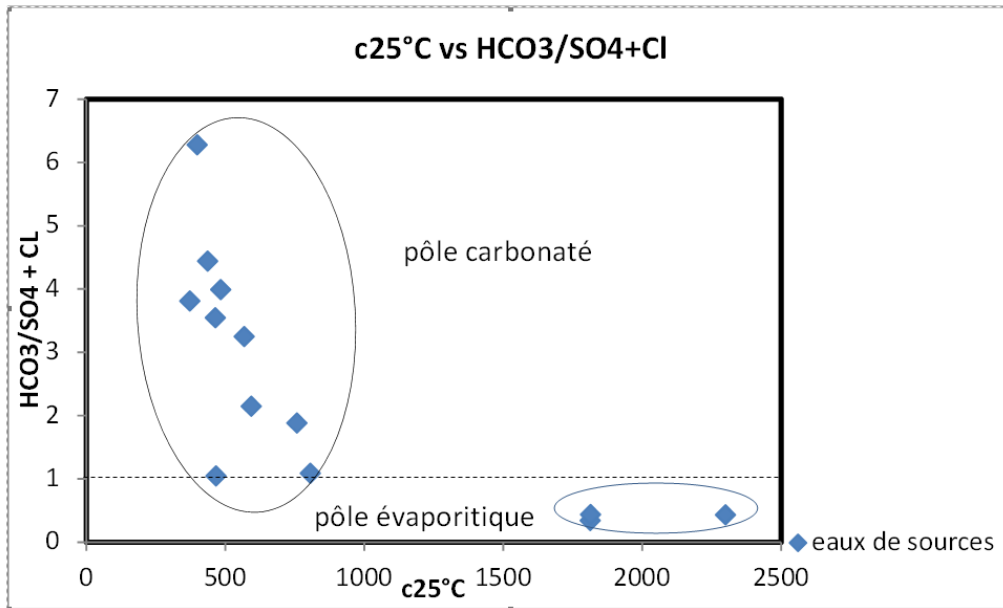


Figure 19 : Diagramme du rapport c25°C vs HCO3/SO4+Cl

○ **Rapport Cl/SO₄ vs C25°C**

Ce diagramme montre que la minéralisation des eaux de sources, en dehors de la dissolution des roches carbonatées, est influencée par la dissolution du gypse et du sulfate de magnésium que par la dissolution de l'halite en concordance avec la reconstitution des sels dissous sur la base des diagrammes de stabilité. Les eaux des forages des affleurements sont à faciès chloruré sodique.

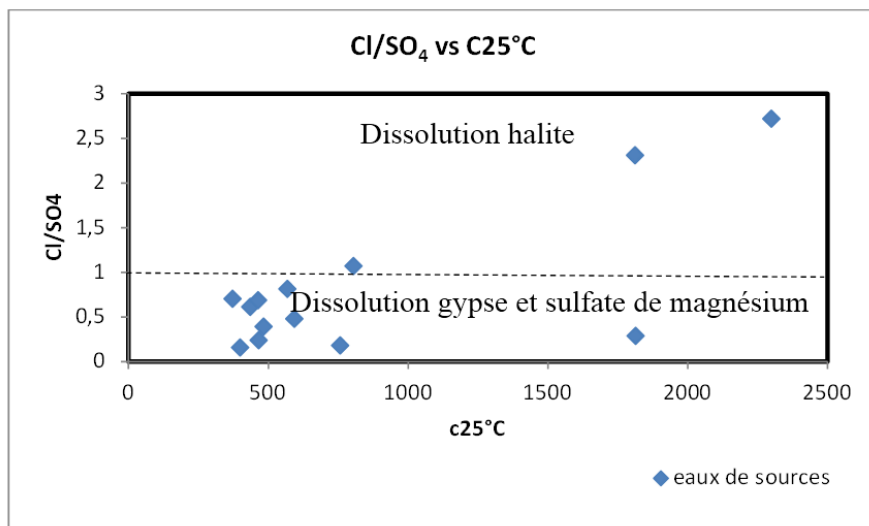


Figure 20 : Diagramme du rapport Cl/SO4 vs C25°C

La projection des points d'eaux analysées montre un nuage de points dominant dans le pôle des eaux bicarbonatées calciques, il s'agit des eaux de sources d'altitude, notamment, les sources de Ain-Silèn et Ain Fringuel : ce faciès chimique est déterminé par la

dissolution des roches carbonatées, calcite et dolomie, en rapport avec la géologie locale. Un deuxième faciès mineurs défini par les roches évaporitiques et déterminé par la dissolution du gypse et sulfate de magnésium qui se manifeste dans les eaux de sources des piémonts et les forages des plaines.

