

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الارض و الكون

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique
en Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière: Géologie

Option : Hydrogéologie

Thème

*Contribution à l'étude quantitative et qualitative des eaux
des sources de la région de Sabaâ Ayoune, commune
d'Ain Sandel, wilaya de Guelma, Nord- Est algérien*

Membres de Jury

Président: Drouiche Abd El Malek
Examineur : Mahdid Souhil
Encadrant : Djorfi Samir

Présenté par

Boussouf Sara
Bensouilah Wissam

Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque)

شكر وعرقان

إننا لبشر نستمد قوتنا وطاقتنا من المولى عز وجل شأنه، شكر لكل يا الله على ما منحتنا من طاقة وقوة أكملنا بها هذه
المذكرة، ها نحن اليوم قد وصلنا لآخر الصفحات فيها، وصلنا لآخر المشوار الدراسي، المشوار الذي دام 17 سنة من
طلب علم، سهر، تعب، ومثابرة وصلنا إلى العتبة الفاصلة بين الحياة الدراسية والمهنية ليكون عملنا هذا هو
الفاصل، والذي نطلب من مولانا عز وجل أن يكلل بالنجاح.. كل عبارات الشكر والإمتنان نقدّمها إلى أفراد عائلتنا
على وعلمهم المعنوي والمادي لنا طيلة السنوات الماضية.. شكر لكل الأصدقاء والزملاء الذين قاسمنا وإياهم ساعات
الدراسة متمنين للجميع النجاح والتوفيق.. شكر الأستاذنا القدير والمشرف على عملنا الاستاذ جني سمير الذي لولاه لما
أتممنا هذه المذكرة فقد كان خير الداعمين واحسن المؤيدين.. شكر للأساتذة المناقشين والذين واقفوا على الوقوف
لمتابعة وتقدير عملنا.. شكر لكل الجيولوجيين بجامعة جيجل عامة واساتذة وطبة الهيدروجيولوجيا خاصة، في الختام
نتمنى ان يكون عملنا هذا مقبولا وأن يكون هو البصمة التي سيزكرنا بها قسم الهيدروجيولوجيا في الاعوام القادمة
وسلام الله عليكم جميعا .

إهداء

أهدي هذا العمل لى عائلتي الأولى لى لى الغالية وأبى العزيز رعاهما الله و حفظهما ولى إخوتي ذكورا وإناثا " هلال، نجيب مونية، فتاح، حسام، رميسة، رفيق، هبة الله "لم أكن قد وصلت لى هنا لولاكم وشكركم من كل قلبي ، أتمنى أن تكون سعادتكم فوق سعادتى بهذا النجاح.

كما أهديه أيضا لى عائلتي الثانية "بشرى فريال، وفاء، كوثر، زينب وارين، ونياب، امينة ، ميسون، ونيامي" الأسماء كثيرة والقائمة ربما لا تزال طويلة، حين يتعلق الأمر بالصدقة تختلط وموع الفرح مع وموع الحزن ، فى غمضة عين أتمنى المشوار وها أنا اليوم أودعك وأفارقك بعد خمسة سنوات من الصداقة والأخوة ، عشت وإياك أن أجمد لحظات حياتى كتب الله أن أكون أول خريجة من بينكن وأول من ستفارقكن ، سيكون رقى إيامى هو يوم الوداع ، ماذا عسانى أفعل هى سنة الحياة، لقاء وفراق، أتمنى لكن حياة هنيئة .. مليئة بالأفراح والنجاحات من القلب شكرًا لكن ، شكرًا على كل اللحظات التى جمعتنا .. كما أهديه أيضا لصدىقتى وزميلتى فى هذه المذكرة "وسام" التى سهرت رفقى وتعبت معى حتى النهاية .. ، أهديه لكل زملاء وصدقائى لجامعة كل باسمه ومقامه .. كل رفقاء السكن بإقامتى لجامعة

.. لى كل الداعمين لى من قريب أو من بعيد

لى كل طلبة قسم الهيدرولوجيا.

سارة

Dédicaces

*Je dédie ce Mémoire,
cet humble travail à Dieu Tout-Puissant, qui m'a donné la
force, la volonté et la patience pour surmonter toutes les
difficultés et atteindre mon objectif.*

*À la plus belle maman et au plus beau papa du monde, les mots
ne suffisent pas pour vous exprimer à la fois votre peine et votre
soutien financier et moral, je vous dois ma réussite.*

À mon cher frères

*À mes frères et ma sœur : Hamza, Islam, Chaima, Abd al
Moumen, Ayoub : Merci d'être dans ma vie*

*À ma chère collègue Sara, sans la coopération entre nous et notre
relation mutuelle, nous n'aurions pas atteint notre objectif.*

*À mes amais : Widad, Houda, Fatima, Yousra, merci, mais
pour chaque instant qui m'a réuni avec toi*

*À tous les amis et collègues universitaires qui m'ont soutenu
moralement, merci d'être passé*

*Enfin, je dédie mon travail à tous les étudiants en hydrogéologie
de l'Université de Jijel*

Wissam

Résumé

La région de Sabaâ Ayoune, située au Nord-est algérien possède, actuellement, des ressources hydriques relativement limitées, à savoir les eaux souterraines de la nappe Mio-Plio-Quaternaire ainsi que la nappe des calcaires Eocènes. Ces dernières années, des changements climatiques remarquables ainsi qu'un essor économique, particulièrement agricole, ont eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.

Le traitement de ce thème de recherche a été guidé par le souci d'établir un équilibre entre les besoins en eau et les modalités d'exploitation des ressources hydriques disponibles et de mieux comprendre les mécanismes de fonctionnement de ce système aquifère suivant les apports climatiques et la nature géomorphologique depuis ses conditions aux limites jusqu'à ses caractéristiques hydrogéologiques et physico-chimiques, ainsi que les questions d'ordre environnemental.

Suite à un ensemble de données caractérisant ce système aquifère et son environnement, un programme d'action a été conçu pour mener un suivi des variations, en fonction de la lithologie, des conditions topographiques, des facteurs climatiques ainsi que de l'intervention anthropique. Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres hydrogéologiques et physicochimiques au cours d'une campagne de mesure et de prélèvements.

Le processus de traitement et de représentation des données a fait appel à des outils modernes tels que l'hydrogéochimie, l'analyse statistique (Diagramme) et le système d'information géographique (SIG). Il ressort de l'interprétation de ces données ce qui suit :

Le système aquifère de la région de Sabaâ Ayoune est constitué par la superposition et la juxtaposition de deux nappes aquifères, La nappe superficielle incluse dans les alluvions sableuses, gréseuses et conglomératiques, avec des passages argileux, est alimentée principalement à partir des eaux météoriques ; la carte piézométrique montre que l'écoulement des eaux souterraines suit parfaitement la topographie du versant. La nappe karstique, incluse dans les formations calcaires Eocènes fissurées, montre la présence des capacités hydriques importantes, ses principales sources d'alimentation sont les formations carbonatées.

La qualité chimique de l'eau est admissible à médiocre, résultant de la lithologie de la nappe et les facteurs climatiques (les précipitations et les températures d'un climat semi-aride). On note la présence de quelques polluants, tirant leurs origines des activités agricoles et des installations urbaines, favorisés par leur situation en amont des sources.

Mots clés : semi-aride, versant, karstique, alluvions, émergence, Paramètres physico- chimiques.

Abstract

The region of Sabaâ Ayoune, located in northeastern Algeria, currently has relatively limited water resources, namely the groundwater of the Mio-Plio-Quaternary aquifer as well as the Eocene limestone aquifer. In recent years, remarkable climatic changes as well as an economic boom, particularly agricultural, have taken place, which has led, on the one hand, to an increase in water needs and deterioration in water quality.

The treatment of this research theme was guided by the concern to establish a balance between water needs and the methods of exploitation of available water resources and to better understand the mechanisms of operation of this aquifer system according to climatic and the geomorphological nature from its boundary conditions to its hydrogeological and physico-chemical characteristics, as well as environmental issues.

Following a set of data characterizing this aquifer system and its environment, an action program was designed to monitor the variations, depending on the lithology, topographic conditions, climatic factors as well as anthropic intervention. We were thus able to study the evolution of hydrogeological and physicochemical parameters during a measurement and sampling campaign.

The data processing and representation process used modern tools such as hydrogeochemistry, statistical analysis (Diagram) and geographic information system (GIS). From the interpretation of these data, the following emerges:

The aquifer system of the Sabaâ Ayoune region is made up of the superposition and juxtaposition of two aquifers, The superficial aquifer included in the sandy, sandstone and conglomerate alluvium, with clay passages, is fed mainly from meteoric water; the piezometric map shows that the groundwater flow perfectly follows the topography of the slope. The karstic aquifer, included in the fissured Eocene limestone formations, shows the presence of significant water capacities, its main sources of supply being the carbonate formations.

The chemical quality of the water qualifies as poor, resulting from groundwater lithology and climatic factors (precipitation and temperatures of a semi-arid climate). We note the presence of some pollutants, originating from agricultural activities and urban installations, favored by their location upstream of the sources.

Key words: semi-arid, slope, karstic, alluvium, emergence, physico-chemical parameters.

ملخص

منطقة سبع عيون ، الواقعة في شمال شرق الجزائر ، لديها حاليًا موارد مائية محدودة نسبيًا ، وهي المياه الجوفية لطبقة المياه الجوفية المنتمة للعصر الميوساني البليوساني والرابع بالإضافة إلى طبقة المياه الجوفية في العصر الأيوسيني.

في السنوات الأخيرة ، حدثت تغيرات مناخية ملحوظة بالإضافة إلى طفرة اقتصادية ، خاصة الزراعة ، مما أدى ، من ناحية ، إلى زيادة الاحتياجات المائية وتسبب ، من ناحية أخرى ، في تدهور جودة المياه . استرشدت معالجة موضوع البحث هذا بالحرص على إقامة توازن بين الاحتياجات المائية وطرق استغلال الموارد المائية المتاحة وفهم أفضل لآليات تشغيل نظام الخزان الجوفي هذا وفقًا للمدخلات المناخية والطبيعة الجيومورفولوجية انطلاقًا من الحدود حتى الظروف الهيدروجيولوجية والفيزيائية الكيميائية ، فضلًا عن القضايا البيئية.

بعد مجموعة من البيانات التي تميز نظام الخزان الجوفي وبيئته ، تم تصميم برنامج عمل لرصد الاختلافات ، اعتمادًا على الصخر والظروف الطبوغرافية والعوامل المناخية بالإضافة إلى التدخل البشري. وهكذا تمكنا من دراسة تطور المعلمات الهيدروجيولوجية والفيزيائية الكيميائية خلال حملة للقياس وأخذ العينات.

استخدمت عملية معالجة البيانات وتمثيلها أدوات حديثة مثل الهيدروجيوكيمياء والتحليل الإحصائي (الرسم التخطيطي) ونظام المعلومات الجغرافية (GIS). من تفسير هذه البيانات يظهر ما يلي:

يتكون نظام الخزان الجوفي لمنطقة سبع عيون من تراكب وتجاور اثنين من طبقات المياه الجوفية ، ويتغذى الخزان الجوفي السطحي المتضمن في الطمي الرملي والحجر الرملي والاندماحي ، مع الممرات الطينية ، بشكل أساسي من المياه المناخية ؛ توضح الخريطة البييزومترية أن تدفق المياه الجوفية يتبع تمامًا تضاريس المنحدر.

تظهر طبقة المياه الجوفية الكارستية ، المتضمنة في تكوينات الحجر الجيري في الإيوسين المتشقق ، وجود قدرات مائية كبيرة ، ومصادر إمدادها الرئيسية هي تكوينات الكربونات.

تعتبر الجودة الكيميائية للمياه رديئة ، ناتجة عن صخور المياه الجوفية والعوامل المناخية (هطول الأمطار ودرجات الحرارة في مناخ شبه جاف). نلاحظ وجود بعض الملوثات الناتجة عن الأنشطة الزراعية والمنشآت الحضرية ، المفعله موقعها في منبع المصادر.

الكلمات المفتاحية: شبه جاف ، منحدر ، كارستيكي ، طمي ، انبجاس ، خصائص فيزيائية - كيميائية.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

*CHAPITRE I:**RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE*

I.1. Généralité.....	3
I.2. Définitions, origine et classification des sources	3
I.2.1. Définitions	3
I.2.2. Classification des sources :	4

*CHAPITRE II:**CADRE PHYSIQUE*

II.1. Introduction :	6
II.2. Situation géographique de la zone d'étude :	6
II.3. Reliefs et réseau hydrographique :	7
Le réseau hydrographique :	8
II.4. Le climat.....	9
II.5. Le couvert végétal.....	10
II.6. L'aspect socioéconomique :.....	11
II.7. Conclusion :	12

*CHAPITRE III :**CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE*

III.1. Introduction	13
III.2. Géologie régionale	13
III.2.1 Les grands domaines géologiques de l'Algérie du nord	14
III.2.1.1. Le domaine interne	14
III.2.1.2. Le domaine des flysch Crétacés-Paléogènes.....	15
III.2.1.3. Le domaine tellien	15
III.2.1.3.1. La série ultra tellienne	15
III.2.1.3.2. Les séries Telliennes sensu stricto	16
III.2.1.3.3. Les série pénitelliennes et leur couverture Eocène à Nummulites	16
III.3. Géologie locale.....	18
III.3.1. Les formations triasiques	18
III.3.2. Formations para-autochtone et autochtone	18

III.3.3. Ensemble Allochtone écaillé à faciès de type Sellaoua	18
III.3.4. Les formations des Nappes Tellienne	20
III.3.5. Le flysch numidien	20
III.3.6. Dépôts Quaternaires	20
III.4. La tectonique	22
III.5. Conclusion :	23

CHAPITRE IV :

CARACTERISTIQUES HYDROCLIMATOLOGIQUES

IV.1. Introduction.....	24
IV.2. Paramètres climatiques.....	24
IV.2.1 Les précipitations	24
IV.2.1.1. Précipitations moyennes mensuelle.....	25
IV.2.1.2. Précipitations moyennes saisonnières.....	25
IV.2.2. Les températures	26
IV.2.2.1. Température moyennes mensuelles	27
IV.2.3 Régime climatique	28
III.2.3.1 Diagramme pluviothermique(Ombrothermique)	28
IIV.2.3.2. Indice d'aridité annuel d'E. De Martonne	29
IV.2.4. Le bilan hydrique	30
IV.2.4.1. Estimation de l'évapotranspiration.....	30
IV.2.4.2. La méthode de l'eau de C. W .Thornthwaite	32
IV.2.5. Estimation du ruissellement	34
IV.2.6. Estimation de l'infiltration	35
IV.3. Conclusion	36

CHAPITRE V :

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

V.1. Introduction	37
V.2. Ressources hydriques	37
V.2.1. Les eaux de surface	37
V.2.2. Les eaux souterraines.....	38
V.3. Inventaire des différentes sources.....	38
V.4. Aspect hydrogéologique	40
V.4.1. Aquifère à nappe libre	40
V.4.2. Aquifère à nappe karstique dans les formations des calcaires Eocènes.....	41
V.5. Alimentation des nappes.....	41

V.6. Le contexte hydrogéologique des importantes sources	41
V.6.1 Conditions hydrogéologiques des différentes émergences	42
V.9. Conclusion.....	42

CHAPITRE VI :

LES CARACTERISTIQUES HYDRO CHIMIQUES

VI.1. Introduction	44
VI.2. Mode de travail	44
VI.3. Matériel et méthodes	45
VI.3.1. Echantillonnage et points de prélèvement	45
VI.3.2 Mode d'échantillonnage	45
VI.3.2.1. Paramètres physiques	46
VI.3.2.2. Paramètres chimiques et leurs origines (Mesure au laboratoire).....	48
VI.3.2.2.1. Les Anions	48
VI.3.2.2.2. Les cations.....	51
VI.3.2.2.3. Les éléments indicateurs de la pollution urbaine	55
VI.3.2.2.3. Les formules ioniques et faciès chimique	57
VI.3.2.2.4. Représentation graphique des analyses chimiques	57
VI.3.2.2.5. Qualité des eaux et Normes de potabilité	59
VI.3.2.2.6. <i>Aptitude des eaux de sources à l'irrigation</i>	63
VI.9. Conclusion	68
Conclusion générale et recommandations	69
Références bibliographiques	72
Annexes	I

LISTE DES FIGURES

Fig.II.1. Situation géographique et administratif de la commune d'Ain Sandel	7
Fig.II. 2. Géomorphologie de la région de Guelma	8
Fig.II.3. Réseau hydrographique de la willaya de Guelma.....	9
Fig.II.4. Photo du couvert végétal de la zoned'étude.....	11
Fig. III .1. Carte géologique de la région de Guelma	17
Fig.III.2. Colonnes stratigraphique et synthèse de la chaine calcaire (d'après.JF. Raouf,1974)	17
Fig.III.3. Schéma structural du bassin d'Ain Sandel (Vila, 1980, modifiée).....	21
Fig.IV.1. Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Sandel (1984-2021).	25
Fig.IV.2.Précipitations moyennes saisonnières en %	26
Fig.IV.3. Evolution des températures moyennes mensuelles	27
Fig.IV.4. Diagramme Ombrothermique	28
Fig.IV.5. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite.	34
Fig. V.1.Carte d'inventaire des sources dans la région Sabaâ Ayoune	40
Fig.VI.1. Organigramme représentant le plan de travail	45
Fig .VI.2. Carte d'iso conductivité électrique des eaux de sources de la région de Sabaâ.....	47
Fig .VI. 3. Carte d'égale teneur en Chlorure des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune	49
Fig. VI.4. Carte d'égale teneur en Sulfates des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune	50
Fig.VI.5. Carte d'iso-teneurs en Bicarbonates des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune	51
Fig.VI.6. Carte d'égale teneur en Calcium des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022).....	52
Fig.VI. 7. Carte d'iso-teneur en Magnésium des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022).....	53
Fig .VI.8. Carte d'iso-teneur es Sodium des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022).	54
Fig.VI.9. Carte d'iso-teneur en Potassium des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022).....	55
Fig. VI.10. Cycle de l'azote.....	56

Fig. VI.11. Représentation graphique des facies chimiques des eaux de sources de la région de Sabaâ Ayoune sur le diagramme de PIPER (Avril 2022)58

Fig.VI.12. Représentation graphique des facies chimiques des eaux de sources de la région de Sabaa Ayoune sur le diagramme Schoeller-Berkaloff (Avril 2022)59

Fig.VI.13. Diagramme de Wilcox des eaux de sources dans la région de Sabaâ Ayoune.....66

Fig.VI.14. Diagramme de Richards des eaux de source dans la région de Sabaâ Ayoune67

LISTE DES TABLEAUX

Tab.IV. 1 : Coordonnées de la station météorologique et période d'observation	24
Tab .IV.2. Précipitations moyennes mensuelles	25
Tab.IV. 03. Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Sandel (1984-2021).....	26
Tab .IV.4. Températures moyennes mensuelles	27
Tab .IV.5. Coefficient Ombrothermique de la station d'Ain Sandel.....	29
Tab.IV.6. ETR selon Turc à la station d'Ain Sandel (1984-2021).....	31
Tab. IV.7. Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Ain Sandel (1984-2021).	32
Tab. IV.8. Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff.	35
Tab. IV.9. Estimation de l'Infiltration en (mm).	35
Tab.V.1. Inventaire des différentes sources de la région de Sabaâ Ayoune avec dénomination et coordonnées	39
Tab. V.2. Inventaire des principales sources de la région Sabaâ Ayoune.	41
Tab.VI.1. Conductivité électrique des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune.....	46
Tab.VI.2. Températures (°c) de quelques sources dans la commune d'Ain Sandel (Avril 2022)	47
Tab VI. 3. PH des eaux de sources de la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022)	48
Tab.VI. 4. Formule ionique, Faciès chimique et Balance ionique	57
Tab. VI.5. Faciès chimiques des eaux selon le diagramme de schoeller-berkaloff.....	59
Tab.VI.6. Classification des eaux et norme pour les calciums.....	60
Tab .VI.7.Classification des eaux et norme pour les magnésiums	60
Tab. VI.8. Classification des eaux et norme pour les chlorures	61
Tab VI .9. Classification des eaux et norme pour les bicarbonates.....	61
Tab. VI.10. Classification des eaux et normes de l'OMS pour les conductivités électriques ...	61
Tab. VI. 11. Classification des eaux et norme pour pH.....	62
Tab .VI.12. la quantité de TH(f°).....	63
Tab. VI.13. Classification des eaux de sources d'Ain Sandel selon la dureté (TH en °F)	63
Tab.VI.14: Pourcentage de sodium (Na%).....	64
Tab.VI.15. Classification de Wilcox	65

LISTE DES ABREVIATIONS

DHW	Direction Hydraulique de la wilaya
OMS	L'organisation Mondiale de la Santé
%	Pourcentage
°	Degré
°C	Degré Celsius
m	Mètre
mm	Millimètre
dl/s	décilitre par seconde
P	Précipitation
T	Température
ETPc	Evapotranspiration Potentielle calculée
ETR	Evapotranspiration Réelle
BH	Bilan Hydrique
RFU	Réserve Facilement Utilisable
DA	Déficit Agricole
I	Infiltration
R	Ruissellement
DMS	degré, minute, seconde
AEP	Alimentation en eau potable
ANDI	Agence nationale de développement de l'invertissent

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Essentielle au développement de la vie, la présence de l'eau a toujours été une condition fondamentale à l'implantation des communautés humaines. Pour s'approvisionner en eau douce, substance vitale pour l'homme et la société (boisson, agriculture, industrie, loisirs...), l'être humain puise dans de multiples sources (nappes souterraines, sources, rivières, lacs, etc.),

Elle existe sous différentes formes, pour répondre à nos besoins biologiques, domestiques et agricoles. Elle est sans doute la ressource qui définit les limites du développement durable et elle n'a pas de substrat (Maurel, 2006).