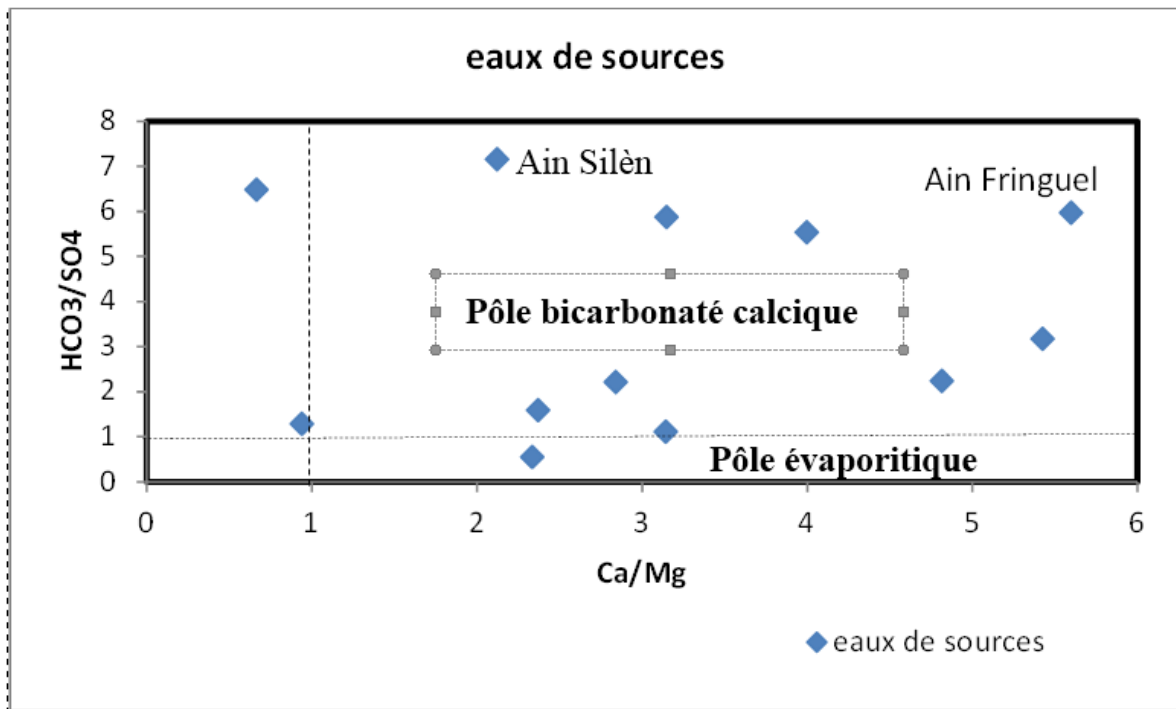


Figure21 : Diagramme du rapport HCO_3/SO_4 vs Ca/Mg

Pour la source d'Ain Fringuel les eaux sont composées de la calcite dolomite, gypse et halite.

Les étés calciques il s'agit d'eau récentes issue probablement des précipitations avec sodiques, souvent associées à des eaux anciennes ou profondes et parfois à des processus d'évaporation ou à l'influence de l'eau de mer.

Les différences entre les trois échantillons, en termes de rapport entre le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) et les autres ions, pourraient refléter des variations locales dans la géologie ou la cinétique de dissolution des minéraux dans les aquifères. Les eaux de Hammam Elknif et Hammam Djarir présentent une teneur relative plus élevée en calcium par rapport à Hammam Essalihine, ce qui pourrait indiquer une interaction plus intense avec des roches carbonatées ou la présence de matériaux calciques dans le bassin hydrographique.

III.5. Aptitude des eaux à l'irrigation

III.5.1. Introduction

Sous l'effet du climat de type semi-aride, voire aride, l'agriculture rencontre des problèmes tels que le risque de salinisation et d'alcalinisation 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.

III.5.2. Risque de salinité (salinisation des sols)

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.

III.5.3. Aptitude des eaux 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**).

III.5.4. Pourcentage de sodium

Le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés de sodium. Nous avons d'utiliser la classification de «Wilcox» (**Tableau 22**) qui basé sur la comparaison de conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau.

Pour examiner ce problème. Le pourcentage du sodium peut être défini comme suit :

$$\text{Na}\% = (\text{Na} / \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}) * 100.$$

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

Les éléments sont exprimés en meq/l. Cette méthode se traduit sous forme d'un diagramme qui définit cinq classes d'eau suivante :

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

2 Bonne 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 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 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 Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous

certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

Les eaux d’Ain Silèn et Ain Fringuel sont classées dans la catégorie des eaux d’excellente qualité et peuvent être utilisée en irrigation de toutes les plantes sans restriction aucune.

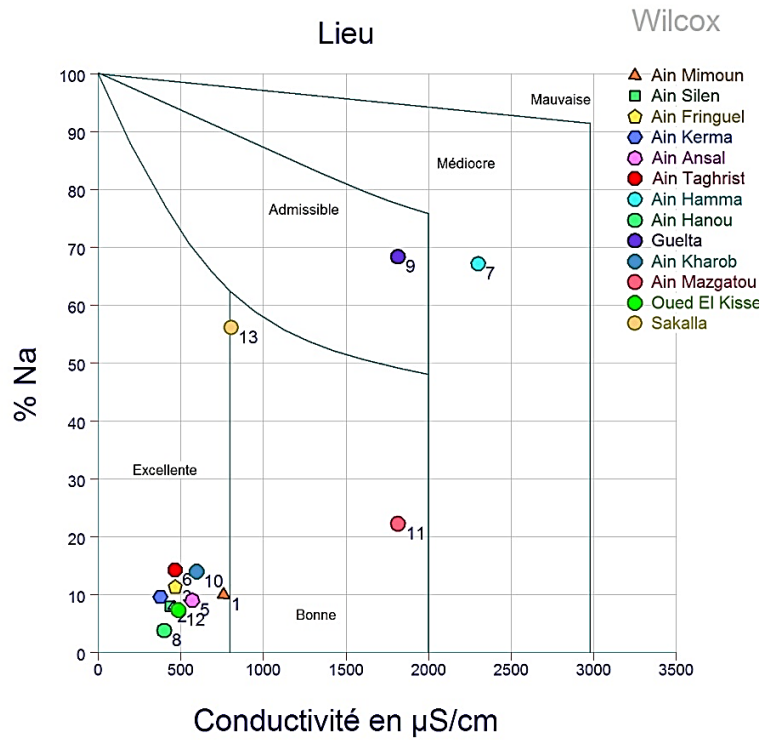


Figure 22: Classification de Wilcox Degré Qualité Classe L'état d'utilisation

III.6.Résultats

Les résultats des analyses physico-chimiques sont portés dans le tableau suivant :

- ✓ Les caractéristiques organoleptiques

Tableau 06 : Représenter les caractéristiques organoleptiques les trois sources des eaux

Les caractéristiques	Ain Kerma	Ain Fringuel	Ain Silène
Odeur	Agréable	Agréable	Agréable
Couleur	Claire	Claire	claire
Mousse	absence	Absence	absence
Turbidité	Absence de trouble	Absence de trouble	Absence de trouble

Tableau 07 : Représenter les caractéristiques physico-chimiques les deux sources Ain silèn et Ain Fringuel

Les caractéristiques	Ain Kerma	Ain Fringuel	Ain Silène	Norme
PH	7,400	7,766	7,383	6,5-8,5
O2 (ppm)	5,20	5,14	4,96	/

✓ **Les caractéristiques physico-chimiques**

Tableau 08 : Un tableau représentant une comparaison du pH et de l'O 2 sur trois sources des eaux

Nom	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO4 ⁻⁻	HCO3 ⁻	NO3 ⁻	T°C	c25°C	pH
AIN SILEN	46	22	7	1	20	32	230	9	16	437	7,4
Ain Fringuel	56	10	10	1	22	32	191	29	16,4	465	7,7

III.7. Conclusion

Ce chapitre a présenté les généralités sur l'eau et les indicateurs de pollution de nature physico-chimique. Ces indicateurs permettent d'évaluer la qualité et de classer les eaux souterraines destinées à la consommation humaine.



CHAPITRE IV
ETUDE BACTERIOLOGIQUE

IV.1.Introduction

L'eau est un élément fondamental de la vie, d'ailleurs, c'est la vie-même, comme stipule le coran « de l'eau nous avons fait toutes choses vivantes », il est considéré comme la matière première, le moteur, pour tout développement socio-économique notamment en pays semi-aride comme l'Algérie, qui est pauvre en eau de surface, mais pour la relance de son économie et pour son autosuffisance alimentaire elle exploite les ressources en eau souterraine.

Toutes les eaux souterraines, captées par des forages, puits et sources sont destinées à l'alimentation en eau potables et aussi, pour satisfaire les divers besoins d'une population qui ne cesse de s'accroître selon un taux d'accroissement démographique de 3.5 % annuel (DSP- Khenchela, 2020).

Les grandes activités qui consomment l'eau sont l'agriculture, l'industrie et les besoins urbains et domestiques. Néanmoins, ces activités sont génératrices de déchets, solides et liquides, qui constitueraient une menace pour la santé publique et l'environnement s'ils ne seraient pas traités.

Dans cette étude, nous examinons la qualité bactériologique des eaux de sources d'Ain-Silène et Ain Fringuel qui sont largement exploitées pour l'alimentation en eau potable par les habitants de la ville de Khenchela.

Les eaux souterraines peuvent être soumises à divers risques microbiologiques, notamment la présence d'organismes pathogènes. Ces pathogènes, provenant suite à la contamination par des eaux usées –vannes, produit par la pollution fécales, peuvent être nombreux et variés, rendant leur détection difficile. Les virus, en particulier, présentent un défi supplémentaire en raison de leur petite taille et de leur identification souvent complexe voire impossible.

L'analyse bactériologique devient donc un outil indispensable dans l'évaluation de la qualité des eaux souterraines. Elle permet de détecter d'éventuels microorganismes pathogènes (bactéries et virus) qui sont susceptibles de générer des maladies dangereuses voire mortels telles que choléra, fièvre typhoïde, gastro-entérite, dysenteries et hépatite virale.

○ Les eaux usées

Une eau usée ou résiduaire est une eau issue des activités anthropiques (domestiques, industrielles, agricoles) qui a été dégradée après usage. Le rejet direct de ces eaux dans le milieu naturel représente la forme de pollution la plus dommageable pour l'ensemble des écosystèmes. Ces eaux transportent des concentrations élevées en matières

polluantes (azote, phosphore, matière organique, métaux lourds, bactéries pathogènes...), ce qui détériore la qualité des eaux pour les milieux récepteurs (rivières, lac,...).

Suivant l'origine des substances polluantes, on peut classer ces eaux usées en 3 catégories :

- **Les eaux usées domestiques** : elles résultent des activités humaines (les excréments humains, les eaux ménagères, etc...). Ces eaux sont généralement chargées en matière organique, azote et phosphore.
- **Les eaux usées industrielles** : Elles proviennent essentiellement des usines et des installations industrielles ; ces eaux peuvent contenir des éléments traces métalliques (As, Pb, Cr, Cd, Hg etc...), des solvants, des colorants, etc...
- **Les eaux usées agricoles** : Elles proviennent du lessivage des terres cultivées et traitées avec des engrais et des pesticides, l'utilisation extensive de ces produits sont à l'origine de la présence des nitrates et des éléments traces métalliques (Zn, Cu, Pb,...) dans ces eaux.