L'importance de l'eau dans l'économie humaine ne cesse de croître et l'approvisionnement devient ainsi de plus en plus difficile, tant en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie que du développement accéléré des techniques industrielles modernes. Sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne on est passé de l'emploi des eaux de sources et des nappes à une civilisation de plus en plus poussée des eaux de surface (Habla, 2008).

Le développement économique s'accompagne aujourd'hui d'une augmentation de la consommation d'eau douce qui suscite l'apparition de problèmes liés à la disponibilité ou la qualité de la ressource.

La qualité physico-chimique et microbiologique des eaux est dégradée du fait que l'eau est un récepteur principal de ces polluants reçus essentiellement et exclusivement des activités humaines (industrie, agriculture, élevage, les rejets domestiques...etc.).

En Algérie, la demande en eau connaît un accroissement important pour répondre à une demande cumulée de trois secteurs souvent concurrentiels (la ville, l'industrie et le périmètre d'irrigation). En plus à cause de la rareté de l'eau, la sécheresse, la mobilisation des eaux superficielles par la construction de barrages et de retenues collinaires devient alors indispensable (Habla, 2008).

En l'absence des possibilités d'exploitation des eaux de surface, la valorisation et la protection des eaux souterraines demeurent très indispensables.

La région de Sabaâ Ayounne qui fait partie de la commune d'Ain Sandel, Willaya de Guelma, est caractérisée par l'émergence d'un ensemble de sources exploitées localement et trop sollicitée par les habitants surtout les passagers. Le choix de ce thème de recherche a été guidé par l'importance hydrogéologique et socioéconomique de ces sources ainsi que leur captage aléatoire, qui peut être à l'origine d'une perte flagrante de quantité et de qualité, dont le thème est **«Contribution à l'étude quantitative et qualitative des eaux des sources de la région de**

Sabaâ Ayoune, commune d'Ain Sandel, willaya de Guelma, Nord- Est algérien ». La caractérisation hydrogéologique et hydrochimique, la valorisation quantitative et la mise au point d'une contamination probable des eaux de ces sources pour une meilleur protection, étaient parmi les principaux objectifs de ce travail.

Dans le cadre de notre mémoire, on tente de mettre en point cette qualité et établir un périmètre afin de protéger les eaux de source de la pollution anthropique.

Pour mieux comprendre l'évolution de l'écoulement des sources, sa relation avec les précipitations et surtout son degré de pollution, il est préconisé de traiter le travail en le subdivisant en six chapitres:

Le premier chapitre consiste à une recherche bibliographique, à travers laquelle, on a essayée de donner les différentes définitions des sources ainsi que leurs classifications.

Le deuxième chapitre porte sur l'étude des caractères physiques externes et internes de notre

Zone d'étude, servant d'introduction à notre étude et qui se résume dans ces conditions géographiques, morphométriques et Socio-économiques.

Le troisième chapitre présente le cadre géologique, d'une importance capitale dans la présente étude, qui met en évidence les différentes émergences dans leur cadre géo-structural ainsi que l'influence de la lithologie sur la nature chimique des eaux.

Le quatrième chapitre consiste à une interprétation climatique, consacrée à l'étude fréquentielle des bilans hydriques annuels, qui définit le comportement hydrogéologique des sources par rapport aux contraintes climatiques.

Le cinquième chapitre est une étude hydrogéologique, où on va essayer de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques des sources ainsi que la relation pluie/débit en se basant sur des données hydro pluviométriques permettant de mettre en évidence les principaux aspects de l'écoulement, et les quantifications des ressources en eaux.

A travers *le sixième chapitre*, on termine notre travail par une étude bien détaillée sur la qualité des eaux des sources afin de bien avoir un aperçu sur la vulnérabilité des sources à la pollution anthropique et naturelle en présence d'une activité agricole remarquable et loin de l'activité industrielle , pour la détermination d'un périmètre de protection pour ces eaux souterraines.

CHAPITRE I:

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralité

Notre thème de recherche se concentre sur l'étude des eaux de sources à cause de la rareté des ressources superficielles dans la région de Sabaâ Ayouné ,et pour mieux cerner cette problématique, il est intuitif de passer en revue certains concepts relatifs aux sources en général.

I.2. Définitions, origine et classification des sources

I.2.1. Définitions

On désigne par source :

- Tout déversement d'eau à un débit suffisamment capable de provoquer un ruissellement en surface.
- L'apparition, à la surface du sol, de l'eau d'une nappe aquifère souterraine; suivant la disposition des couches perméables et imperméables, la source a des propriétés plus ou moins favorables pour une alimentation salubre et régulière.
- L'endroit où une eau sort naturellement de terre ou, par métonymie, c'est l'eau qui jaillit de cet endroit.
- Une source se trouve généralement à l'origine d'un cours d'eau, mais des sources peuvent alimenter des mares, des lacs ou s'écouler directement en mer. Leur eau peut aussi disparaître rapidement dans le sol.
- Une source résulte de la conjonction de facteurs topographiques et hydrogéologiques.
- Les résurgences peuvent alors former des dépressions tout au long des contacts lithologiques où un roc perméable recouvre un roc de plus faible perméabilité, où il y a des joints, des fractures ou des failles, ou dans des régions de calcaire (Fetter, 2001). La résurgence de grande quantité d'eau souterraine requière la combinaison de plusieurs éléments comme une aire de recharge importante et un taux de recharge élevé (Brian, 1919; Manga, 2001).
- L'eau de source est la manifestation la plus évidente, intéressante et visuelle de la présence de l'eau souterraine. Elle a longtemps été reconnue pour avoir des valeurs médicales ou thérapeutiques (Manga, 2001). Dans l'esprit des populations, elle est aussi associée à une pureté exceptionnelle; malheureusement, cette pensée n'est pas toujours fondée. Tout au long de l'histoire, les sources d'eau ont eu un attrait spécial et important. Elles fournissent non seulement un apport d'eau potable, récréative, mais elles sont aussi un moyen d'évaluer la qualité et l'origine de l'eau souterraine.

I.2.2. Classification des sources :

Les sources d'eau souterraine sont habituellement divisées en deux groupes principaux basés selon la nature de leur écoulement par rapport à l'aquifère duquel elles sont issues (Kresic, 2010). On distingue les sources à écoulement gravitaire et les sources profondes dites artésiennes.

- **Les sources à écoulement gravitaire** coulent sous les conditions non confinées où la surface du terrain intercepte le niveau hydrostatique de l'eau. Elles sont également appelées sources descendantes.
- **Les sources artésiennes** sont sous pression due aux conditions de confinement. Elles sont aussi appelées sources ascendantes (Kresic, 2010). La structure géologique et la géomorphologie jouent un rôle important dans le type de source (Brian, 1919; Kresic, 2010).

Il existe différentes approches permettant de classer les sources :

- La continuité ou non de l'écoulement et le régime de variation du débit :
 - Source temporaire (saisonnière),
 - source intermittente ;
- La localisation :
 - Source de coteau,
 - Source littorale,
 - Source submergée (sous-fluviale, sous-lacustre, sous-marine) ;
- La géologie et pour être plus précis l'hydrogéologie qui cherche à expliquer l'origine et le fonctionnement de la source :
 - Source de déversement, de débordement ou de trop plein (correspondant aux types de nappes souterraines libres de mêmes dénominations) ; source d'émergence ou de dépression (source d'aquifère à nappe libre non liée à l'affleurement du substratum) ;
 - source d'étranglement ;
 - Source diaclasienne, source karstique, exsurgence (issues d'un aquifère discontinu) ; source vaclusienne (exutoire d'un conduit karstique ascendant subvertical) ;
 - la résurgence désigne le retour en surface dans un massif calcaire, karstique, d'une rivière souterraine provenant d'un (ou de plusieurs) cours d'eau de surface distant(s) ou, plus rarement, l'exsurgence pour désigner une émergence des seules infiltrations d'eaux de pluie.
- Le thermalisme qui classe les sources selon leur température et l'usage qui peut en être tiré : source chaude, thermale ; source hypotherme, orthotherme, hypertherme.

- L'hydrochimie qui permet de classer les sources selon leurs caractéristiques chimiques : source salée, séléniteuse, ferrugineuse, sulfureuse, minérale, incrustante ou pétrifiante.

D'autres classifications des sources ont été proposées dans la littérature, les caractéristiques les plus couramment utilisées sont: le débit et sa régularité,

Les trois principaux paramètres qui déterminent le débit d'une source sont la perméabilité et l'aire d'alimentation de l'aquifère et la quantité d'alimentation (pluies). La plus part des sources montrent des fluctuations mesurables du débit dues aux fluctuations saisonnières des précipitations. Selon la classification de Meinzer (1923), d'autres sources, constituant l'exutoire d'aquifères de grande capacité d'emménagement, peuvent avoir une variation légère du débit. Pour une période donnée, cette variabilité peut être appréciée par divers critères : intervalle de variation, rapport des extrêmes, écart absolu moyen et coefficient de variation. Les fluctuations journalières du débit des petites sources sont le plus souvent associées à l'utilisation de l'eau par le couvert végétal. Ces sources déversent rigoureusement entre minuit et le lever du soleil, mais elles peuvent se tarir durant la journée.

CHAPITRE II:

CADRE PHYSIQUE

II.1. Introduction :

La situation géographique, topographie, le couvert végétal ... etc. sont des éléments de base dans l'étude physique d'une région, qui doivent être abordés afin de nous aider dans une étude hydrogéologique complète, car ces caractéristiques ont un rôle majeur dans le développement social et économique, et nous avons collecté des informations. À propos du cadre physique de notre étude de la région d'Ain Sandel.

II.2. Situation géographique de la zone d'étude :

La commune d'Ain Sandel dont l'agglomération de Sabaâ Ayoune , se situe au Nord - Est algérien, entre les longitudes : $7,45^{\circ}$ et $7,60^{\circ}$ Est et les latitudes : $36,22^{\circ}$ et $36,28^{\circ}$ Nord, appartenant à la willaya de Guelma, et occupant la partie Sud-Est de cette dernière à une distance de 25 km du chef – lieu de la willaya de son appartenance. Faisant partie des hautes plaines constantinoises, le territoire communal s'allonge suivant une direction Sud- Ouest Nord-Est, entre les monts de Bouhachana au Nord -Ouest et les monts de Djebel Tiffech, et le massif de Ras el Alia à l'Est, la série de la Chebka des Sellaoua au Sud ,avec les limites administratives suivantes. (fig.II.1)

- La commune de Bouhachana au Nord.
- La daïra de Sedrata (wilaya de Souk Aras) au Sud.
- La commune de Hammam N'bail à l'Est.
- La commune d'Ain Larbi (daïra d'Ain Makhoulf, wilaya de Guelma) à l'Ouest.

Cette commune montagneuse se caractérise par la diversité du terrain et la densité de la couverture végétale.

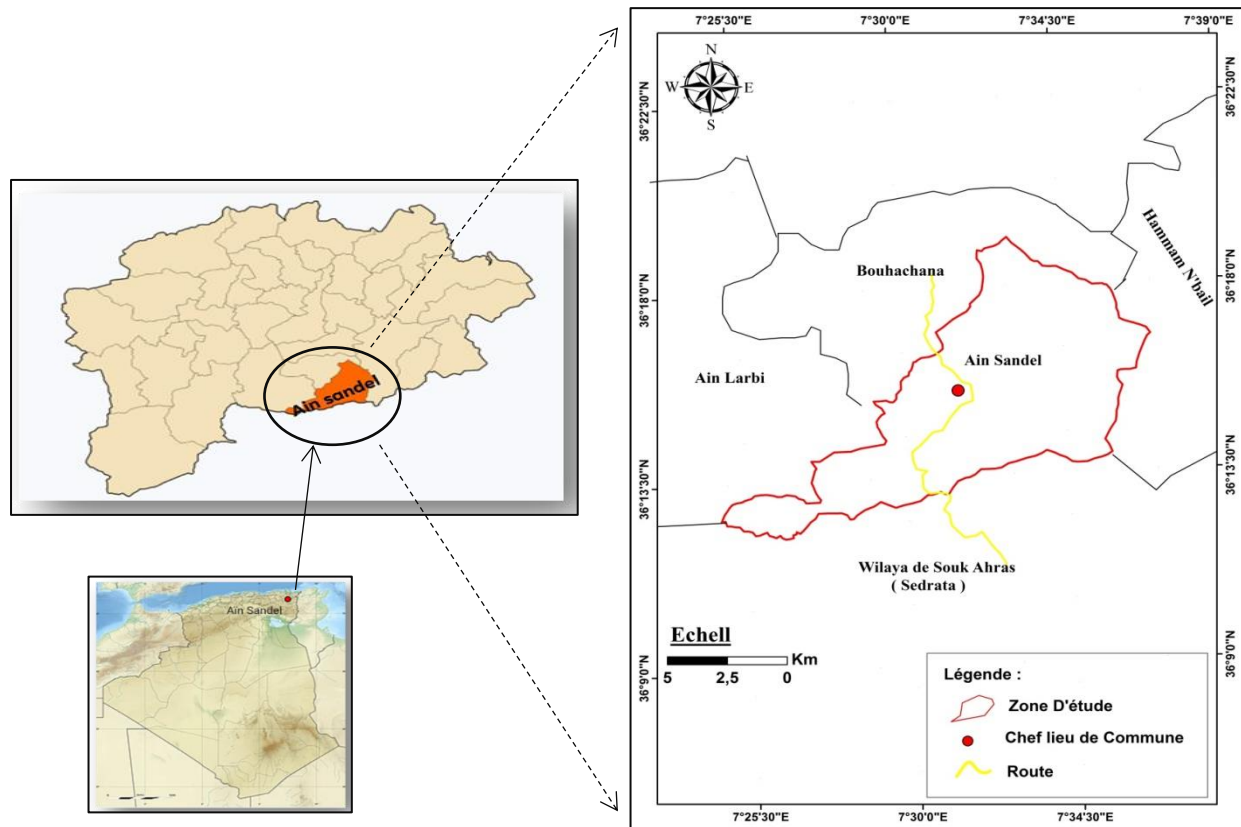


Fig.II.1. Situation géographique et administratif de la commune d'Ain Sandel

II.3. Reliefs et réseau hydrographique :

La commune d'Ain Sandel se caractérise par un relief diversifié représenté par des séries montagneuses récentes de grandes hauteurs, traversé par un chevelu hydrographique important drainant ainsi les sous bassins versants de la région dans de différentes directions.

Ce relief se décompose comme suit :

- **Montagnes** : elles constituent la majeure partie de la région d'étude dont Les massifs montagneux les plus importants sont :
 - Au Nord celui d'el Mouilah (Djebel Baghdoucha) (1279 m), plateau calcaire désertique semé de dolines, au Sud de la feuille la mesa gréseuse d'El Meïda (1360 m), à l'Est le Djebel Zouara (1164 m), le Rass El Alia (1317 m) et la vastes dolines du Djebel Tifech (1154). D'une façon générale, l'accès aux zones montagneuses est difficile.
 - La complication tectonique due à l'empilement des unités, la couverture végétale et les contrastes du climat créent bien des difficultés, mais elles sont compensées par la variété des phénomènes observables et par la beauté « sauvage » de certains sites où déjà se plaisaient

les hommes du Néolithique, comme en témoignent les gravures rupestres du Djebel Meida au Sud d'Ain Sandel.

➤ **Le réseau hydrographique :**

-Les lits des oueds :

On les rencontre dans les remplissages du Quaternaire dans la région traversées par les oueds qui creuse au fur et à mesure de temps, le matériel détritique est composé principalement de sable, gravier....etc.

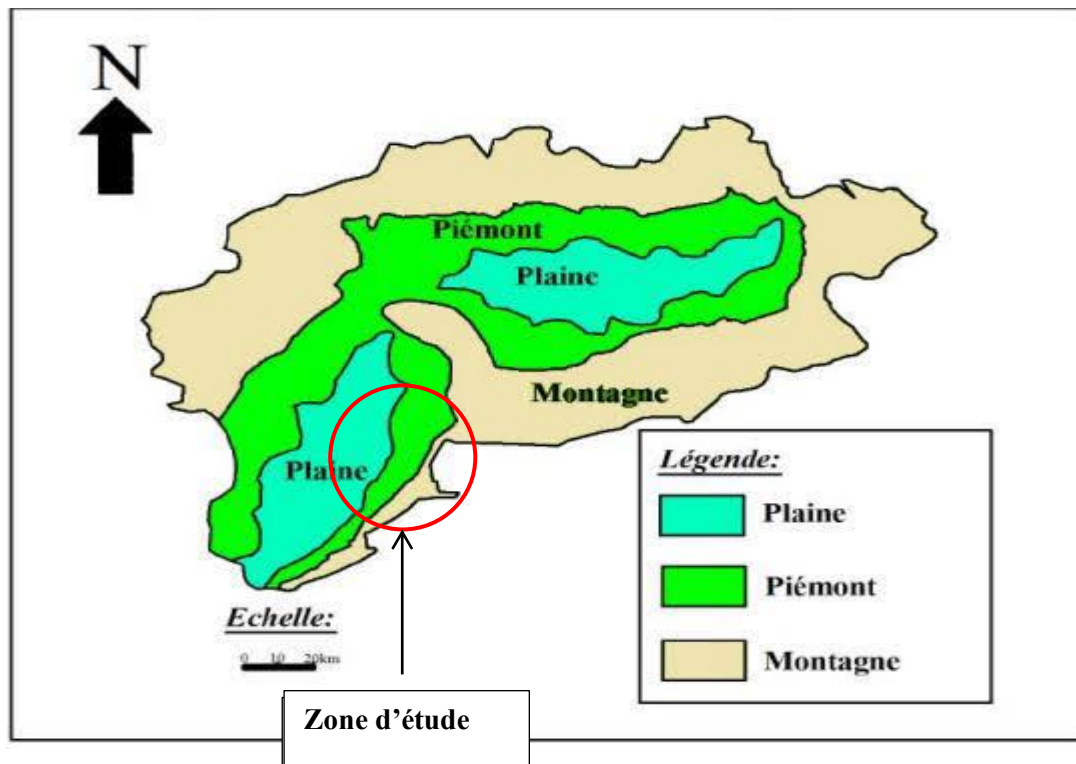


Fig.II. 2. Géomorphologie de la région de Guelma

La commune possède de nombreux réservoirs d'eau souterraine dont la majorité sont inexploités en raison de l'abondance des eaux de surface, car cette zone est connue pour ses sources fraîches telles que les source de Sabaâ Ayoune, la source d'Ain Labni, Ain Elouze, Ain sghira, Ain Karkar ...etc qui sont considérée, avec d'autres sources, comme les principales sources d'eau potable pour la population locale.