IV.2. La qualité des eaux souterraines

Étant donné que les eaux souterraines sont généralement à l'abri de toutes contaminations de surface, notamment une contamination par les eaux usées domestiques riches en micro-organismes pathogènes, car le sol se comporte comme un filtre naturel. A signaler que les échanges hydrauliques entre les eaux de surface et les eaux souterraines pourraient amener certains micro-organismes de passer dans les eaux souterraines comme des hôtes non souhaités. Ce qui nécessite une surveillance accrue des eaux souterraines, notamment en période de crue et de forte averses, et de s'assurer de leurs qualités physico-chimiques et bactériologiques par des analyses périodiques, tous les six mois et en cas d'épidémie. Les pollutions microbiologiques se rencontrent surtout dans les aquifères à perméabilité de fissure (craie, massifs calcaires), dans lesquels la fonction épuratrice du sous-sol ne peut s'exercer et dans lesquels la matière organique est dégradée partiellement.

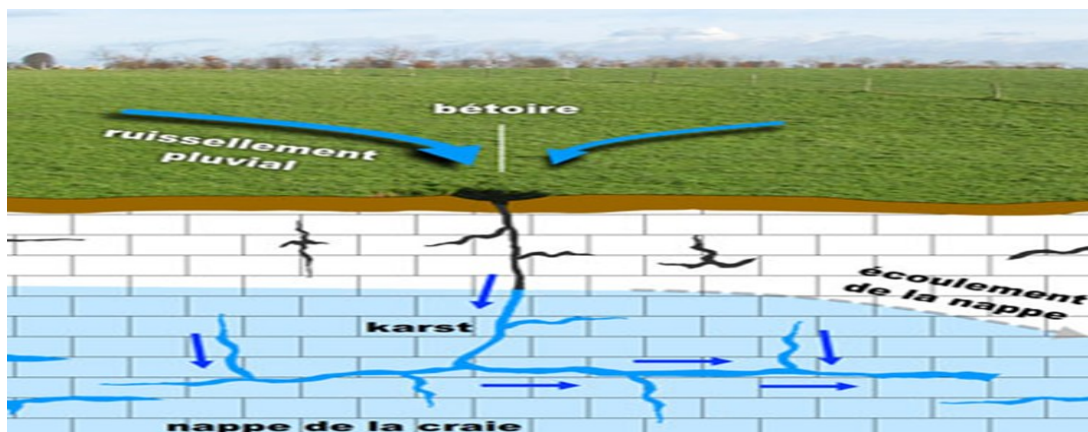


Figure 23 : Représenter les eaux souterraines

IV.3. Qualité bactériologique

La qualité bactérienne des eaux souterraines est un aspect important de la santé publique et de la protection de l'environnement. Les bactéries présentes dans les eaux souterraines peuvent provenir de diverses sources, telles que les activités domestiques, agricoles qui sont des producteurs de matières organiques de type eau vannes et déchet d'animaux. Les principaux types de bactéries qui affectent la qualité de l'eau comprennent les coliformes fécaux, les coliformes totaux, les streptocoques, les clostridiums, *Escherichia coli* (*E. coli*) et les entérocoques. Pour évaluer la salubrité de l'eau potable, on utilise principalement les quatre indicateurs microbiens suivants : numération des bactéries hétérotrophes (NBH), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF) et *Escherichia coli* (*E. coli*). La bactérie *E. coli* est l'indicateur d'agents entéropathogènes le plus fiable, et donc le meilleur moyen de détecter une contamination fécale récente dans les réseaux d'eau potable. La bactérie *E. coli* fait partie de ce sous-groupe, dont elle est le seul membre à ne se trouver que dans l'intestin des animaux et humains à sang chaud (37°C).

La présence de ces bactéries dans les eaux souterraines, notamment accompagné de l'*Escherichia Coli*, peut être un signe de contamination fécale, posant un risque potentiel pour la santé humaine. Coliformes fécaux, coliformes totaux et *E. coli* est souvent utilisé comme indicateur de contamination fécale, car sa présence indique la présence possible d'agents pathogènes d'origine fécale, tels que des virus et des parasites, qui peuvent provoquer des maladies telles que la gastro-entérite.

IV.4. Indicateurs de contamination bactérienne :

Par définition, un bon indicateur de contamination est une espèce ou un groupe de bactéries, Présente certaines caractéristiques des indicateurs idéaux parmi ces indicateurs polluer. Les bactéries présentes dans l'eau peuvent provenir de trois sources différentes :

- Sources purement aquatiques ;
- Origine terrestre ;
- Sources animales ou humaines : ce sont des bactéries contaminants la plupart du temps les selles, et parfois le nasopharynx, qui se développe à une température proche 37°C et sont habitués à un environnement nutritif riche en matières fécales (fèces) organique (Sayad, 2008).

IV.5. Echantillonnage d'eau pour les analyses bactériologiques

Pour déterminer la qualité bactériologique des eaux souterraines de la région de Khenchela, nous avons prélevé 3 échantillons des eaux de sources d'Ain Fringuel, Ain-Silène et Ain-Kerma en période Mai 2024. Les analyses bactériologiques ont été effectuées dans un laboratoire. Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, nous avons utilisé des flacons en verre de 250 ml munis d'un cordon. Au moment du prélèvement, on ouvre le flacon et on l'introduit dans le puits à 30cm de profondeur, en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Ensuite on retire le flacon rempli d'eau. On détache le cordon et le flacon est refermé dans les conditions aseptiques requises jusqu'au moment de l'analyse.

Avant l'usage, les flacons doivent être soigneusement lavés, puis rincés à l'eau distillée. Ensuite, les flacons seront stérilisés (**Larpen, 1997**).

Il est nécessaire d'utiliser des flacons propres, secs, étanches, à col large stérilisés par autoclavage à 121°C pendant 30 min ou encore à usage unique et stériles. Identifier immédiatement le produit avec une étiquette ou une référence. Si l'échantillon doit être transporté, il faut réduire au maximum le délai avant l'analyse. Il est souvent nécessaire de réfrigérer le produit au cours de son transport ; certains germes fragiles peuvent néanmoins disparaître au cours de cette réfrigération.

IV.5.1. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale

Les indicateurs de contamination fécale peuvent être évalués plus ou moins ou maturation prématurée, risque de contamination par les matières fécales, qui peuvent Microorganismes pathogènes (**Rodier et al., 2009**).

IV.4.1.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux

(**Rejsek, 2002**)

Les coliformes sont des bacilles à Gram négatif qui sont soit aérobies, soit facultativement anaérobies et ne sont pas forme des spores, manque d'enzymes oxydatives et est capable de se reproduire en présence de sels biliaires Capable de fermenter le lactose et de produire de l'acide et des gaz en 24 à 48 heures Température entre 36° et 37°C (**Carbonelle et al., 1998 ; Camille, 2003**).

Les coliformes fécaux, également connus sous le nom de coliformes thermo-tolérants, sont un groupe de coliformes totaux qui fermentent le lactose à une température de 44°C. Le groupe bactérien le plus souvent associé est *Escherichia coli*, dans une moindre mesure, (**Roux, 2003**).

- **Mode opératoire**

La recherche et le dénombrement des coliformes et l'identification d'E. coli ont été effectués par la méthode du nombre le plus probable (NPP) appelée aussi la colimétrie. Cette méthode est une estimation statistique du nombre de microorganismes supposés être disséminés dans l'eau de manière parfaitement aléatoire (lois de Poisson qui détermine la probabilité d'apparition aléatoire des événements rares) (**Rejsek, 2002**).

Cette technique se fait en deux étapes consécutives :

- **Le test présomptif** : Réservé à la recherche des coliformes ;
- **Le test confirmatif** : Réservé à la recherche des coliformes fécaux et E. coli

(**Lebres, 2002 ; Chaouch, 2007 ; Labres et al., 2008**).

- **Test de présomption**

Réservé à la recherche des coliformes totaux

A partir de l'échantillon d'eau analysé, porter aseptiquement :

→ 3 fois 10 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL (D/C) muni d'une cloche de Durham.

→ 3 fois 1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL (S/C) muni d'une cloche de Durham.

→ 3 fois 0.1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL (S/C) muni d'une cloche de Durham.

-Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches et bien mélanger le milieu, l'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

➤ **Lecture**

Seront considérés comme positif(+); les tubes présentant à la fois:

→Un dégagement du gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche).

→Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

→La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP (**voir le tableau n°10**).

- **Test de confirmation (test de Mac Kenzie)**

Encore appelé test de Mac Kenzie, et réservé à la recherche des coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

- Les tubes de BCPL positifs, après l'agitation prélever de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette pasteur pour faire le repiquage dans un tube contenant le milieu Schubert

muni d'une cloche.

- Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches et bien mélanger le milieu.
- L'incubation se fait à 44°C pendant 24 heures.

➤ **Lecture**

Seront considérés comme positifs(+) les tubes présentant à la fois :

- Un dégagement du gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche).
- Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP.

IV.4.1.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (*Enterococcus*) (Rejsek, 2002)

Les streptocoques fécaux ou streptocoques du groupe « D » de la classification de Lance field, sont considérés, d'une manière globale, comme étant des témoins de pollution fécale (Mouffok, 2001), du fait qu'ils ont tous un habitat fécal (Rodier et al., 2009).

- **Mode opératoire**

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives :

- ✓ Le test présomptif : Réservé à la recherche présomptive des streptocoques ;
- ✓ Le test confirmatif : Réservé à la confirmation réelle des streptocoques fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption (Chaouch, 2007).

a- Test de présomption

- A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement :
 - 3 fois 10 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE (D/C)
 - 3 fois 1ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE (S/C)
 - 3 fois 0.1 ml dans 3 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE (S/C).
- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.
- L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

➤ **Lecture**

Sont considérés comme positifs (+) les tubes présentant un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu pendant cette période est présumé contenir de streptocoque fécal.

*La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP.

b- Test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des streptocoques

fécaux éventuellement présents dans le test de présomption.

- Les tubes de ROTHE positifs, après l'agitation, prélever de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette pasteur donc faire l'objet d'un repiquage dans des tubes contenant le milieu EVA LITSKY

- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

- L'incubation se fait cette fois-ci à 37°C, pendant 24 à 48 heures.

➤ **Lecture**

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

→ Un trouble microbien.

→ Une pastille blanchâtre (un dépôt) au fond des tubes.

*la lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP, le nombre de streptocoques fécaux sont par 100 ml de l'échantillon analysé.