Les vallées les plus importantes de l'état traversent la région :

- Oued Sibous: Présente le principal bassin versant régionale et qui draine la partie Nord – Est algérien.

- Oued Cheref : Un principal affluent de l’oued Sibous, avec un écoulement permanent et un débit important.
- Oued El Ar : draine le territoire communal d’Ain Sandel au niveau de sa partie Sud- Ouest, en se dirigeant vers l’Ouest pour se déverser dans Oued Charef.
- Ouidane Laâdjoul : qui s’écoulent dans la partie Est de la région, pour rejoindre Oued Sibous à l’Est de la ville de Guelma.
- Oued Zouara : prend naissance à l’Est du chef-lieu de la commune d’Ain Sandel pour rejoindre Oued Sibous au niveau de la commune de Boumohra.
- Oued Rousfa : Draine la partie Nord du territoire communale d’Ain Sandel.

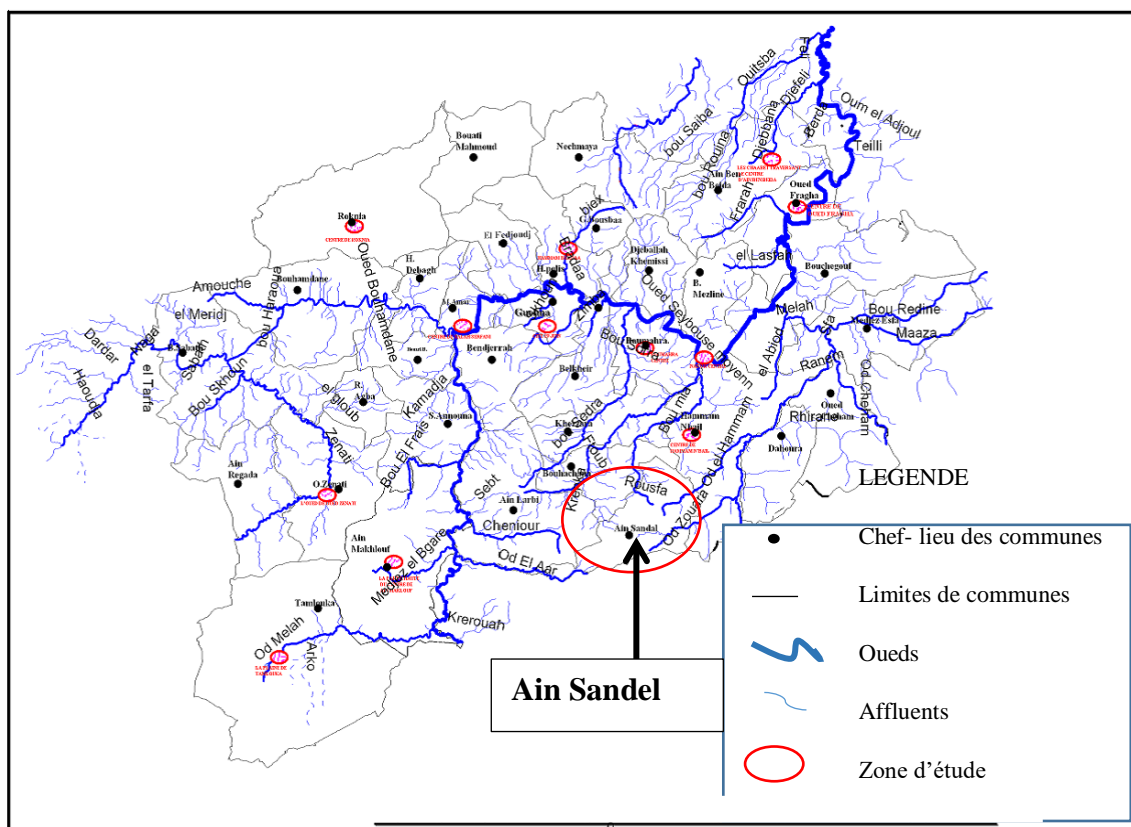


Fig.II.3. Réseau hydrographique de la wilaya de Guelma (HOCINE SOUAAD 2016 modifiée)

II.4. Le climat

Le climat de la commune d’Ain Sandel est de type subhumide au centre et au Nord et semi-aride vers le Sud, caractérisé par un hiver doux et pluvieux et un été chaud avec une température oscille de 4° C en hiver à 35.4°C en été, soit 17,3°C de moyenne. Quant à la pluviométrie, elle varie de 400 à 500 mm/an au Sud et peut atteindre 1000 mm/an au Nord, soit

57 % de cette pluviométrie est enregistrée pendant la période humide allant d'Octobre à Mai (A.N.D.I, 2013).

II.5. Le couvert végétal

La végétation est le résultat des facteurs : climat, relief, lithologie où s'ajoute le facteur humain (déboisement, reboisement). Elle est un facteur de restriction si elle est bien maintenue. La couverture végétale protège le sol contre l'érosion, améliore la capacité d'infiltration des eaux dans le sol, diminue le ruissellement superficiel et apporte au sol des matières organiques (feuilles, branches,...etc.).

La végétation dans la commune d'Ain Sandel reste étroitement liée à la pluviométrie, quand cette dernière est supérieure à 550 mm/an dans la partie Nord de la région d'étude, elle est recouverte de vastes forêts de types méditerranéens constitués surtout de chêne liège, d'eucalyptus, de pin d'Alep, de pin maritime, de chêne zèen et de cyprès, et de genévriers rouges intercalés par des maquis et de broussaille, ils sont en expansion par les reboisements récents en pin d'Alep mais aussi en cyprès et en Eucalyptus.

Dans la partie Sud quand la pluviométrie est inférieure à 500 mm/an, la végétation est peu dense, la steppe d'Alfa domine.

Pour le domaine agricole, il comporte tous les terrains à vocation agricole cultivées ou laissés en jachère, les terrains agricoles occupent plus de 55 % de la totalité du zone d'étude, pour les cultures pratiquées on peut citer : les céréales, les cultures intensives au voisinage des cours d'eau, les cultures maraîchères ...etc. Malgré les conditions pédologiques très favorables pour mettre en place une culture intensive, le secteur agricole est caractérisé par un embouteillage dont les causes sont d'ordre multiple. Parmi ces causes, on note les conditions climatiques qui ont une tendance vers l'aridité.



Fig.II.4. : Photo des activités agricoles dans la zone d'étude

II.6. L'aspect socioéconomique :

Avec une population de l'ordre de 4760 habitants, une densité de 60 habitants / km² selon le recensement de (2008), et une superficie de 79 km², la région d'Ain Sandel présente un aspect socio-économique dominé par une agriculture de montagne liée à l'élevage et une importante superficie forestière. La production végétale est très diversifiée : céréales d'hiver, pomme de terre et fourrages secs. La production animale de viandes rouges et blanches et de miel est très appréciée.

Les ressources en eaux superficielles sont peu considérables et les eaux souterraines ne sont pas exploitées. Mais cette région est connue en particulier par l'abondance des sources d'eau.

Les activités industrielles sont presque inexistantes excepté les quelques exploitations de carrière d'agrégats.

Grace à sa situation sur la route nationale N° 80, la commune d'Ain Sandel constitue un point de rencontre entre les pôles industriels du Nord (Annaba) et les centres d'échanges au Sud (Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, et le Sud.

Elle compte également des potentialités touristiques : Le lac d'El Berka Ezzarga, sites naturels et historiques (forêt et grotte ...).

Les autorités s'emploient à améliorer le niveau de vie des habitants de cette région pour s'assurer qu'ils ne migrent pas vers les villes et s'occupent de l'agriculture, qui est le principal facteur et le pilier de l'économie de la région.

II.7. Conclusion :

La région de Sabaâ Ayoune une partie des hautes plaines constantinoises occupant la partie Sud-Est de la willaya de Guelma. Elle se caractérise par un relief diversifié représenté par des séries montagneuses récentes de grandes hauteurs, traversé par un chevelu hydrographique important drainant ainsi les sous bassins versants de la région dans de différentes directions.

.La végétation dans la commune d'Ain Sandel reste étroitement liée à la pluviométrie, quand cette dernière est supérieure à 550 mm/an dans la partie Nord de la région d'étude, elle est recouverte de vastes forêts de types méditerranéens. la région d'Ain Sandel présente un aspect socio-économique dominé par une agriculture de montagne liée à l'élevage. Les activités industrielles sont presque inexistantes excepté les quelques exploitations de carrière d'agrégats.

Grace à sa situation sur la route nationale N° 80, la commune d'Ain Sandel constitue un point de rencontre entre les pôles industriels du Nord (Annaba) et les centres d'échanges au Sud (Tébessa). Elle compte également des potentialités touristiques importantes.

CHAPITRE III :

CADRE GÉOLOGIQUE ET

STRUCTURALE

III.1. Introduction

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique. Cette analyse permet d'identifier les matériaux et les structures des formations susceptibles de conduire l'eau des précipitations en profondeur, tout en permettant la détermination du type d'aquifère.

La géologie peut fournir des informations lithologiques, stratigraphiques et structuraux détaillés et utiles sur le site d'étude, permettant la reconstruction de l'histoire paléogéographique, la compréhension de divers aspects structuraux, l'identification et l'analyse de tous les faciès lithologiques.

Ce chapitre s'organise autour du rétablissement de la zone d'étude dans son sens géographique, suivi d'une revue et d'un examen des formations et structures géologiques au niveau local.

III.2. Géologie régionale

La région de Guelma se trouve dans la chaîne alpine d'Algérie orientale des Maghrébides. Cette chaîne fait partie de l'orogénie alpin périméditerranéen (Durand Delga, 1969) .

Édifié au cours du Tertiaire et qui demeure encore instable aujourd'hui, qui s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km, du Rif marocain à la Sicile (Italie), Elle est causée par la structuration du bassin Maghrébin et de ses marges. Ce bassin se situait entre les marges continentales européennes au Nord et les marges africaines au sud (Lahondère, Chouabbi, 1987). Dans ce domaine en forme d'anneau aplati, on distingue les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées actuellement par différents massifs, distribués le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie.

La chaîne des Maghrébides a connu des phases de déformations méso-cénozoïques aboutissant à la mise en place de l'Atlas tellien. C'est le domaine des nappes de charriage ou domaine allochtone. La chaîne alpine d'Afrique du Nord ou chaîne des Maghrébides constituée par trois zones (Durand-Delga, 1969 ; Durand-Delga et Fontboté, 1980 ; Wildi, 1983):

- Les zones internes (les séries de la dorsale kabyle)
- La zone des flysch
- Les zones externes.

III.2.1 Les grands domaines géologiques de l'Algérie du Nord

Le Nord-est Algérien fait partie du domaine plissé alpin. Ce dernier est généralement subdivisé en plusieurs domaines structuraux et paléogéographiques bien distincts. Du Nord vers le Sud, on distingue.

III.2.1.1. Le domaine interne

- Du Paléozoïque au Tertiaire, il se compose du socle cristallophyllien (socle kabyle) et de sa couverture sédimentaire, également connue sous le nom de la dorsale ou la chaîne calcaire kabyle.

Le socle kabyle

Les formations cristallophylliennes présentent le caractère dominant dans ce domaine. La base kabyle est constituée des ensembles suivants, selon Durand Delga (1969), Bouillin (1977) et Raoult (1974).

- Un ensemble cristallin profond au faciès de granulite.
 - Un ensemble gneissique de quartzites, amphibolites, marbres et proxénètes intercalés.
 - Un complexe de phylladite avec une zone sous-jacente à base de biotite et une zone au-dessus du chlorite ayant subi un métamorphisme à basse pression
- **La Dorsale Kabyle (ou la chaîne calcaire)**

C'est le bord sud de la couverture sédimentaire du socle kabyle. Du Permo-Trias au Lutétien, Les unités qui composent cette chaîne appartiennent à trois domaines paléogéographiques se selon (Raoult (1974), Vila (1980) :

a. La Dorsale interne : Du Permo-Trias à l'Oligocène, où une séquence complète existe.

b. La Dorsale médiane

Représentée par des dépôts constants à dominante marneuse et à microfaune pélagique du Turonien ou Lutétien, montrant une lacune du Crétacé moyen.

c. La Dorsale externe

Elle est caractérisée par des terrains du Jurassique et du Crétacé supérieur et par un Eocène détritique et lacuneux.

III.2.1.2. Le domaine des flysch Crétacés-Paléogènes

Ce sont des terres allochtones du Crétacé à l'Éocène (RAOULT, 1972). Il existe deux types de flysch dans ce domaine :

- **Le flysch mauritanien**

Ce flysch représente une séquence d'images allant de Malm à Priabonian. De bas en haut, il se compose :

- De calcaires tectoniques-néocomiens, qui cèdent la place à une masse massive de pélite et de grès (flysch de GERROUCH) dans l'Albo-Aptien.
- Microbreches silicifiées du Cénomaniens et du Turonien inférieur avec un ciment sparitique et de quartz détritique.
- Du Turonien au Lutétien supérieur, une collection diversifiée de marnes, de calcaires microbrechiques et sableux, de conglomérats à l'extrémité et de grès micacés

- **Le flysch massylien**

Raoult a inventé le terme de flysch massylien pour décrire les formations détritiques de schistoquartz en 1969.

Les termes lithologiques suivants sont inclus dans ce flysch :

- Argiles et grès quartzitiques albo-aptiens ;
- Phtanites et conglomérats argileux du Cénomaniens inférieur à marno-calcaires, Argiles marneux et schistes sénoniennes avec des lits de conglomérats et de grès calcaire.

III.2.1.3. Le domaine tellien

Les formations du domaine tellien sont divisées en trois groupes qui s'étendent du Nord au Sud (VILA, 1980).

III.2.1.3.1. La série ultra tellienne

Ces séquences, selon Durand Delga (1969), forment un ensemble particulièrement homogène qui comprend un Crétacé marneux avec Ammonites et Rotaliporas et un Éocène avec des marnes et calcaires sombres et des silex noirs.

II.2.1.3.2. Les séries Telliennes sensu stricto

Ils forment une couverture importante qui s'étend des chaînes côtières des Babors aux premières pentes des montagnes Hodna. Du Nord au Sud, ces séries telliennes peuvent être divisées en six classes :

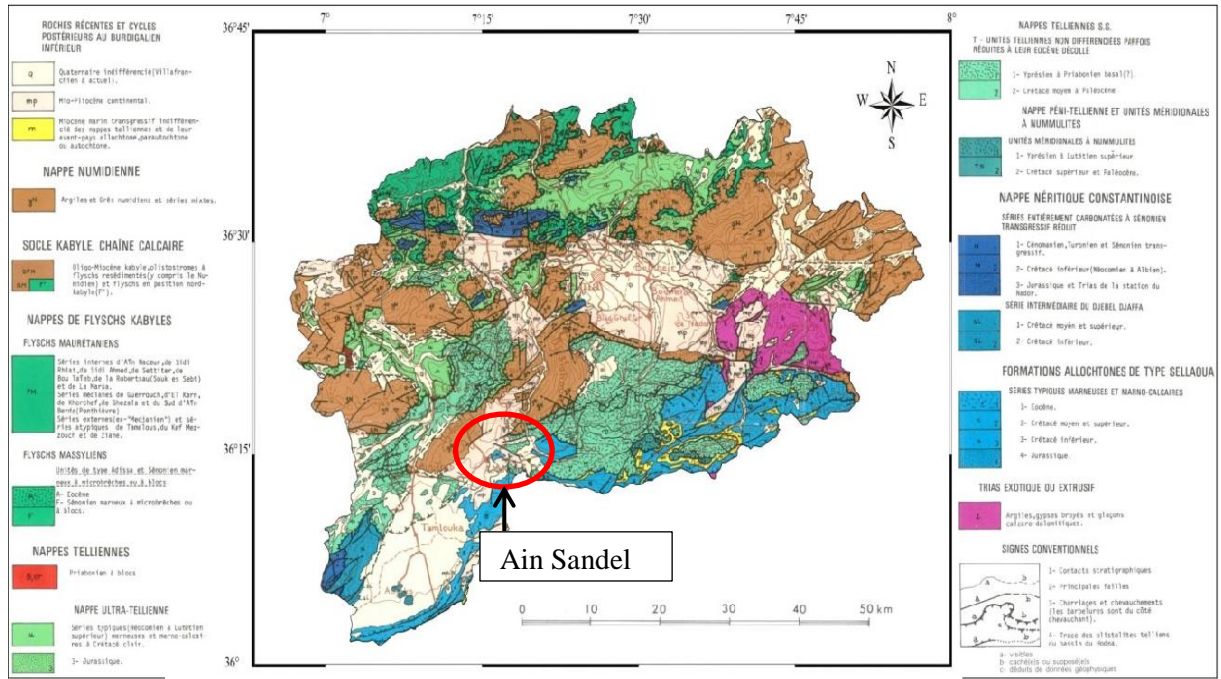
- a. Les séries de type Gouraya-Arkalon ;
- b. Les séries de type Barbacha ;
- c. Les séries de type Drâa-el-âarba ;
- d. Les séries de type Beni-Abdellah ;
- e. Les séries Bibaniques ;
- f. Les séries de Djemila.

III.2.1.3.3. Les série pénitelliennes et leur couverture Eocène à Nummulites

Les formations pénitelliennes s'étendent sur 150 kilomètres d'Est en Ouest et sur 40 kilomètres du Nord au Sud, selon (Vila, 1977).

Elles apparaissent de deux façons différentes :

- ✓ **Au Nord** : en fenêtre sous les nappes Telliennes, comme au Djebel Hellel, Djebel Boucheref et Ouakissen, Massif d'Ahmed Rachedi et au Djebel El-Akhal.
- ✓ **Au Sud et à l'Est** : en klippe sur les massifs néritiques constantinois, casdu Djebel Grouz, Djebel Khenag et Djebel Chataba.



[3]

Fig. III.1. Carte géologique de la région de Guelma

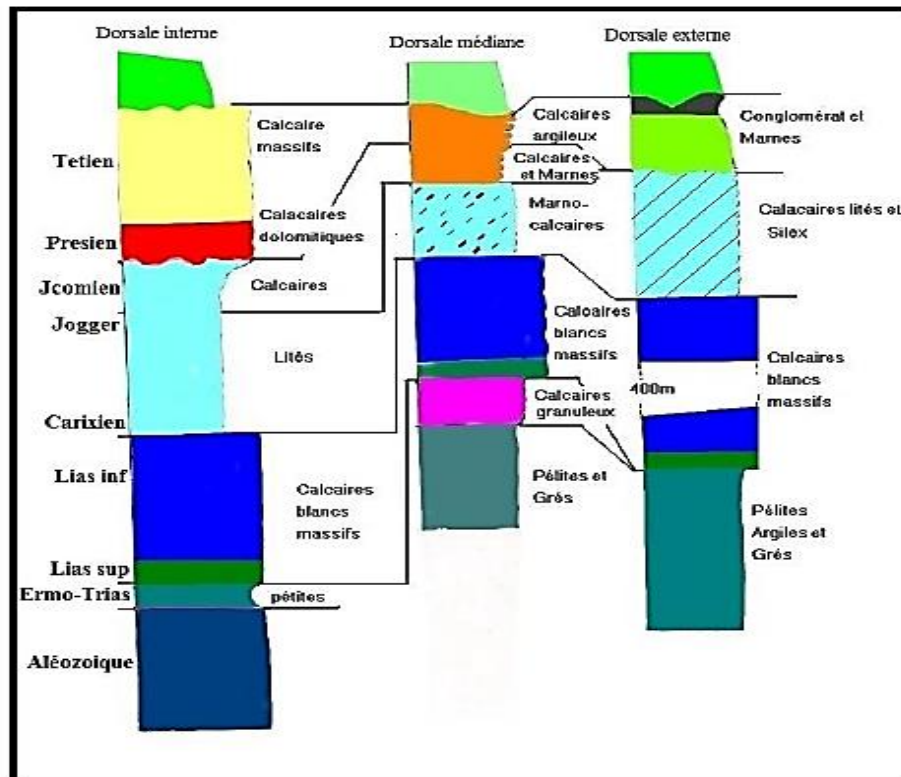


Fig.III.2. Colonnes stratigraphiques et synthèse de la chaîne calcaire (d'après.JF. Raoult, 1974)

III.3. Géologie locale

La région d'Ain Sandel se trouve sur les contreforts méridionaux du Tell constantinois et comprend deux régions naturelles d'importance très inégale: au Nord, l'essentiel de la région correspond aux chaînons telliens au Sud, la Chebka des Sellaoua.

Au point de vue géologique, un témoin des nappes de flyschs, plusieurs témoins des nappes telliennes et un imposant ensemble allochtone de type Sellaoua.

Du point de vu stratigraphique les principales formations géologiques qui affleurent dans la région d'Ain Sandel sont représentées par des formations sédimentaires allant du Trias jusqu'au Plio-quadernaire. Elles sont représentées par :

III.3.1. Les formations triasiques

A la proximité d'Ain Sandel, Les formations triasiques affleurent dans la région du Nador N'Bails et de la Mechrouha, elles montrent une répartition spatiale privilégiée (Chouabi 1987). Ces formations représentées par des dolomies, des calcaires dolomitiques, de schistes, de grès, des argiles rouges et des gypses. Au sud de la station du Nador, le Trias chevauchant les molasses néogènes du bassin de Guelma (J.M Vila 1972). Selon A.M. Chouabi (1987), le Trias jalonne les contacts anormaux au cours de la formation du grand bassin molassique de Guelma.

III.3.2. Formations para-autochtone et autochtone

L'Albien représentées par des marnes schisteuses sombre. Vers le sommet, ces marnes inclus de petits lits de calcaire micritique. Le Vraconien et Cénomaniens basal marqué par le dépôt des marnes et des calcaires biomicrites. Le début de Cénomaniens est représenté par les alternances de petits bancs de calcaires micritiques verts et de marnes de même couleur. Les affleurements du Cénomaniens présentent à l'Ouest de Dj BouSba (Vila J.M 1980). Le Cénomaniens moyen-supérieur n'a pas été identifié. Les formations calcaires du Turonien sont très réduites. Le Campanien constitué principalement par des calcaire, vers le Campanien supérieur à Maestrichtien la sédimentation à dominante marneuse. Le Miocène comprend deux types de sédimentation. Un Miocène marin transgressif constitué par des dépôts conglomératiques et gros rous calcaireux à Pecten et Ostrea. Des conglomérats à galets bien roulés et des grès calcaireux bruns ou rous et par des grès en gros bancs qui représentent le Miocène marin autochtone.

III.3.3. Ensemble Allochtone écaillé à faciès de type Sellaoua

- Unité des Sellaoua

Elle a été décrite par trois auteurs: Gramont, Lombard (1966) et Vila (1980). Elle est caractérisée principalement par une alternance marno-calcaire d'épaisseur de 1000 m avec des passages argileux en remarquant un abaissement relatif du calcaire.

- Crétacé inférieur

- *Néocomien* : Il se caractérise par une épaisseur de 250 m présentée par des alternances de marnes et schistes argileux avec les cadences des grès contenant des microfossiles du Valanginien.

- *Barrémien* : Avec une épaisseur de 180 m, la série est composée par des marnes et d'argiles gréseuses avec un niveau constant des calcaires lités joignant une agglutination calcaire.

- *Aptien* : Il se présente par une couche de 50 à 100 m de marnes de temps à autre gréseuses à ammonites ferrugineuses avec des niveaux de calcaires lités.

- *Albien* : Il se définit par une série marno-pélitico-gréseuse épaisse d'environ 150 à 400m.

- Crétacé supérieur

Cénomannien : L'épaisseur de la série est de 420 m, caractérisée par des faciès de marnes et marno-calcaires à ammonites. Au niveau du fossé central, le Cénomannien terminal à faciès Chebka (calcaires en plaquettes) passe à des faciès calcaires grumeleux et marno-sableux avec ammonite ferrugineuse et éponge.

Turonien : Il se présente sous deux formes : le Turonien inférieur et supérieur. Le premier est constitué par des calcaires lités avec des marnes. Il se caractérise par une épaisseur varie de 8 m au centre, de 30 m vers le Nord et de 60 m sur la bordure méridionale. Le Turonien supérieur se définit par une série d'épaisseur variant entre 20 à 150 m, formée par des marnes noduleuses à marnes granuleuses en remarquant des petits niveaux discontinus de calcaires glauconiens.

Sénonien inférieur : Nous le rencontrons sous deux formes : le Coniacien qui est une série composé de marnes et de calcaires glauconieux généralement grumeleux où ils montrent des traces d'algues et des pistes de vers avec une épaisseur dépassant les 300 m. Le Santonien se caractérise par une épaisseur variante de 25 m au centre de la zone et entre 5

et 10 m au niveau de la bordure Sud-Est. Il est constitué de deux masses de calcaires grises et jaunes, séparées par des marnes. Au-dessus de la zone on découvre une série épaisse de 50 à 100 m composée de marnes grises verdâtres avec certaines insertions de calcaires. *Sénonien supérieur* : Il est caractérisé par deux structures : le Campanien qui se retrouve au niveau de la partie Sud-Ouest avec une succession régulière composée de marne épaisse de 70 m. Cette série de marne devient plus bleue chargée de pyrite, limonite et de gypse. Le Maestrichtien qui présente une série épaisse de 70 à 100 m formée par des marnes riches en inoceramms.

III.3.4. Les formations des Nappes Tellienne

Cette série est chevauchante sur la nappe Néritique de djebel Mouileh, elle comprend :

- **Sénonien inférieur** : Avec une épaisseur de 100 m, il est représenté par des faciès marneux et marnocalcaires à ostréidés.
- **Sénonien supérieur** : Cette série est arrangée en deux masses marno-calcaires successives séparés par des marnes grises. Elle possède une épaisseur d'environ 550 m.
- **Paléocène** : Il existe deux théories concernant leur composition. Selon Vila (1980) il est constitué par des marnes noires contenant des boules jaunes et par des Silex et nodules de phosphate selon Voute (1957). Il est épais de 170 m.
- **Eocène** : Il comprend trois limites : à la base une barre marno-calcaire noires à silex avec un niveau de 20 m riche en nummulites. Au sommet, il est composé de Lutétien supérieur plus ou moins épais riche en lumachelles à huîtres. L'ensemble de la série possède une épaisseur de 560 m.

III.3.5. Le flysch numidien

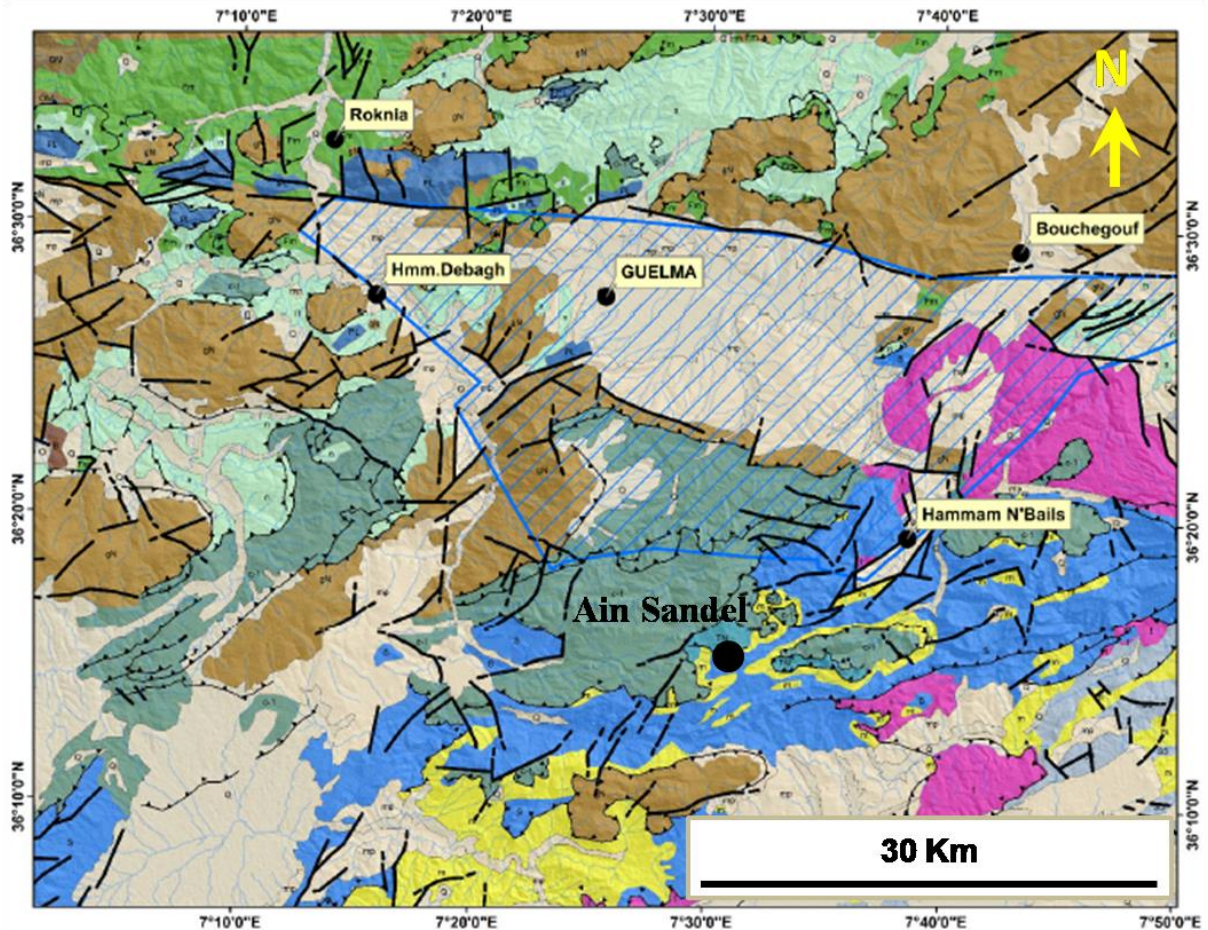
Cette série est composée du bas en haut de trois structures :

- Des argiles sous-numidiennes à Tubotomaculum.
Des grés numidiens.
Des argiles et des marnes à selexites supra-numidiennes.

III.3.6. Dépôts Quaternaires

- **Mio-Pliocène** : D'après Voute (1957), les dépôts Mio-Pliocène peut atteindre une épaisseur de 500 m. Cette série présente un stade de sédimentation continentale effectuée après la réalisation de la construction allochtone fortement affecté par l'érosion.

- **Quaternaire** : Il peut aller jusqu'à 100 m d'épaisseur, le quaternaire constitue une couverture naissante du bassin de Ain Sandal. Il est composé d'une croûte de calcaire, d'argile rouge et brune sableuse et graveleuses.



Légende :

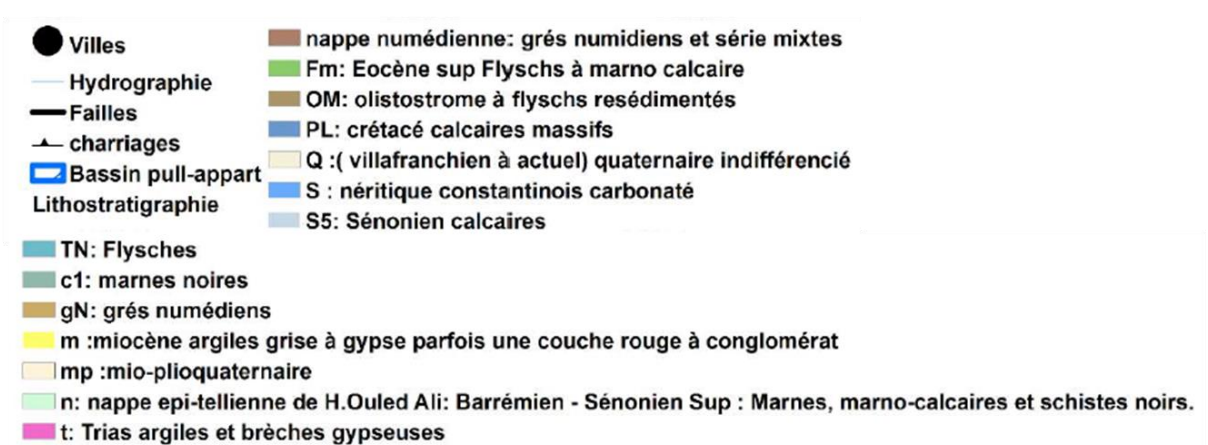


Fig.III.3. Schéma structural du bassin d'Ain Sandel (Vila, 1980, modifiée).

III.4. La tectonique

En ce qui concerne le style structural de la région, il faut noter l'existence de deux grandes unités :

- L'unité de la nappe néritique constantinoise au Nord et l'unité de la Chebka des Sellaoua Sud-La nappe néritique constantinoise est charriée sur son soubassement et montre des structures dirigées vers le Sud. Le noyau de la nappe est représenté par le jurassique. Cette nappe a été déformée après sa mise - en place par les dénivellations et elle est en plus affectée par les failles.
- L'unité de la Chebka des Sellaoua au Sud présente des affleurements de marne, de calcaire et d'argile sableuse dont la disposition leur confère une forme écailleuse d'où leur dénomination "écailles de la Chebka des Sellaoua". Ces écailles sont dirigées vers le Sud.

Au niveau de la zone Sud-est, il existe une très grande diversité tectonique allant des terrains

Aptiens jusqu'au Sénonien supérieur. Au niveau des terrains très anciens de la série, il existe des formations d'âge Eocène et Miocène de disposition irrégulière, soit très développé, transgressive et discordante. La zone Sud-ouest est totalement recouverte par les accumulations du Mio -Plio Quaternaire et les formatons géologiques sont masquées.

II.5. Conclusion :

La région d'Ain Sandel fait partie de zone externe de la chaîne des Maghrébides de l'Algérie orientale. Les formations qui affleurent dans la zone étudiée sont diversifiées. Leur âge est compris entre le trias et le quaternaire. Les phases tectoniques de la région sont caractérisées par deux grandes unités; La nappe néritique constantinoise au Nord et la nappe de la Chebka des Sellaoua au Sud.

Le remplissage miopliocène caractérise surtout les zones dépressionnaires.

L'aspect lithologique est principalement des calcaires et des calcaires dolomitiques avec des passages argileux et des unités gréseuses avec des capacités hydrogéologiques prometteuses.

La complexité géologique et structurale de la région d'étude caractérisée par le chevauchement de nombreuses unités géologiques sous forme des nappes de charriage et des flysch affectés par plusieurs formes de déformations tectoniques principalement ; les failles et les plis , cette complexité est à l'origine de l'apparition des différentes émergences hydrogéologiques localisées dans la région d'Ain Sandel, présentées par de multiples sources qui s'écoulent par conséquent suivant des circuits liés à la géologie et à la tectonique.

CHAPITRE IV :
CARACTÉRISTIQUES
HYDROCLIMATOLOGIQUES

IV.1. Introduction

Les facteurs climatiques jouent un rôle important vis-à-vis les eaux souterraines où le bilan hydrologique d'une région dépend d'abord de son climat suivi de sa topographie et de sa géologie. En raison du changement climatique et du lien étroit entre le climat, le cycle de l'eau et les ressources en eau, l'identification de la sensibilité des eaux souterraines aux variations climatiques est devenue primordiale. L'étude hydroclimatologique permet de dresser un bilan hydrique dans lequel ressortent et les différentes franges d'eau réparties dans la zone, notamment la quantité infiltrée dans le sol et le sous-sol, pour l'alimentation éventuelle des nappes souterraines, et la quantité écoulee à la surface du sol sous forme de cours d'eau. Les principaux flux mesurés et identifiés durant des périodes bien définies, influent d'une façon directe et à court terme sur le comportement hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines.

Les principaux paramètres climatiques étudiés dans cette section sont : les précipitations, la température et l'évaporation.

Ce chapitre sera consacré aux paramètres climatiques pour mettre en évidence les caractéristiques climatiques de la région Ain Sandel et estimer les différentes composantes du bilan hydrique pour comprendre le fonctionnement du système hydrogéologique de la région.

Les données climatiques utilisées dans ce chapitre sont fournies par la station météorologique d'Ain Sandel sur une période d'observation de 37ans (1984-2021) (Tableau IV. 1).

Tab.IV. 1 . Coordonnées de la station météorologique et période d'observation

Station	Altitude(m)	Latitude (y)	Longitude (x)	Période d'observation (37ans)
Ain Sandel	1144m	36° 14' N	7°30' E	1984_2021

IV.2. Paramètres climatiques

IV.2.1 Les précipitations

Les précipitations sont le facteur le plus important dans l'établissement du bilan hydrique, car elles jouent un rôle essentiel dans la durabilité de l'écoulement des réseaux hydrologiques dans une zone donnée, ainsi que dans son approvisionnement en eaux souterraines. Par ailleurs, toute étude climatologique nécessite une analyse très fine des précipitations afin de pouvoir détecter les effets des diverses fluctuations pluviométriques, des

données mensuelles, saisonnières et interannuelles sur l'état des cours d'eau et la recharge des aquifères qui lessivent et dissolvent les éléments minéraux établis contenus dans diverses formations rocheuses . La quantité des sels dissous dans les eaux souterraines affecte sa composition chimique.

IV.2.1.1. Précipitations moyennes mensuelle

Les données des précipitations disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station d'Ain Sandel sur une période de 37ans. Ces valeurs sont consignées dans le (Tableau IV.2).

Tab .IV.2. Précipitations moyennes mensuelles

Mois	Sep	oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mar	Avr	mai	Juin	Juill	Août
P(mm)	40.84	41.79	64.8	81.75	47.76	33.3	72.6	53.49	29.81	15.57	5.1	4.36

Pour observer l'évolution des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi l'histogramme relatif de la station d'Ain Sandel (Fig.IV.1).

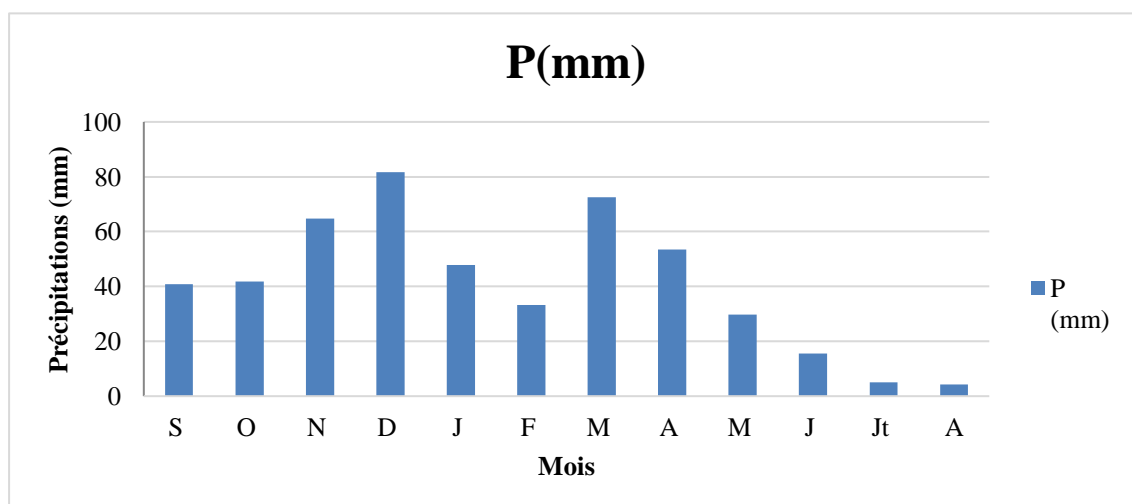


Fig.IV.1. Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Sandel (1984-2021).

Les précipitations atteignent le maximum au mois de Décembre avec une hauteur de 81,75mm et le minimum au mois d'Août avec 4,36mm.