IV.5.1.3. Recherche et dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfite-réductrices (*Clostridium*) (Rerjsek, 2002)

Les *Clostridium* sulfite-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettraient ainsi de déceler une pollution fécale ancienne ou intermittente (**Rodier et al., 2009**).

La recherche et le dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrice sont été réalisés par la méthode par incorporation en gélose en tubes profonds.

-A partir de l'eau à analyser prendre environ 20 ml dans un flacon stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80°C pendant 8 à 10 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes et reste seulement la forme sporulée des bactéries sulfite-réducteurs.

- Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon en question, sous l'eau de robinet (chothermique);

- Répartir ensuite le contenu de ce flacon, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube ;

- Ajouter environ 20 ml de gélose viande foie (voir Annexe 8), fondue puis refroidie à 45±1°C, additionnée 1 ml d'Alun de fer et 4 gouttes de Sulfite de sodium et une couche de paraffine ;

- Mélanger avec précaution et doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air et en évitant l'introduction d'oxygène ;

- Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ ;
- L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

➤ **Lecture**

Incubation à 37°C pendant 24h à 48h, après la période d'incubation sera considéré comme positif, les tubes contenant des grosses colonies noires entourés a des halos noires, qui correspond au clostridium sulfito-réducteur.

→La première lecture doit absolument être faite à 16 heures car très souvent les colonies des ASR sont envahissantes auquel cas on se trouverait en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse sera à refaire en utilisant des dilutions décimales de 10⁻¹ voire 10⁻³.

→La deuxième lecture se fera à 24 heures.

→La troisième et dernière lecture à 48 heures.

Les résultats sont exprimés par le nombre des clostridiiums sulfito-réducteurs par 20 ml de l'échantillon à analyse.

IV.6. Echantillonnage d'eau pour les analyses bactériologiques

Pour déterminer la qualité bactériologique des eaux thermales de la région de Khenchela, nous avons prélevé 6 échantillons des Forages d'eau thermale de Khenchela centre en période Mai 2017. Les analyses bactériologiques ont été effectuées dans un laboratoire de contrôle de Qualité. Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, nous avons utilisé des flacons en verre de 250 ml munis d'un cordon. Au moment du prélèvement, on ouvre le flacon et on l'introduit dans le puits à 30cm de profondeur, en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Ensuite on retire le flacon rempli d'eau. On détache le cordon et le flacon est refermé dans les conditions aseptiques requises jusqu'au moment de l'analyse.

Avant l'usage, les flacons doivent être soigneusement lavés, puis rincés à l'eau distillée. Ensuite, les flacons seront stérilisés (**Larpent, 1997**).

Il est nécessaire d'utiliser des flacons propres, secs, étanches, à col large stérilisés par autoclavage à 121°C pendant 30 min ou encore à usage unique et stériles. Identifier immédiatement le produit avec une étiquette ou une référence. Si l'échantillon doit être transporté, il faut réduire au maximum le délai avant l'analyse. Il est souvent nécessaire de réfrigérer le produit au cours de son transport ; certains germes fragiles peuvent néanmoins disparaître au cours de cette réfrigération.

IV.7. Résultats :

. **Les coliformes totaux et fécaux :** D'après les règlements algériens (**JORA, 2011**), l'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir de coliformes totaux et fécaux dans un échantillon de 100 ml.

Les résultats des analyses de l'eau D'Ain Silèn et Ain Kerma montre l'absence total de toute contamination par les eaux usées, fécales et ménagères, donc confirment une absence totale des coliformes totaux et fécaux ; néanmoins les eaux d'Ain Fringuel est contaminée avec la présence de micro-organismes pathogènes.

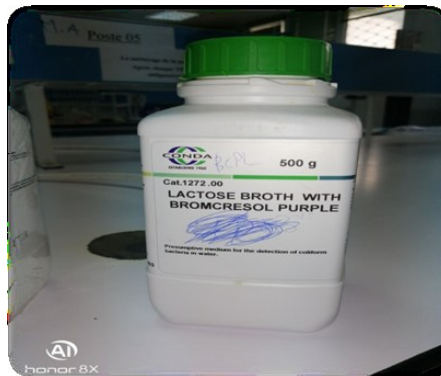


Figure 24 : Représenter le réactif BCPL

Les streptocoques fécaux : La loi nationale (**JORA, 2011**) stipule strictement qu'aucune trace de Streptocoques fécaux ne doit être présente dans un échantillon de 100 ml. Cette exigence est respectée dans nos analyses bactériologiques sur la source dont les eaux sont exemptes de toute contamination fécale d'Ain Silèn dont les eaux sont exemptes de toute contamination fécale, Hormis, les eaux de Ain Fringuel qui sont contaminées par des bactéries de type Streptocoques fécaux.



Figure 25 : Représenter le réactif des streptocoques fécaux

Les clostridiums sulfuto-réducteurs : Ce test permet de détecter la présence de contaminants d'origine fécale sur une période prolongée. Selon les réglementations en Algérie, une eau ne devrait pas contenir de clostridiums sulfito-réducteurs dans un échantillon de 20 ml, car ils sont souvent indicatifs de contamination fécale. La conformité est également mesurée par l'absence de colonies entourées d'une zone sombre, conformément aux normes algériennes. Nous avons observé une absence totale de streptocoques fécaux dans les trois eaux de sources, ce qui confirme également leur qualité conforme aux normes.