IV.2.1.2. Précipitations moyennes saisonnières

Pour distinguer les pluies saisonnières survenant dans des conditions de températures différentes. Nous avons calculé le pourcentage des précipitations moyennes de chaque saison par rapport au total annuel. (*Tab.IV. 03*), (*Fig.IV.2*)

Tab.IV. 03. Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Sandel (1984-2021)

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Mois	S/O/N	D/J/F	M/A/M	J/JT/O
P(mm)	49,14	54,27	51,96	8,34
P(%)	30,01	33,15	31,73	5,09

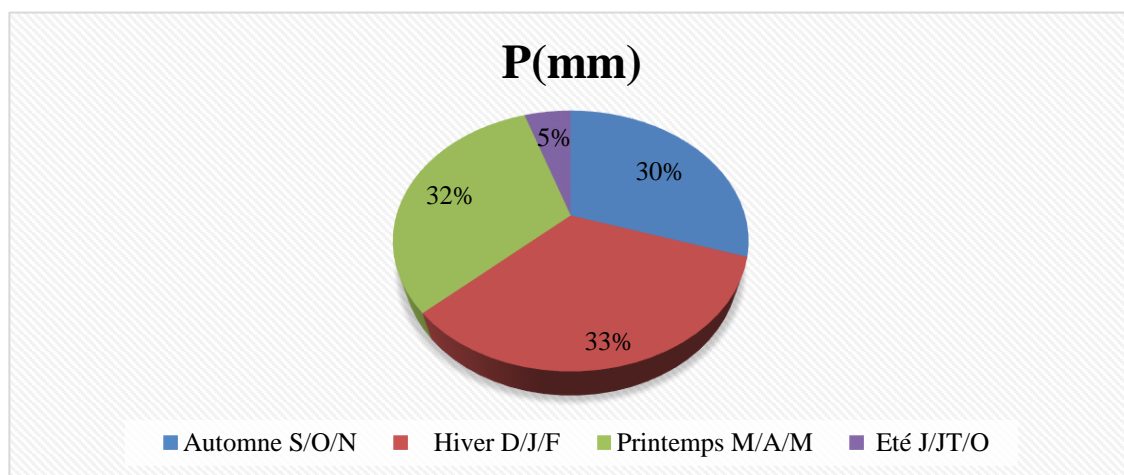


Fig.IV.2. Précipitations moyennes saisonnières en %.

L'examen des résultats du *Tab.IV.03* et la *Fig.IV.2* montre que les précipitations se produisent essentiellement en Hiver, en printemps, et en Automne avec une quantité de 155,37 mm d'une moyenne de précipitation totale interannuelle de l'ordre de 163,71 mm, ce qui produit une recharge de la nappe. La saison estivale est la plus sèche avec, un total des pluies de 8,34 mm (5,09%) ce qui produit une évaporation. Il en ressort que Décembre est le mois le plus pluvieux et qu'Aout est le mois le plus sec.

IV.2.2. Les températures

La température est l'un des facteurs les plus importants du climat. Son influence majeure sur les autres paramètres climatiques tel que, l'évapotranspiration et par conséquent sur le taux

d'infiltration et le régime d'écoulement surfacique, le classe comme un paramètre essentiel pour le calcul du bilan hydrique.

IV.2.2.1. Température moyennes mensuelles

Les températures mensuelles recueillies à la station météorologique d'Ain Sandel sur une période de 37ans (1984-2021) sont récapitulées dans le (Tableau .IV.4), leur répartition est illustrée par la (Figure IV.3).

Tab .IV.4. Températures moyennes mensuelles

Mois	Sep	oct	Nov	Dec	jan	Fev	Mar	Avr	mai	Juin	Juill	Août
T°	23.04	18.2	12.01	7.55	6.55	10.17	9.28	13.15	16.74	22.98	26.7	27.81

Les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont observées pendant la période allant du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre, avec des températures de l'ordre de 18.2 à 27.81 C°, tandis que les températures les plus basses sont observées pendant la période hivernale (Décembre à Mars) avec un minimum enregistré pendant le mois de Janvier de l'ordre de 6.55 C°.

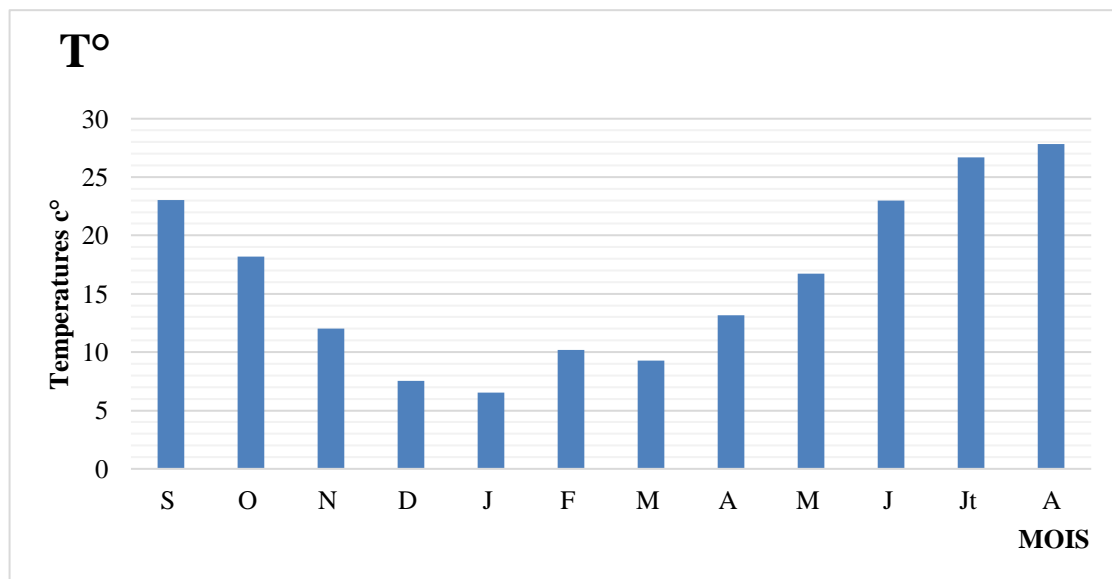


Fig.IV.3. Evolution des températures moyennes mensuelles

IV.2.3 Régime climatique

III.2.3.1 Diagramme pluviothermique (Ombrothermique)

D'après **Dalage et Metaille (2000)**, le diagramme pluviothermique est un graphique représentant les caractéristiques d'un climat local par la superposition des figures exprimant d'une part les précipitations et d'autre part les températures.

Bagnouls et Gaussen (**1953**), considèrent qu'un mois est sec lorsque le rapport P/T est inférieur ou égal à 2 (P étant le total des précipitations exprimé en (mm) et T étant la température moyenne mensuelle en °C). Ces auteurs préconisent ensuite pour la détermination de la période sèche de tracer le diagramme pluviothermique, qui est un graphique sur lequel la durée et l'intensité de la période sèche se trouvent matérialisées par la surface de croisement où la courbe thermique passe au-dessus de la courbe des précipitations, et durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égal au double de la température du même mois (**Fig.IV.4**).

Le diagramme pluviothermique, permet la détermination du le type du climat caractérisant une région.

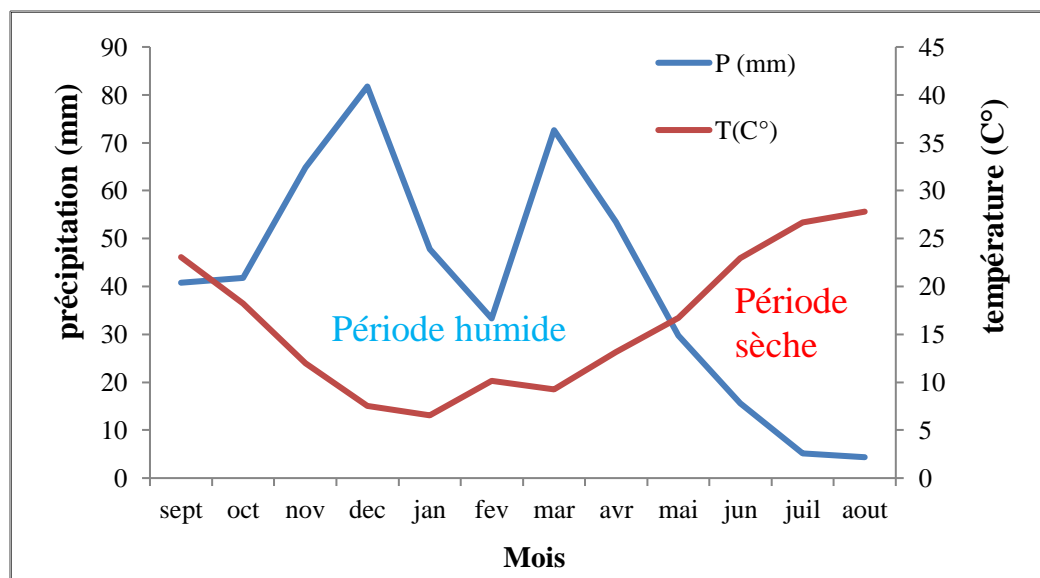


Fig.IV.4. Diagramme Ombrothermique

La représentation graphique de ce diagramme établi à partir des données des températures et des précipitations de la station d'Ain Sandel, montre deux périodes :

- La première froide et humide : s'étale sur 8 mois, du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai.
- La seconde chaude et sèche : s'étale sur 4 mois, depuis fin Mai jusqu'à fin Septembre.

La détermination de cette période est d'une grande importance pour la connaissance de la période déficitaire en eau.

Le caractère subhumide du climat est indiqué par la longueur de la période humide (8 mois).

IV.2.3.2. Indice d'aridité annuel d'E. De Martonne

Pour caractériser le climat d'une région et évaluer son degré d'aridité, on fait appel à plusieurs indices, le plus utilisé est celui de d'E Martonne, lié aux températures et aux précipitations. Il est calculé par la formule suivante :

$$A = P/T + 10$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

A : coefficient d'aridité.

Pour :

- $A < 5$: climat hyperaride.
- $5 < A < 7.5$: climat désertique.
- $7.5 < A < 10$: climat steppique.
- $10 < A < 20$: climat semi-aride.
- $20 < A < 30$: climat tempéré.
- $A > 30$: le climat est humide.

Pour notre station d'Ain Sandel :

P = 491.19 (mm) et T = 16.18 (C°) donc :

Tab .IV.5. Coefficient Ombrothermique de la station d'Ain Sandel

Station	Coefficient(A)
Ain Sandel	18.76

Le calcul de l'indice d'E.de Martonne indique de la zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride.

IV.2.4. Le bilan hydrique

L'établissement du bilan hydrique d'une région donnée consiste à évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface, entre les différentes composantes à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, pour un but d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves.

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm),

R : ruissellement en (mm),

I : infiltration moyenne en (mm),

ETR : évapotranspiration réelle,

IV.2.4.1. Estimation de l'évapotranspiration

Ce paramètre englobe l'ensemble de deux phénomènes ; d'évaporation (processus physique) et la transpiration (processus biologique). Il est considéré comme le plus important du bilan hydrologique après les précipitations car il conditionne l'abondance ou le déficit de l'eau pour la végétation, On distingue :

- Evapotranspiration réelle (ETR) qui représente l'eau réellement perdue par celle-ci sous forme de vapeur.
- Evapotranspiration potentielle (ETP) qui est l'eau susceptible d'être perdue dans les mêmes conditions quand elle n'est plus facteur limitant (Bouchet R.J. 1963).

a. Evapotranspiration potentielle (ETP)

Est la quantité maximale d'eau pouvant s'évaporer par les sols, surfaces d'eaux libres et transpirer par les êtres vivants sur une surface limitée et pendant une période bien définie.

On utilise la méthode de C.W .Thornthwaite pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP), elle est basée essentiellement sur la température :

$$ETP = 16(10T/I)^a \cdot K$$

Avec :

- ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm,
- T : température moyenne mensuelle en C°,
- I : somme des indices thermiques mensuels i ; $i = (T/5)^{1.514}$
- K : facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée.
- a : exposant climatique : $a = 0.016 I + 0.5$

Avec :

$$I=76,49 \quad a=1.72$$

Les résultats sont résumés dans les tableaux ci-dessous (bilan hydrique) (*Tab. IV.7*).

b. Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement, la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface Donnée. L'évaluation de ce paramètre est effectuée par des formules empiriques :

La formule de Turc

Elle permet d'évaluer directement l'évapotranspiration réelle annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle :

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

Avec : $L=300 + 25T + 0.05T^3$

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

L : paramètre arbitraire lié à la température.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (C°).

Les résultats sont consignés dans le **Tableau .IV.6**.

Tab.IV.6. ETR selon Turc à la station d'Ain Sandel (1984-2021).

Station	P (mm)	T (C°)	L	ETR (mm/an)
Ain Sandel	491.19	16.18	916.29	291.59

IV.2.4.2. La méthode de l'eau de C. W .Thornthwaite

C'est une méthode du bilan hydrique du sol, Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU) exprimée en mm de hauteur d'eau. La quantité d'eau maximum stockée par le sol et son degré de saturation dépend de ; la nature, la composition lithologique, l'épaisseur de la couche superficielle du terrain et du climat. Thornthwaite a admis que le sol est saturé quand il a absorbé une lame d'eau équivalente à 100 mm au maximum.

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, Thornthwaite a considéré deux cas :

- si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 mm) et si elle dépasse cette valeur il y a un excès (Ex) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si $P < ETP$, la valeur de ETR = P + RFU, jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le Besoin des cultures à l'irrigation.

- Si $P - ETP > 0$; c.-à-d. : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.
- Si $P - ETP < 0$; c.-à-d. : $P < ETP$, ce cas est encore subdivisé en deux cas :
 - Si $P + RFU > ETP \rightarrow ETR = ETP$.
 - Si $P + RFU < ETP \rightarrow ETR = P + RFU$.

Les résultats des calculs sont résumés dans les tableaux ci-dessous (bilan hydrique). (**Tab. IV.7**).

Tab. IV.7. Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Ain Sandel (1984-2021).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Annuel
P(mm)	40.84	41.79	64.8	81.75	47.76	33.3	72.6	53.49	29.81	15.57	5.1	4.36	491.17
T°	23.04	18.2	12.01	7.55	6.55	10.17	9.28	13.15	16.74	22.98	26.7	27.81	16.18
I	10.08	7.67	3.76	1.85	1.49	2.9	2.52	4.3	6.21	10.01	12.63	13.43	76.49
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP(mm)	109.8	68.93	29.89	12.67	10.66	22.19	22.97	44.69	74.46	132.66	170.35	170.92	870.19
ETR(mm)	40.84	41.79	29.89	12.67	10.66	22.19	22.97	44.69	74.46	70.92	5.1	4.36	380.54
RFU	0	0	34.91	100	100	100	100	100	55.35	0	0	0	
DA	68.96	27.14	0	0	0	0	0	0	0	61.74	165.25	166.56	489.65
EX	0	0	0	3.99	37.1	11.11	49.69	8.8	0	0	0	0	110.69

- T : température mensuelle en (C°).
- P : précipitation mensuelle en (mm).
- I : indice thermique.
- K : coefficient de latitude.
- ETP : évapotranspiration potentielle en (mm).
- ETR : évapotranspiration réelle en (mm).
- RFU : réserve facilement utilisable en (mm), (RFU=100mm) pour le calcul du bilan.
- Da : déficit agricole (mm).
- Ex : excédent en (mm).

a. Formules de vérification

$$P = \sum ETR + \sum EX \quad \Longrightarrow \quad P = 380.54 + 110.69 = 491.17 \text{ mm} .$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA \quad \Longrightarrow \quad ETP = 380.54 + 489.65 = 870.19 \text{ mm} .$$

$$DA = \sum ETP - \sum ETR \quad \Longrightarrow \quad DA = 870.19 - 380.54 = 489.65 \text{ mm} .$$

$$EXC = \sum P - \sum ETR \quad \Longrightarrow \quad EXC = 491.17 - 380.54 = 110.69 \text{ mm} .$$

Nous constatons que les résultats issus des bilans sont vérifiés.

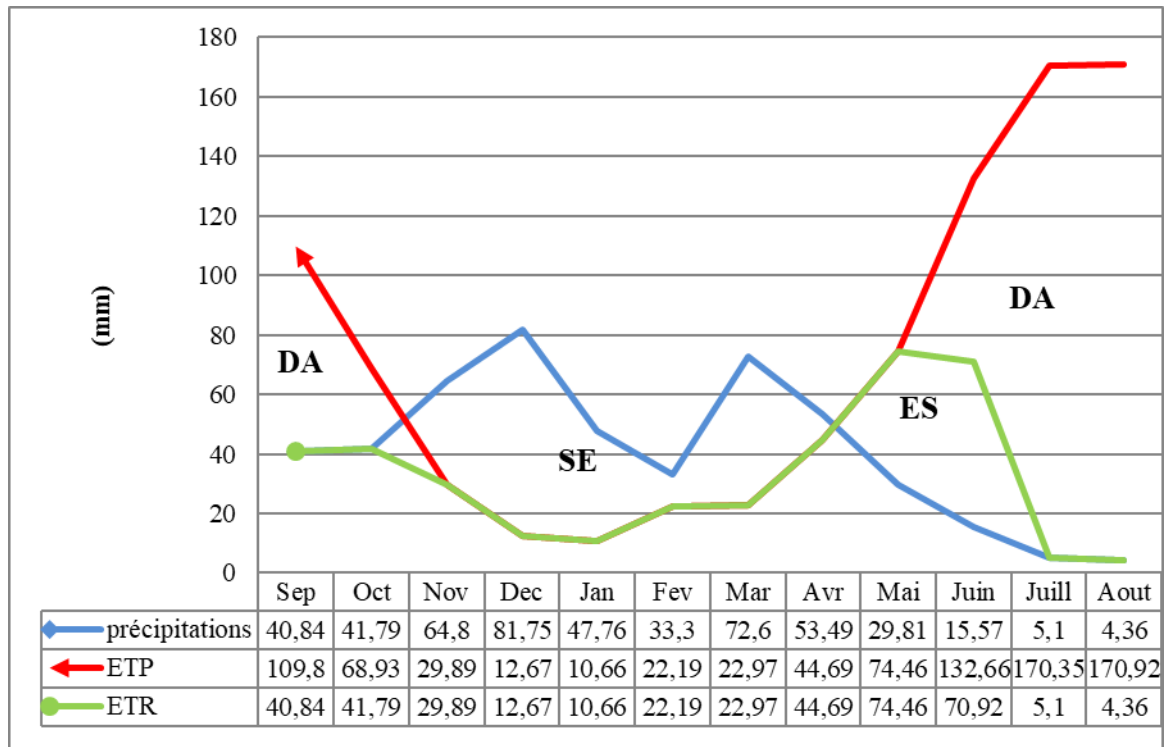
b. Interprétation du bilan hydrique

La figure IV.5 illustre les résultats de tableau ci-dessus. Le bilan hydrique de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint son maximum au mois d'Août (170.92 mm) et son minimum au mois de Janvier (10.66 mm).

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement. Dès que la RFU diminue, il y aura un épuisement du stock. Quand la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA).

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de novembre (34.91 mm) et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de Décembre jusqu'au mois d'avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

Le déficit agricole (DA) s'observe à partir du mois de Juin et se poursuit au mois d'Octobre L'excédent commence à partir du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de Mars de (49.69mm).



DA : Déficit Agricole, SE : Surplus d'Eau, ES : Epuisement du stock

Fig.IV.5 Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite.

IV.2.5. Estimation du ruissellement

Le ruissellement peut être défini comme un phénomène physique d'écoulement non organisé de l'eau sur un bassin versant suite à des chutes de pluies. Suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau sera soumise à l'infiltration qui alimentera les nappes souterraines.

Le coefficient de ruissellement (R) est calculé par la formule de M.J Tixeront et Berkaloff, Avec la condition de $P < 600\text{mm}$.

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

Avec :

R : ruissellement.

P : précipitations.

ETP : Evapotranspiration potentielle calculée par la méthode de Thornthwaite.

Les résultats des calculs sont donnés dans le **Tab. IV.8**.

Tab. IV.8. Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff.

<i>Station</i>	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)
Ain Sandel	491.17	870.19	32.42

Par comparaison avec les différentes valeurs de l'excédent dans le tableau de Thornthwaite, la valeur du ruissellement calculé par la formule de Tixeront-Berkaloff reste faible pour l'alimentation de la réserve souterraine.

IV.2.6. Estimation de l'infiltration

L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol, elle renouvelle les stocks d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoulement souterrain de sortie, après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol. (G.Castany et J.Marrgat, 1977) L'infiltration est difficile à calculer quand on n'a pas des mesures faites sur le terrain, elle a été estimée de l'équation du bilan de l'eau :

$$P = ETR + R + I \longrightarrow I = P - R - ETR$$

Avec :

I : l'infiltration.

ETP : évapotranspiration réelle.

P : Précipitation Annuelle (mm).

R : Ruissellement Annuel (mm)

Si $I > 0$: Les entrées sont supérieures aux sorties.

Si $I < 0$: Les entrées sont inférieures aux sorties.

Les résultats des calculs sont donnés dans le Tableau **Tab. IV.8.**

Tab. IV.9. Estimation de l'infiltration en (mm).

Paramètres	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I(mm)
Valeurs	491.17	380.54	32.42	78.21

La faible valeur de l'infiltration, nous pousse de plus en plus à valoriser et à protéger les ressources disponibles.

IV.3. Conclusion

La région d'Ain Sandel est caractérisée par un climat de type semi-aride, caractérisée par un été chaud et sec et un hiver froid, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux ; la précipitation et la température, avec des moyennes annuelles respectivement pour la période (1984 – 2021) de l'ordre de 491.19 mm et 16.18 C°.

L'interprétation du bilan hydrique selon la formule de C.W. Thornthwaite, donne une évapotranspiration réelle très élevées de l'ordre de 870.19 mm .La période de recharge s'effectue à partir du mois de Novembre et commence à s'épuiser au mois de Mai,

La formule de Tixeront-Berkaloff, donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 32.42 mm, l'infiltration a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique avec 76.49 mm .

Le déficit agricole pour satisfaire les besoins en eaux d'irrigation des cultures est estimé à 489. 65 mm à la station d'Ain Sandel.

L'augmentation exponentielle des besoins en eau des différents usagers dans la région de Sabaâ Ayoune, en comparaison avec la rareté des ressources en eaux souterraines et superficielles dans le secteur d'étude, nous oblige, plus que jamais, à adopter une politique rationnelle de consommation, de protection et de valorisation de ce qui est disponible.

CHAPITRE V :

ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE

V.1. Introduction

Les eaux de sources se diversifient dans leurs quantités et leurs qualités, l'estimation de leurs différents débits passe obligatoirement par une étude hydrogéologique, permettant ainsi de comprendre le cercle hydrogéologique des différents systèmes aquifères ainsi que la détermination des différents circuits à l'origine des différentes émergences.

Dans la région de Sabaâ Ayoune commune d'Ain Sandel les eaux de sources comptent parmi les principales ressources hydriques disponibles, dont on vise à travers ce chapitre de les étudier et les valoriser suivant les démarches suivantes :

- La réalisation d'un inventaire général des sources.
- L'estimation de leurs débits.
- L'établissement d'une carte piézométrique avec son interprétation.
- Et enfin la supposition d'une approche logique expliquant le cadre hydrogéologique et le fonctionnement hydrodynamique des eaux souterraines.

V.2. Ressources hydriques

La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion. Les ressources en eau en Algérie proviennent des eaux de surface, des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables.

Les ressources hydriques dans la région de Sabaâ Ayoune sont limitées et caractérisées par la rareté des grands Oueds.

V.2.1. Les eaux de surface

Elles proviennent soit du ruissellement soit des eaux souterraines, dont l'émergence sert de source. Les deux types se rassemblent en ruisseaux, qui ont un taux de circulation élevé. Ils peuvent être stockés dans des réserves naturelles (lacs) ou artificielles (réservoirs de barrage). En ce qui concerne notre zone de recherche, qui est l'agglomération de Sabaâ Ayoune, l'approvisionnement en eau de surface provient principalement de :

Oued Charef principale cours d'eau dans la région, à écoulement permanent et à débit important, sur lequel le barrage de Settara est construit au niveau de la partie amont de l'Oued. Le sous bassin versant ; Charef amont est localisé au Nord- Est de l'Algérie. Il fait partie du grand bassin versant de la Seybouse et couvre une superficie de 148,63 km², de forme allongé équivalent à un rectangle de longueur de 14,82 km et de largeur de 10,09 km .Le bassin versant de l'oued charef est constitué de deux plaines .la plaine de Sedrata et la plaine de Ksar Sbihi.

Ces deux dernières qui constituent le périmètre d'irrigation principale de ce barrage, ces plaines offrent des capacités agricoles largement supérieures aux possibilités d'irrigation de ce dernier.

Oued El Aar Qui reçoit les écoulements de ses principaux affluents issus des versants Nord (Sabaâ Ayoune) et Sud de sa vallée, a écoulement irrégulier et à faible débit, n'encourage pas la réalisation des retenues collinaires.

Oued Zouara : qui prend naissance au niveau de la plaine plio quaternaire au Sud- Est d'Ain Sandel, a écoulement irrégulier et des faibles possibilités d'exploitation.

V.2.2. Les eaux souterraines

L'eau souterraine est un réservoir naturel d'eau souterraine constituent une des réserves accumulées depuis de longues années. L'infiltration des eaux de pluie complète à long terme le cycle de l'eau.

Sur la base de la carte géologique, des données obtenues sur le terrain (mesures et observations in situ), et celles rendues accessibles aux services techniques et sanitaires de la Willaya de Guelma et de la commune d'Ain Sandel, nous avons pu identifier les ressources souterraines possibles, représentées par le massif calcaire au Nord et la nappe alluvionnaire au Sud, avec un ensemble de sources qui s'émergent à partir de ces derniers, quelques une parmi les quelles sont captées sous forme de fontaines publiques ou stockées dans le seul réservoir qui sert à l'alimentation en eau potable de l'agglomération de Sabaâ Ayoune .

V.3. Inventaire des différentes sources

La connaissance des sources à travers la région d'étude (à vocation agricole et à climat méditerranéen à semi-aride) s'avère un outil de grande importance dans la gestion et la préservation des ressources en eau.

A cet effet, la nécessité de recenser et d'évaluer les sources (et leur qualité) s'insère dans les processus de conservation de chacune d'elles pour une meilleure gestion durable.

Après de quelques sorties sur terrain, nous avons pu recenser et identifier 12 sources dont le débit est variable de quelques décilitres à des dizaines de décilitres par seconde.

Les sources identifiées sont caractérisées par des écoulements permanents, variables selon les saisons, dont la plupart sont issues des formations calcaires de l'Eocène, généralement soutenues par des nappes perchées alimentées par les précipitations (tel que Ain Karkar). L'autre catégorie des sources est alimentée directement par les nappes aquifères présentes dans les différents dépôts mio-plio-quaternaires (tel que Ain Lebni).

Au cours de la présente étude, le débit a été estimé par la méthode capacitive. Cette méthode consiste à mesurer à l'aide d'un chronomètre, le temps moyen (3 à 5 essais) nécessaire pour remplir un récipient d'une capacité connue.

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz ainsi que sur la valeur du pH. La connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines. Pour les sources de Sabaâ Ayoune, la température de l'eau, mesurée in situ à l'aide d'un thermomètre, varie entre 13 et 23°C avec une moyenne de l'ordre de 18°C.

Tab.V.1. Inventaire des différentes sources de la région de Sabaâ Ayoune avec dénomination et coordonnées

Origine de l'émergence (nappe)	N°	Nom de la Source	Cordonnées géographiques			Débit hautes eaux Avril 2022 (l/s)	Débit Basses eaux Octobre 2021 (l/s)	Analyse chimique	Usage
			X (Est)	Y (Nord)	Z (m)				
Karstiques	S1	Ain louz	7.464	36.2294	1165	0.05	0	OUI	AEP
	S 2	Ain si said	7.466	36.2300	1160	0.12	0.08	OUI	AEP+ irr
	S 3	Ain sghira	7.467	36.2298	1170	0.5	0.4	OUI	AEP
	S 4	Ain karkar	7.469	36.2315	1165	3.2	3	OUI	AEP
	S 5	Ain stiti	7.472	36.2314	1160	0.34	0.1	OUI	AEP
	S 6	Ain toumia	7.475	36.2325	1178	0.24	0.23	OUI	AEP
	S7	Ain Rebiba	7.480	36.2284	1163	2.3	0.5	OUI	AEP+ irr
	S8	Ain Tedjar	7.478	36.230	1174	3	2.9	OUI	AEP+ irr
Formations Alluvionnaires	S9	Ain lebni	7.459	36.2261	1122	0.5	0.2	OUI	AEP
	S10	Ain baida	7.4592	36.2238	1040	4	3.8	NON	AEP+ irr
	S11	Ain stiti said	7.4672	36.2193	1020	2.5	2.3	NON	AEP+ irr
	S12	Rousse laâyone	7.4632	36.2203	964	4.5	4.2	NON	AEP+ irr

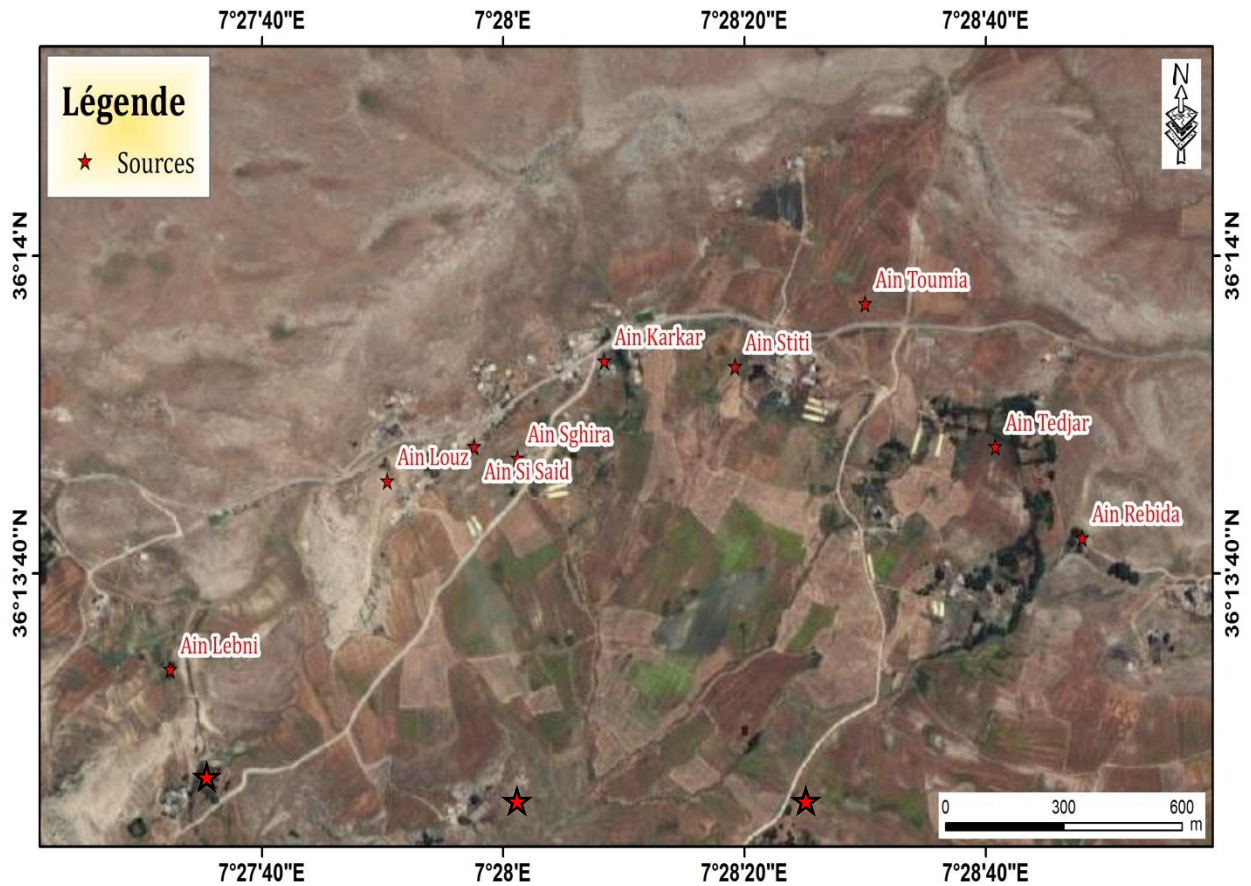


Fig. V.1. Carte d'inventaire des sources dans la région Sabaâ Ayoune

Sur la carte, on a matérialisé l'ensemble des sources ayant fait l'objet de collecte de données, de visite et de suivi méthodiques (mesures et observations).

V.4. Aspect hydrogéologique

La description des différentes formations géologiques fournie par l'outil géologique. L'exploitation de ces informations a permis de conclure que ;

A l'échelle du versant de Sabaâ Ayoune, on peut distinguer deux nappes, contribuant au développement de la zone en assurant l'approvisionnement en eau potable d'une grande partie des centres urbains et ruraux.

Ces nappes, sont la nappe libre (alluvionnaire) au Sud et l'aquifère karstique au Nord.

V.4.1. Aquifère à nappe libre

Dans la partie Sud la nappe possède une faible puissance hétérogène constituée de débris calcaires et de sable argileux ce qui lui donne une faible possibilité aquifère, cette nappe et

exploitée par les puits domestiques avec un faible débit, au niveau des dépôts Mio-plio-quadernaires

V.4.2. Aquifère à nappe karstique dans les formations des calcaires Eocènes

Il s'agit d'une nappe relativement profonde, localisée à l'extrême Nord, de la région d'étude, et qui présente le prolongement orientale des formations de Djebel Mouilah constitués des calcaires *massifs* d'âge Eocènes ; fissurés et karstifié, offrant ainsi des possibilités aquifères considérables, confirmées par des observations sur terrain, où on peut entendre des sons des écoulements souterrains au niveau d'une cavité appelée Damouss.

V.5. Alimentation des nappes

La nappe libre dans les dépôts du mio-plio-quadernaire s'alimente par l'infiltration directe des eaux météoriques et des eaux de la nappe karstique, qui plonge sous les alluvions où ses eaux peuvent réapparaître suivant la différence topographique importante notamment pendant les hautes eaux.

L'alimentation de la nappe des calcaires de l'Eocène se fait par l'infiltration directe des pluies par l'intermédiaire des failles et les fissures.

V.6. Le contexte hydrogéologique des importantes sources

Nous avons choisi de classer un groupe de sources comme important, sur la base des nombreuses données acquises auparavant, liées au flux et à son changement saisonnier, et qui sont fournies dans le tableau suivant :

Tab. V.2. Inventaire des principales sources de la région Sabaâ Ayoune.

N°	Nom de la Source	Cordonnées géographique			Débit hautes eaux Avril 2022 (l/s)	Débit Basses eaux Octobre 2021 (l/s)	Analyse chimique	Usage
		X (Est)	Y (Nord)	Z (m)				
S 4	Ain karkar	7.469	36.2315	1165	3.2	3	OUI	AEP
S8	Ain Tedjar	7.478	36.230	1174	3	2.9	OUI	AEP+ irr
S10	Ain baida	7.4592	36.2238	1040	4	3.8	NON	AEP+ irr
S11	Ain stiti said	7.4672	36.2193	1020	2.5	2.3	NON	AEP+ irr
S12	Rousse laâyone	7.4632	36.2203	964	4.5	4.2	NON	AEP+ irr

L'interaction possible entre les deux nappes nous a permis de classer ces Cinq meilleures sources suivant leurs débits importants et sa constance saisonnière (*Tab.V.2*).

V.7.1 Conditions hydrogéologiques des différentes émergences

Excepté Ain Tedjar et Ain Karkar qui s'émergent à partir des calcaires, et c'est une conséquence logique de leur importance, les autres trois sources **S10, S11 et S 12** apparaissent au niveau des alluvions d'habitude médiocres, elles s'émergent à partir d'une nappe libre, au niveau d'un exutoire topographique, avec les plus petites valeurs des courbes de niveau dans le terrain d'étude (**1040, 1020 et 970 m** respectivement), indiquant une intersection de la surface topographique avec la surface piézométrique,

Leur régime pérenne avec un débit relativement important est dû à la convergence des lignes de courant des eaux souterraines, ces sources ont pris naissance au niveau du massif de calcaire fissuré et elles ont gardé leurs caractéristiques pour réapparaître au niveau des alluvions à travers une faille probable dans les formations calcaires Eocènes.

En présence d'une qualité fiable, ces sources peuvent être l'objet d'un projet de stockage à grande échelle destiné aux différents usages.

- Les sources **S1, S2 S 3, S5, S6, S7 et S 9** ; avec un faible débit, elle s'émerge entre les formations de faible perméabilité, ce qui nous appelle à confirmer leur origine superficielle à partir des calcaires Eocènes, de ces eaux, ce qui nous permis de les classer comme des sources karstiques.

V.9. Conclusion

La région de Sabaâ Ayoune se situe au niveau d'une zone de broyage entre le sillon de Sellaoua au Sud et la nappe numidienne au Nord, en forme d'un versant plongeant au Sud et formant la rive Nord d'Oued El Aar, cette situation attribue à la région une diversité hydrogéologique à savoir :

- Le système karstique au Nord, formé de calcaires d'âge Eocène, Maestrichtien et sénonien supérieur, affecté par des failles.
- Formation alluvionnaire relativement perméables au Sud.
- L'interaction entre les deux systèmes aquifères a donnée naissance à des sources à débit important et constant. En présence d'une qualité fiable, ces sources peuvent être l'objet d'un projet de stockage à grande échelle destiné aux différents usages.

La carte piézométrique des hautes eaux montre un écoulement général du Nord vers le Sud obéissant à la topographie, les zones favorables à l'implantation de captage d'eau se manifestent au Sud par un espacement des iso pièzes et une convergence des lignes de courant. En hautes eaux les Oueds drainent la nappe.

Une étude géophysique recommandée, peut fournir d'énormes possibilités d'implantation des forages, aussi bien au Nord qu'à l'exutoire au Sud.

***CHAPITRE VI : LES
CARACTÉRISTIQUES
HYDROCHIMIQUES***

VI.1. Introduction

La composition chimique de l'eau joue un rôle important dans la détermination de son utilisation ; Elle peut être qualifiée d'eau potable ou orienter à d'autres fins (l'agriculture, l'industrie...etc).

La composition chimique d'une eau souterraine est très variée, dans une nappe, l'eau peut subir les effets de plusieurs facteurs (concentration, échanges de base, réduction ou anthropiques), qui sont capables de modifier partiellement ses caractéristiques chimiques.

Dans une même nappe, on observe presque toujours des variations de l'amont vers l'aval. L'eau circule en lessivant les terrains encaissants et il peut y avoir, une augmentation de la concentration totale en sels dissous et des variations des valeurs des rapports caractéristiques qui peuvent nous renseigner sur l'origine des eaux (Detay, 1993).

Ce chapitre s'articule particulièrement sur la caractérisation physico-chimique des eaux de sources de la région de Sabaâ Ayouné afin de mettre en évidence l'influence de la nature lithologique ou les activités anthropiques sur leur composition chimique.

Le travail a été réalisé par des mesures in situ, des prélèvements d'échantillons pour être analysé au laboratoire.

La représentation graphique des résultats au moyen de diagramme et de cartographie a été la base d'une interprétation qui permet la détermination des différents faciès chimiques ainsi que le suivi de la variation spatiale des différents paramètres physico-chimiques et la capacité de ces eaux à différentes utilisations.