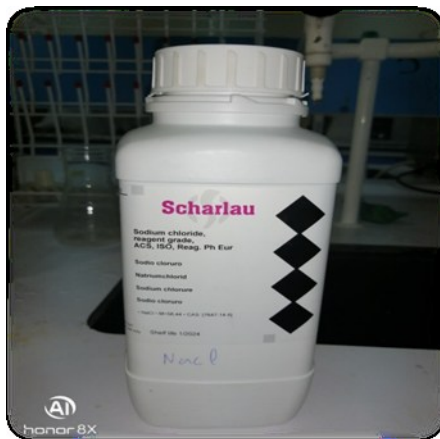


Figure 26 : Représenter le réactif de Les clostridiums sulfuto-réducteurs

E. coli

Les analyses microbiologiques sont fondées sur la recherche d'*Escherichia coli*, ou de celle des coliformes thermo tolérants (bactéries du même genre qu'*E. coli*) et reste encore couramment employée. Les eaux potables ne doivent pas en contenir. C'est un bon indicateur de potabilité aucune bactérie d'*E. Coli* dans 50 ml d'eau (Houha, 2024).

Les normes algériennes en matière de potabilité sont strictes sur les analyses bactériologiques des eaux et exigent qu'aucune bactérie d'*Escherichia Coli* ne devrait pas être présente dans 100 ml d'eau. L'analyse bactériologique des eaux de sources confirment la présence de la bactérie *Escherichia Coli* dans les eaux d'Ain Fringuel alors que les sources d'Ain Silèn et Ain Kerma sont exemptes de bactéries pathogènes et une absence totale d'*Escherichia Coli*.



Figure 27 : Représenter le réactif d'E.coli

▪ **Résultats des analyses bactériologiques**

L'analyse des résultats montre, qu'en général que la qualité globale des eaux thermales de Khenchela est d'une qualité bactériologique bonne, Les résultats des analyses bactériologiques sont portés dans le tableau suivant :

Paramètre	Ain Kerma	Ain Fringuel	Ain Silèn	Norme
Coliformes totaux	Absence NPP<03	Présence NPP= 04	Absence NPP<03	10
Coliformes fécaux	Absence	Présence	absence	absence
Streptocoque fécaux	Présence	Présence	absence	absence
Clostridium	Absence	Absence	absence	absence
E. Coli	Absence	Présence	absence	absence

Tableau 09 : Représenter les résultats des analyses bactériologiques sur trois sources des eaux

Tableau 10 : Représenter la table de Mac Grady

Tables de Mac Grady

2 TUBES PAR DILUTION		3 TUBES PAR DILUTION			
Nombre de tubes positifs au niveau des 3 taux de dilution	NPP	Nombre de tubes positifs au niveau des 3 taux de dilution	NPP	Nombre de tubes positifs au niveau des 3 taux de dilution	NPP
000	0,0	000	0,0	222	3,5
001	0,5	001	0,3	223	4,0
010	0,5	010	0,3	230	3,0
011	0,9	011	0,6	231	3,5
020	0,9	020	0,6	232	4,0
100	0,6	100	0,4	300	2,5
101	1,2	101	0,7	301	4,0
110	1,3	102	1,1	302	6,5
111	2,0	110	0,7	310	4,5
120	2,0	111	1,1	311	7,5
121	3,0	120	1,1	312	11,5
200	2,5	121	1,5	313	16,0
201	5,0	130	1,6	320	9,5
210	6,0	200	0,9	321	15,0
211	13,0	201	1,4	322	20,0
212	20,0	202	2,0	323	30,0
220	25,0	210	1,5	330	25,0
221	70,0	211	2,0	331	45,0
222	110,0	212	3,0	332	110,0
		220	2,0	333	140,0
		221	3,0		

IV .8. Conclusion

Ce chapitre présent d'abord une introduction générale sur l'eau, puis aborde les indicateurs bactériologiques de pollution. Ces indicateurs permettent d'évaluer la qualité des eaux de source destinée à la consommation humaine et de les classer en fonction de leur niveau de contamination.

Conclusion Général

Conclusion générale

L'étude physico-chimique et microbiologique des eaux de deux sources d'eau, Ain Silèn et Ain Fringuel, situées sur les deux versants, nord et sud, du massif de Djebel Aidel, afin de classer et comparer les eaux entre elle et de d'identifier l'origine de l'alimentation des aquifères et les grands traits de similitudes sur la qualité des eaux des deux sources.

La géologie décrit que les deux sources captent les calcaires et marno-calcaires du Crétacé supérieur qui reposent en discordance sur les marno-calcaires du Crétacé inférieur, le substratum est marneux. La climatologie décrit selon l'indice Dé Martonne un climat semi-aride, avec des précipitations et températures moyennes annuelles (1994–2023), respectivement estimé es à 460.68 mm et 16°C. L'évapotranspiration potentielle calculée selon la méthode de Thornthwaite est de 760,98 mm. Le bilan hydrique est déficitaire, la recharge des aquifères est assurée par des pluies épisodiques et les remontées d'eaux par drainance verticale ascendante depuis les aquifères profonds.