VI.2. Mode de travail

Les différentes étapes de notre travail sont indiquées dans la Figure : VI .1

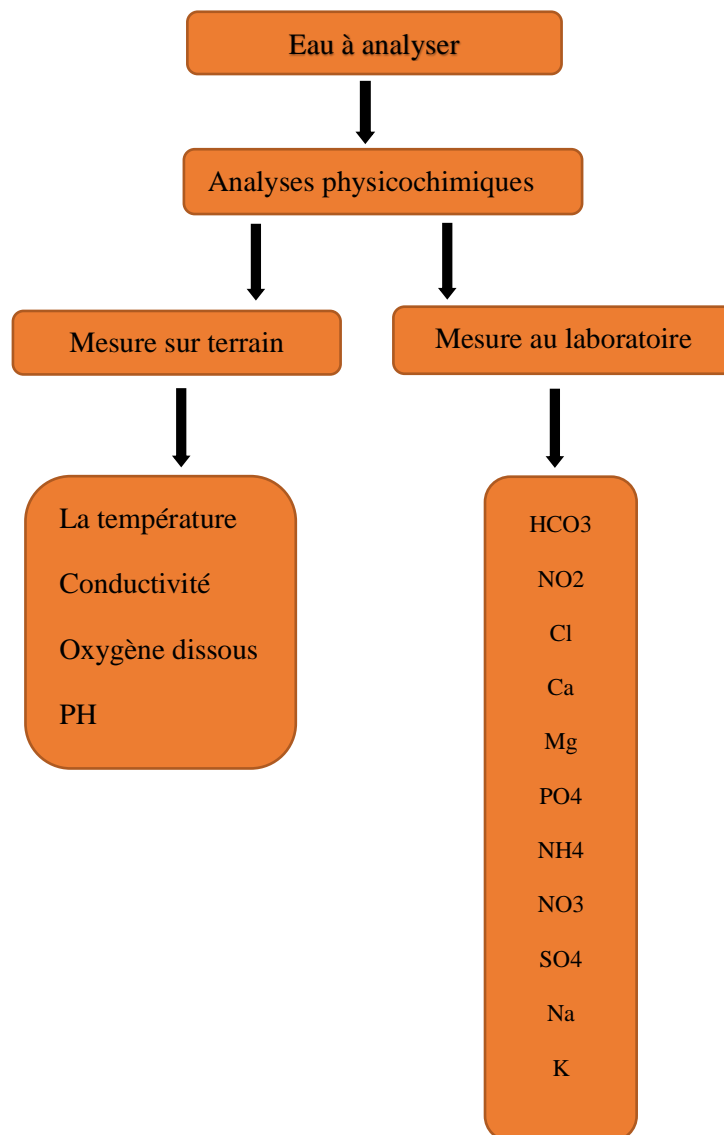


Fig.VI.1. Organigramme représentant le plan de travail

VI.3. Matériel et méthodes

VI.3.1. Echantillonnage et points de prélèvement

Pour pouvoir suivre la variation spatiale de la qualité des eaux des différentes sources, un croquis géographique des sources a été désigné baser en premier lieu sur l'importance hydrogéologique des sources et en deuxième lieu sur leurs représentativités dans la répartition spatiale. L'échantillonnage a concerné 9 sources.

VI.3.2 Mode d'échantillonnage

Le prélèvement des échantillons d'eau a été effectué selon la méthode conventionnelle de prélèvement dans les sources. Nous remplissons les bouteilles jusqu'au débordement puis les

fermé sous l'eau à la main, pour éviter toute réaction de l'eau avec l'air. Les échantillons ont été libellés et numérotés selon le site de prélèvement.

- *Mesures in situ (Analyses préliminaires)*

Pour la détermination des paramètres physique sur terrain (pH, CE, O₂, T°), nous utilisons un appareil multiparamétrique, de marque Combo de la maison Hanna, ce dernier est un appareil de mesure digital de poche. La température, la conductivité électrique, le pH et l'oxygène dissous ont tous été mesurés in situ pour chacune des sources. En effet, ces paramètres sont extrêmement sensibles aux conditions environnementales et sont susceptibles de varier dans des quantités significatives s'ils ne sont pas mesurés in situ.

- *Analyses chimiques*

Réalisées au niveau du laboratoire de recherche de Génie géologique (LGG) et au laboratoire de Chimie. Après avoir effectué des opérations d'étalonnage et de dilution, les résultats obtenus ont été vérifiés par la formule de la balance ionique en adoptant 10 comme un seul supérieur de fiabilité.

Les différents paramètres mesurés ou analysés sont interprétés selon les normes algériennes et celles de l'organisation mondiale de la santé (OMS). Ils sont exprimés sous formes de diagrammes et de cartes de distribution spatiales.

VI.3.2.1. Paramètres physiques

a. *La conductivité électrique*

La conductivité électrique est la capacité de l'eau à permettre le passage du courant électrique. Conductivité, inverse résistivité, est directement liée à la teneur en minéraux dissous ionisés. Augmente avec température (Mayet, 1994). La conductivité est mesurée in situ avec un conductimètre de type « Eco scan CON5 ». L'électrode de conductivité est rincée avec de l'eau distillée et immergé dans un récipient contenant de l'eau pour analyser. Après stabilisation de l'appareil, les valeurs sont notées en fonction de la température et exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tab.VI.1. Conductivité électrique des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ
Ayoune (Avril 2022)

Source	Ain Louz	Ain Si Said	Ain Sghira	Ain karkar	Ain Stiti	Ain Toumia	Ain Rebiba	Ain Tedjar	Ain Lebni
CE($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1287	518	457	373	456	365	392	332	311

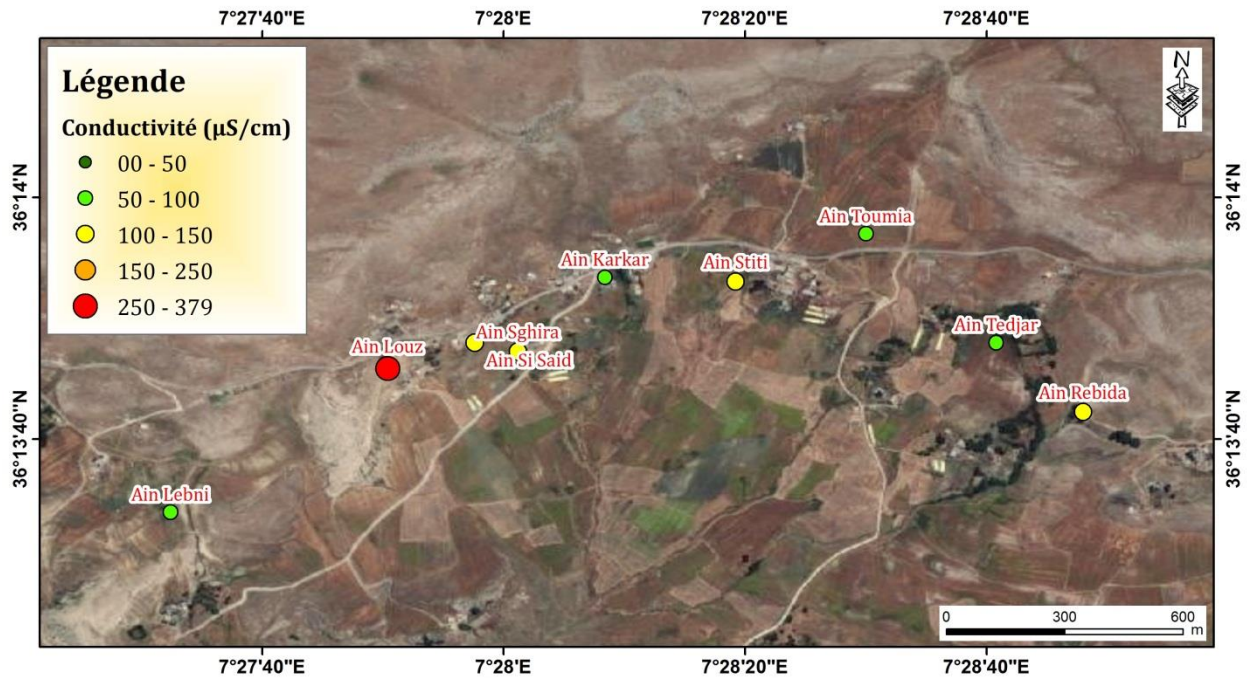


Fig .VI.2. Carte d'iso conductivité électrique des eaux de sources de la région de Sabaâ Ayoun (Avril 2022)

b. La température

La température de l'eau est un facteur de confort pour les usagers. Il permet également de corriger les paramètres d'analyse, dont les valeurs sont liées à la température (conductivité). De plus, il met en évidence les contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indicateurs sur l'origine de l'eau. La température est mesurée directement et simultanément avec la conductivité.

La valeur est lue sur l'affichage du conductimètre. Elle est exprimée en degrés Celsius (°C) Elle oscille entre 14,3°C et 16,3°C, à l'abri de toute influence hydrothermale.

Tab.VI.2. Températures (°c) de quelques sources dans la commune d'Ain Sandel (Avril 2022)

Source	Ain Louz	Ain Si Said	Ain Sghira	Ain karkar	Ain Stiti	Ain Toumia	Ain Rebiba	Ain Tedjar	Ain Lebni
T°C	15,5	15,1	14,3	15,2	15,5	15,5	16,2	17,4	16,3

c. Le potentiel d'hydrogène PH

Le potentiel hydrogène mesure la concentration d'ions H⁺ dans l'eau ; il représente donc l'équilibre acido-basique sur une échelle de 0 à 14, où 7 représente un pH neutre. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et est influencé par divers facteurs, dans l'eau de source. La mesure du pH est effectuée avec un pH-mètre de paillasse Calibré à température ambiante avec de l'eau distillée. La mesure du pH s'effectue par immersion la sonde dans l'eau. Les résultats s'affichent à l'écran.

Tab VI. 3. PH des eaux de sources de la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022)

Source	Ain Louz	Ain Si Said	Ain Sghira	Ain karkar	Ain Stiti	Ain Toumia	Ain Rebiba	Ain Tedjar	Ain Lebni
PH	8,3	7,88	7,6	7,88	7,71	7,73	7,79	7,67	7.64

VI.3.2.2. Paramètres chimiques et leurs origines (Mesure au laboratoire)

Les éléments chimiques (majeurs, cycle d'azote...), analysés au Laboratoire de Génie Géologie (LGG) de l'université de Jijel. les méthodes d'analyse des Éléments chimique font référant aux méthode critique par Rodier, telles que : HCO₃, Ca, Mg, Cl, SO₄, NO₂, NO₃, NH₄, PO₄, Ca + Mg, K, Na

VI.3.2.2.1. Les Anions

a. Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures peuvent avoir une origine multiple, soit l'intrusion des eaux marines, ou la contamination par des eaux usées, soit la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leur présence en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses (Zahi, 2014).

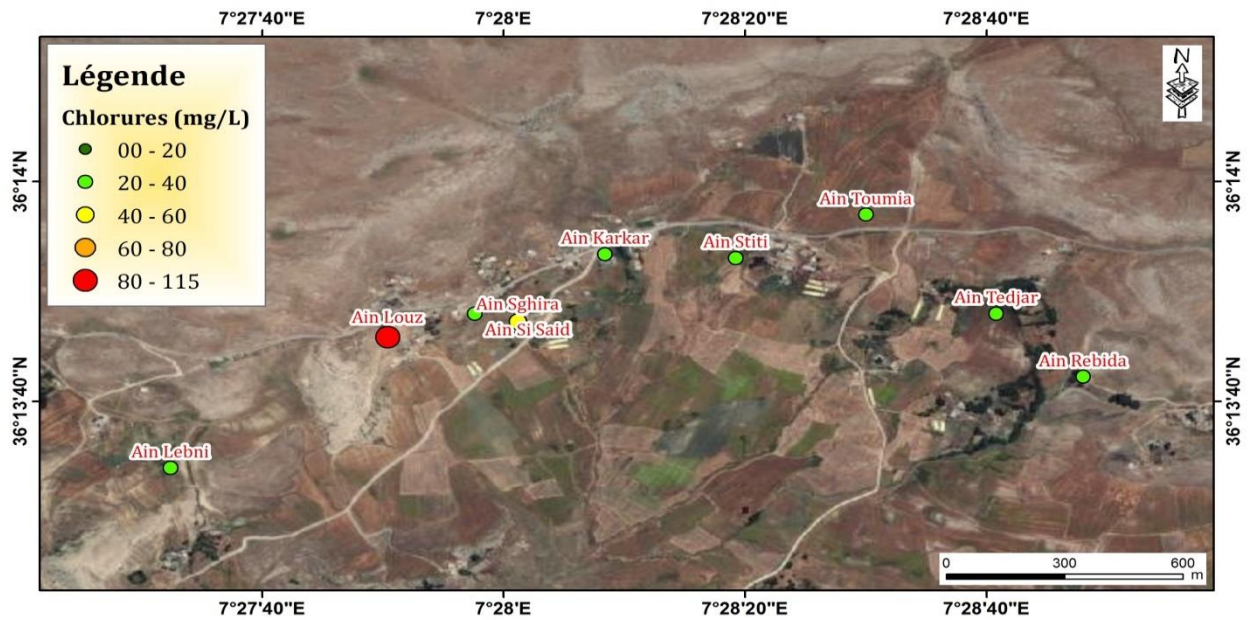


Fig. VI. 3. Carte d'égalité de teneur en Chlorure des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune.

La carte de la variation spatiale des chlorures montre que ces derniers dominent la partie Nord-Ouest de la région de Sabaâ Ayoune et proviennent essentiellement de la dissolution des sels naturels par lessivage des terrains salifères au piémont de Djebel Mouilah constitué essentiellement de formations argilo-marno- sableuses et des formations évaporitiques et gypseuses très abondantes.

b. Sulfates (SO_4^{2-})

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées, Elles sont liées à l'eau de pluie et à la mise en solution des roches sédimentaires évaporitiques, notamment les formations gypseuses.

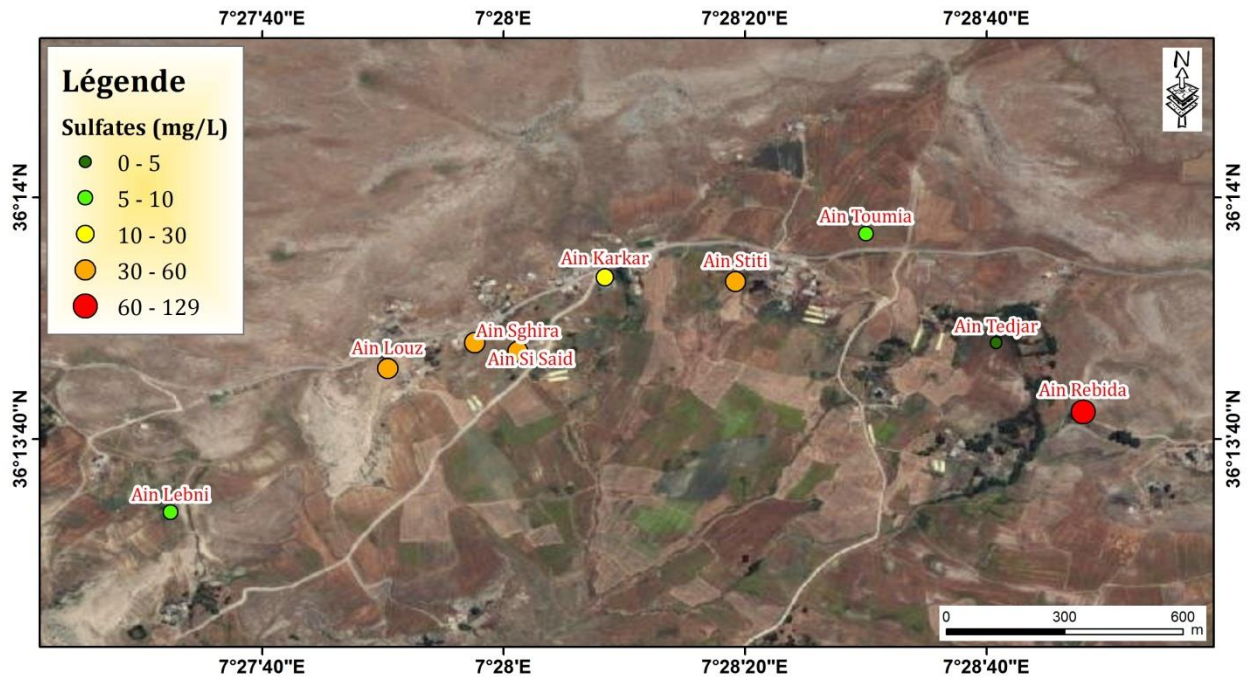


Fig. VI.4. Carte d'égalité de teneur en Sulfates des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022)

La variation spatiale des sulfates caractérisée par des valeurs importantes au Sud –Est de la région est liée aux facteurs lithologiques par lessivage des formations alluvionnaires sédimentaires qui constituent le remplissage plio- quaternaire du versant.

c. Bicarbonates (HCO_3^-)

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique. Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées et gypsifères

Les résultats de l'analyse sont représentés dans la carte suivant :

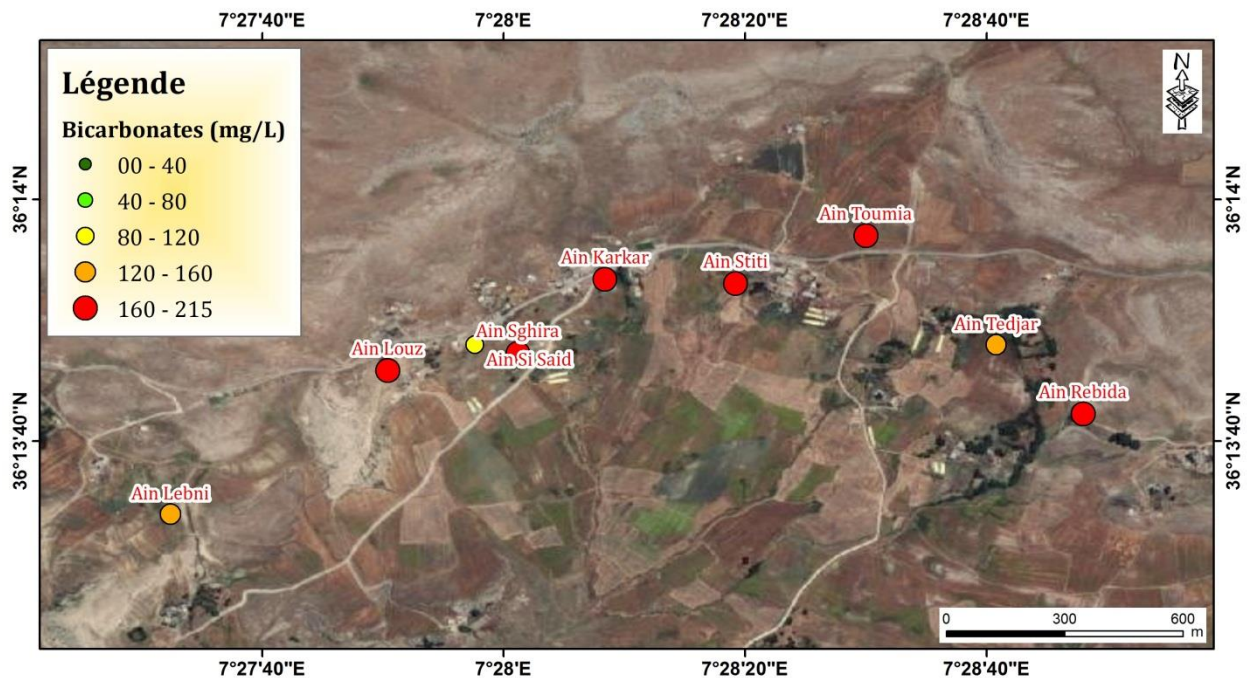


Fig. VI.5. Carte d'iso-teneurs en Bicarbonates des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022)

La représentation graphique montre que la majorité des sources situant aux piémonts des calcaires indiquent des valeurs de Bicarbonate importantes, La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique.

On suppose que les sources qui représentent des teneurs élevées en bicarbonates ; prennent leur origine, en profondeur, à partir des formations calcaires de l'Eocène.