L'hydrogéochimie par les mesures de terrain, le prélèvement d'échantillons et les analyses chimiques au laboratoire de biologie de l'université de Khenchela, révèlent que la température, la conductivité électrique, le pH et le faciès chimique des eaux des deux sources sont de même ordre de grandeur et présentent des similitudes.

sources	Température des eaux	Conductivité électrique	pH	Faciès chimique
Ain Silène	16°C	437µS/cm	7.4	Bicarbonatécalkique
Ain Fringuel	16.4°C	465µS/cm	7.7	Bicarbonatécalkique

Il semblerait que les eaux des deux sources sont issues d'un même aquifère malgré situation géographique opposée sur les deux versant et leur éloignement l'une de l'autre.

L'étude microbiologique a révélé que les eaux d'Ain Fringuel sont contaminées et doivent subir un traitement avant utilisation, alors que les eaux d'Ain Silène sont exemptes de toutes contaminations et pourraient être consommées sans restriction aucun faciès chimique.

En conclusion, nous pouvons dire que les eaux des deux sources proviendraient d'un même aquifère, avec des mêmes ordres de grandeur mesurées sur les caractéristiques physique et chimiques, néanmoins les caractéristiques bactériologiques sont différentes et sont marquées par la contamination bactérienne des eaux de la source d'Ain Fringuel.

CONCLUSION GENERALE

Nous proposons à ceux que ces deux sources soient protégées par des captages permanent et d'instaurer des périmètres de protection pour chacune d'elle et notamment pour la source d'Ain fringuel ou le périmètre doit être rapproché et immédiat pour circonscrire et assécher toutes les sources de contamination.



Bibliographie

Liste des références

- **(Pilgrim et al.1988)** : Problèmes de la mise au point de modèles pluie-écoulement dans les régions arides et semi-arides.
- **A.N.R.H. 2002:** Synthèse hydrogéologique et actualisation des données relatives de la plaine Rémila-Khenchela. Mission A: ANRH.
- **ANRH, 2024** : agence national des ressources hydrauliques (direction générale).
- **B. Houha, 2007** : étude de fonctionnement hydrogéologique et salin d'un basin semi-aride Remila-Khenchela. Thèse doctorat, université badji Mokhtar Annaba.
- **Camille D. (2003)**. Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux. Réglementation, prélèvements, analyses. Lavoisier : Tec et Doc. France.
- **Carbonnelle D. et Kouyoumdjian S. (1989)**. Bactériologie médicale techniques usuelles. Méd. Mal. Inf.
- **CGG, 1970** : (Compagnie Générale de Géophysique). Prospection géophysique sur le plateau de Charia, Service des Études scientifiques.
- **Chaouch R ; (2007)**. Identification et quantification des déchets solides encombrant les plages d'Annaba: aspect physico-chimique et bactériologique des eaux. Mémoire de Magister. Université Badji-Mokhtar Annaba.
- **Cosandey. 2003** : Les eaux courantes. Géographie et environnement. Paris, Belin. (ISBN 2-7011-3315-7).
- **D.E.W., 2009** : Problèmes de qualité dans l'enseignement supérieur. Journal pour la qualité et la participation.
- **DSP- Khenchela 2020.**
- **Gaussen H.et Bagnouls F., (1952)**. L'indice xérothermique. Bull, de l'Assoc. DeGéographes français, Paris.
- **Houha, 1996** : Qualité des eaux de Khenchela, étude hydro-chimique, mémoire de magistère, Univ. D'Annaba.
- **Houha.B.2024**. Analyses des Pollutions Master1 EFA (cour)
- **J. M. Vila, 1977** : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro Tunisiens. Thèse de doctorat Ès Sciences Naturelles, Uni. De Paris.
- **J.M. Villa 1973** : Notices explicatives de la carte géologique au 1/50000), Gareat El Tarf(175), service de la carte géologique de l'Algérie, SONATRACH.
- **JORA, 2011**. Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Imprimerie Officielle. Les Vergers: Bir-Mourad Raïs. Alger. Algérie

BIBLIOGRAPHIE

- **LABRES & MOUFFOK F. 2008.** Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Manuel des travaux pratique des eaux. Institut Pasteur d'Algérie.
- **LARPENT J.P., et LARPENT., GOURGAUD M., 1997.** Mémento technique de microbiologie. 3ème édit. Paris.
- **Lebres E. (2002).** Cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments « Microbiologie des eaux, des boissons et des produits de la mer ». Institut Pasteur d'Algérie.
- **Mouffok F.2001.** Guide technique d'analyses bactériologiques des eaux de mer. Institut Pasteur d'Alger
- **R O D I E R J, 2005.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Résiduaires. Eau de mer. 8 ème édition. DUNOD. Paris,
- **R. Guiraud, 1973 :** évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse doctorat, Université Nice.
- **R. Laffitte, 1939 :** Étude géologique de l'Aurès. Thèse de doctorat en Sciences naturelles: Faculté des sciences de l'université de Paris,
- **Rejsek F, 2002.** Analyse des eaux aspects réglementaire et technique, Biologie technique. Ed CRDP, Aquitaine. France.
- **Rodier, Legube, et Merlet. 2009.** Analyse de l'eau ; Eaux. Ed. DUNOD BORDAS, Paris, 9ème édition.
- **Roux, 2003.** TP de microbiologie : Analyses de l'eau. NOVELLO Célia. IUP SIAL, Université Paris
- **SAYAD L, 2008.** Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'écosystème lacustre le lac des Oiseaux (Wilaya EL Tarf). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba.
- **Site web :** Historique-Météo.net
- **United States Salinity Laboratory Staff.**