VI.3.2.2.2. Les cations

a. calcium (Ca^{+2})

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature (Djouadi, 2015), leur présence dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Hidaoui, 2015). Il est considéré comme un composant majeur de la dureté de l'eau.

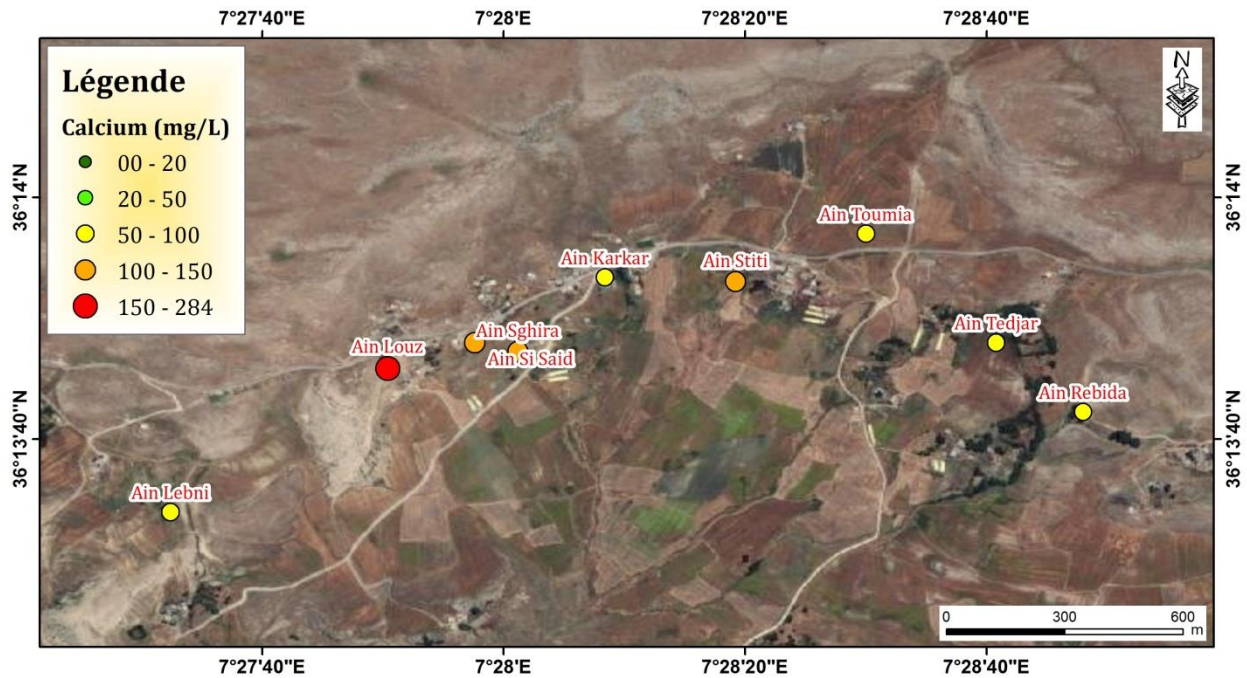


Fig.VI.6. Carte d'égalité de teneur en Calcium des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022)

Les teneurs du calcium sont très variables, où sa répartition est tributaire de la lithologie, les teneurs les plus élevées sont observées à l'ouest au niveau de la source d'Ain Louz là où la zone d'alimentation est constituée par les calcaires de djebel Mouilah. Les valeurs minimales à l'Est sont dues à l'éloignement relatif de ces sources de l'influence calcaire.

b. Magnésium (Mg^{+2})

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, il provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens (magnésite et dolomite). La variation des concentrations du magnésium est presque similaire à celle du calcium (Gaagai, 2009). La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale.

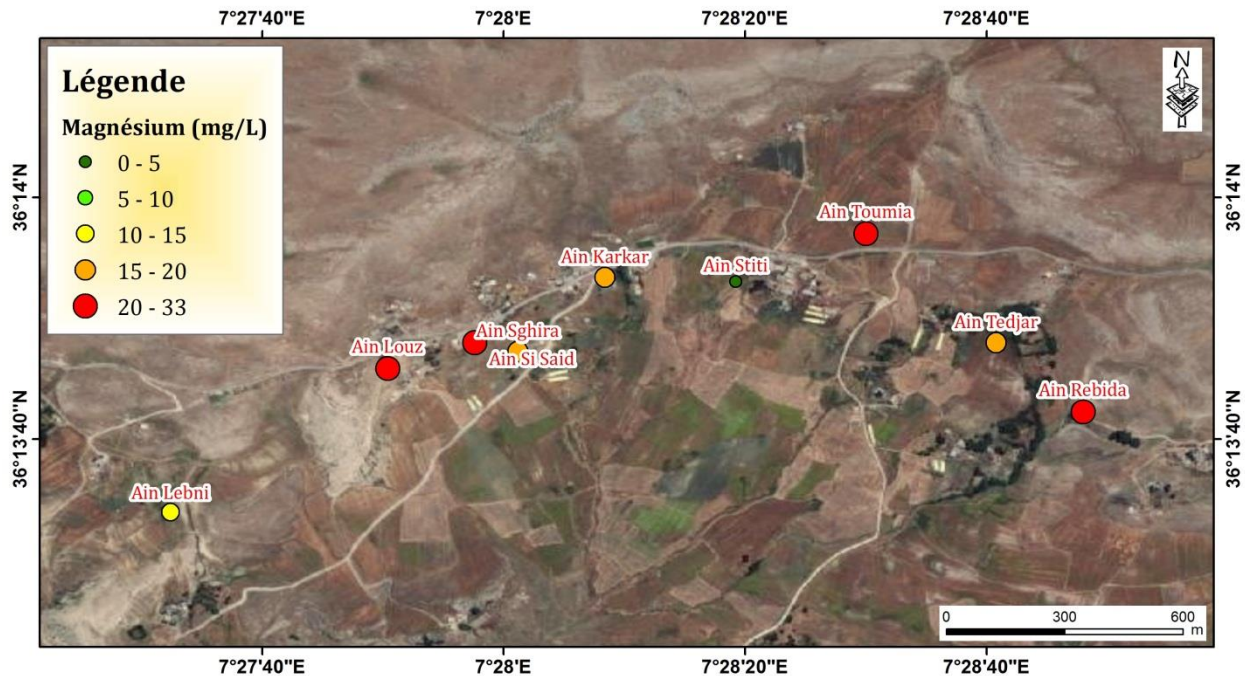


Fig. VI. 7. Carte d'iso-teneur en Magnésium des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022)

Les teneurs élevées en Mg^{++} sont inscrites au niveau des sources d'Ain Louz, Ain Sghira, Ain Toumia et Ain Rebiba. Il en résulte principalement de la dissolution des formations dolomitiques. Il peut également provenir de la dissolution de $MgSO_4$ (sulfate Magnésien) dans les terrains gypsifères.

c. Sodium (Na^+)

Le sodium est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à l'autre. L'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts évaporitiques et ceci par des phénomènes d'évaporation et les échanges de base (Djouadi, 2015). Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (Sari, 2014). Les concentrations des deux éléments (Na^+ et K^+) ont été mesurées au niveau de laboratoire du département de la chimie. A l'aide d'un spectrophotomètre à flamme après les processus de filtration.

- Les valeurs de Sodium (Na^+) obtenues sont ainsi représentées.

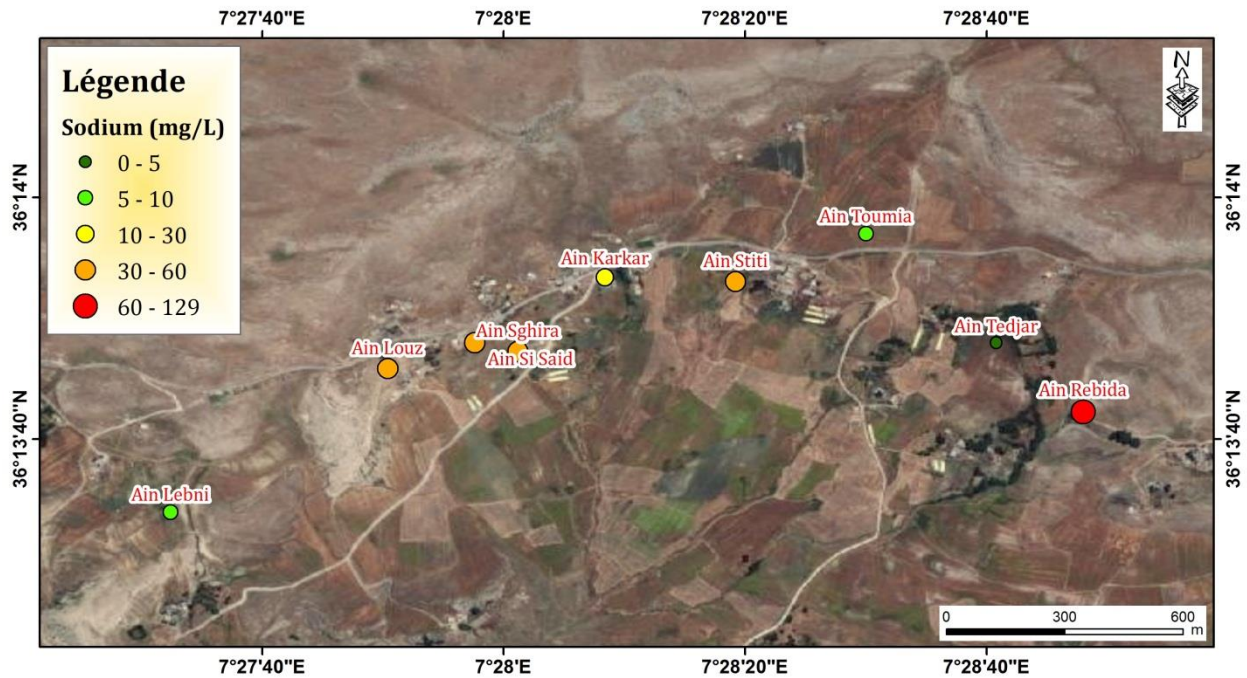


Fig .VI.8. Carte d'iso-teneur es Sodium des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022).

Les concentrations plus ou moins élevées caractérisant remarquablement la partie Sud- Est de la zone d'étude, sont due principalement à la dissolution des formations évaporitiques d'âge Eocène ou encore à des phénomènes d'échange de base liés à l'interaction entre les calcaires et les formations alluvionnaires présentes dans le lieu.

d. Potassium (K^+)

Le potassium (K^+) est assez abondant sur la terre, mais peu fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaé dans les sols, sur les argiles notamment. Les sources principales de potassium sont les roches cristallines, mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium, les évaporites (sylvinite), les argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques(NPK) (Zahi, 2014). La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques (Boukhrissa,2015). Les résultats sont représentés dans la carte suivante :

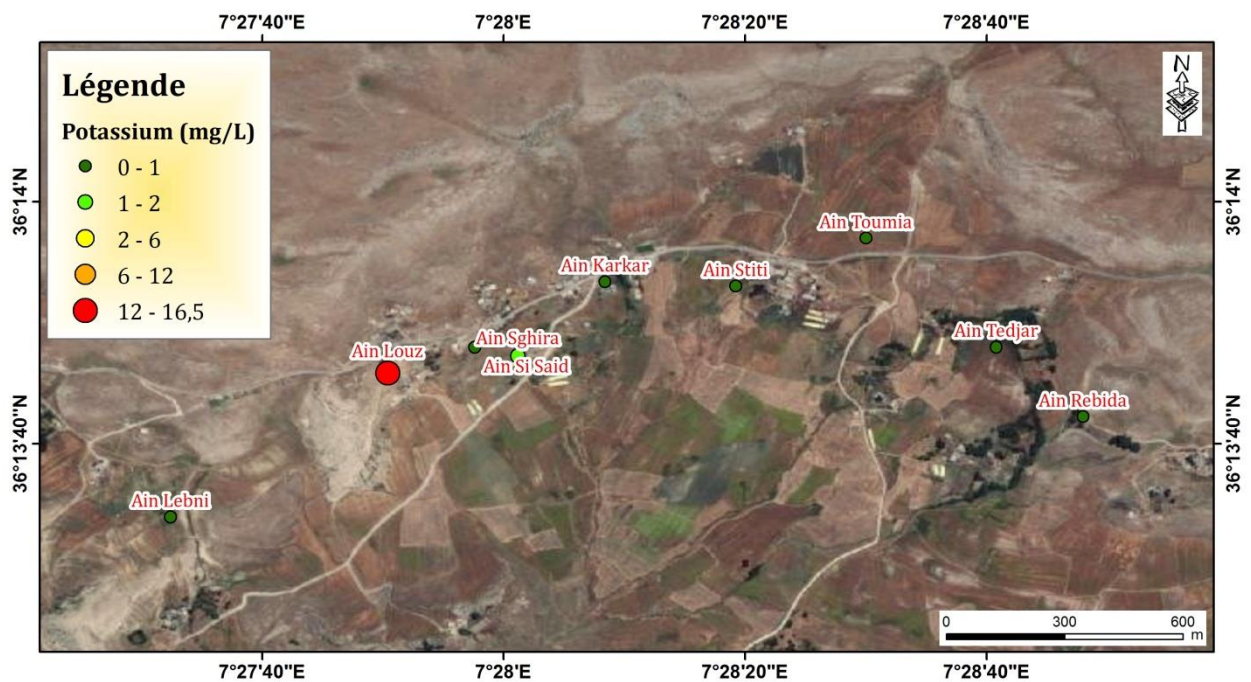


Fig.VI.9. Carte d'iso-teneur en Potassium des eaux de quelques sources dans la région de Sabaâ Ayoune (Avril 2022).

Les faibles teneurs de potassium dans la majorité du terrain d'étude sont due à l'absence de roches cristallines au niveau de la plaine d'une part et à la dominance des argiles qui adsorbent et recombinent le Potassium dans le sol d'autre part. Le léger excès au niveau de la partie Nord-ouest est lié probablement aux influences de la cimetière de Sabaâ Ayoune qui se situe à l'amont d'Ain Louz ou encore à des affleurements locaux des roches cristallines.

VI.3.2.2.3. Les éléments indicateurs de la pollution urbaine

a. Les nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux de surface est liée au contact direct avec les eaux des rejets urbains (Djema, 2013).

Les résultats obtenus montrent des valeurs remarquables, notamment au niveau des zones cultivables où l'activité agricole est intense et qui peut être à l'origine de cette augmentation, qui reste temporairement raisonnable par rapport aux normes de l'OMS, mais l'alarme de l'alerte doit être déclenché pour une utilisation rationnelle des fertilisants et d'engrais chimiques.

b. Les nitrites (NO₂⁻)

Les nitrites représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique (Djemai, 2013).

Le résultat est donné directement sur l'appareil en mg/l.

c. Ammonium (NH₄⁺)

Radical monovalent agissant comme un métal alcalin dans les sels ammoniacaux ; c'est la forme d'azote la plus toxique (Boukhrissa, 2015).

Aucune valeur de concentration n'a été détectée, signe d'une qualité non polluée. Le transfert naturel de l'azote dans les eaux se fait selon les conditions d'oxydoréduction et les réactions biologiques suivantes :

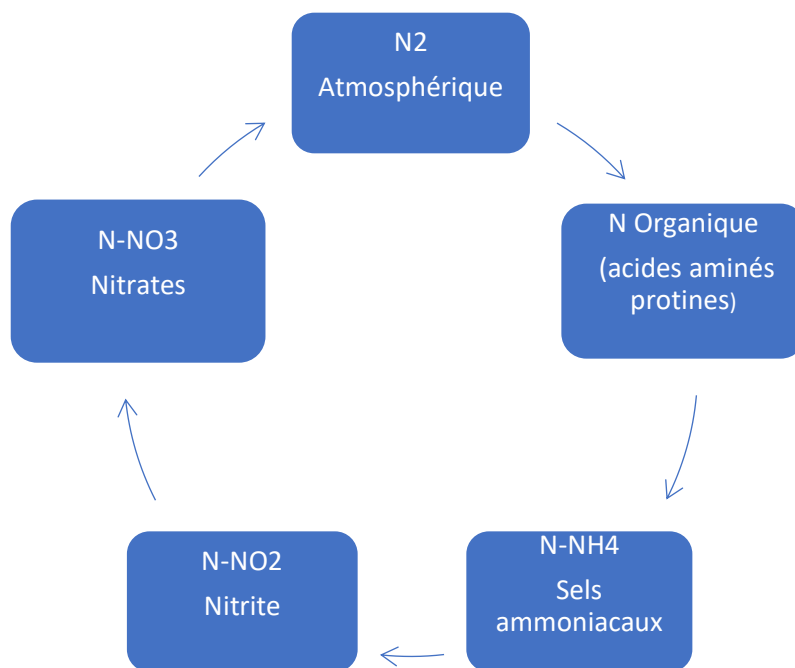


Fig. VI.10. Cycle de l'azote.

d. Phosphate (PO₄)

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (Sari, 2014)

VI.3.2.2.3. Les formules ioniques et faciès chimique

La formule ionique est obtenue en classant de gauche à droite par ordre décroissant les quantités en pourcentage des anions puis des cations, et la précision des résultats de chimie ont été déterminés en utilisant la balance ionique pour 9 points d'eau.

La région de Sabaâ Ayoune est caractérisées par un seul faciès chimique (**tableaux.VI. 4**) : Bicarbonaté calcique.

Tab.VI. 4. Formule ionique, Faciès chimique et Balance ionique

SOURCES	Formules ionique	faciès chimiques	Balance ionique
Ain Louz	$r_{HCO_3} > r_{Cl} > r_{NO_3} > r_{SO_4} - r_{Ca} > r_{(Na+K)} > r_{Mg}$.	Bicarbonatés calcique	8.01%
Ain Si Saïd	$r_{HCO_3} > r_{NO_3} > r_{Cl} > r_{SO_4} - r_{Ca} > r_{Mg} > r_{(Na+K)}$	Bicarbonatés calcique	6.17%
Ain Sghira	$r_{HCO_3} > r_{Cl} > r_{SO_4} - r_{Na} > r_{Ca} > r_{Mg} > r_{(Na+K)}$	Bicarbonatés calcique	8.55%
Ain Karkar	$r_{HCO_3} > r_{Cl} > r_{NO_3} > r_{SO_4} - r_{Ca} > r_{Mg} > r_{(Na+K)}$	Bicarbonatés calcique	8.65%
Ain Stiti	$r_{HCO_3} > r_{SO_4} > r_{Cl} > r_{NO_3} - r_{Ca} > r_{(Na+K)} > r_{Mg}$	Bicarbonatés calcique	9.54%
AinToumia	$r_{HCO_3} > r_{Cl} > r_{NO_3} > r_{SO_4} - r_{Ca} > r_{Mg} > r_{(Na+K)}$	Bicarbonatés calcique	4.20%
Ain Rebida	$r_{HCO_3} > r_{SO_4} > r_{Cl} > r_{NO_3} - r_{Ca} > r_{Mg} > r_{(Na+K)}$	Bicarbonatés calcique	7.38%
Ain Tedjar	$r_{HCO_3} > r_{Cl} > r_{NO_3} > r_{SO_4} - r_{Ca} > r_{Mg} > r_{(Na+K)}$	Bicarbonatés calcique	9.18%
Ain Lebni	$r_{HCO_3} > r_{Cl} > r_{NO_3} > r_{SO_4} - r_{Ca} > r_{Mg} > r_{(Na+K)}$	Bicarbonatés calcique	6.14%

VI.3.2.2.4. Représentation graphique des analyses chimiques

Pour bien visualiser les résultats des tests chimiques effectués sur les eaux souterraines des sources de la région de Sabaâ Ayoune, la représentation dans le diagramme de Piper et de Schoeller-Berkaloff s'est avérée utile.

a. Diagramme de piper

Le diagramme est bien adapté pour l'étude comparative d'un nombre important d'échantillons.

En plus le diagramme met en évidence l'évolution spatiale des faciès chimiques.

Les anions et les cations sont représentés dans deux diagrammes ternaires distincts, Les deux sont projetés dans un losange. Le losange est une matrice de passage du graphique des anions et des cations.

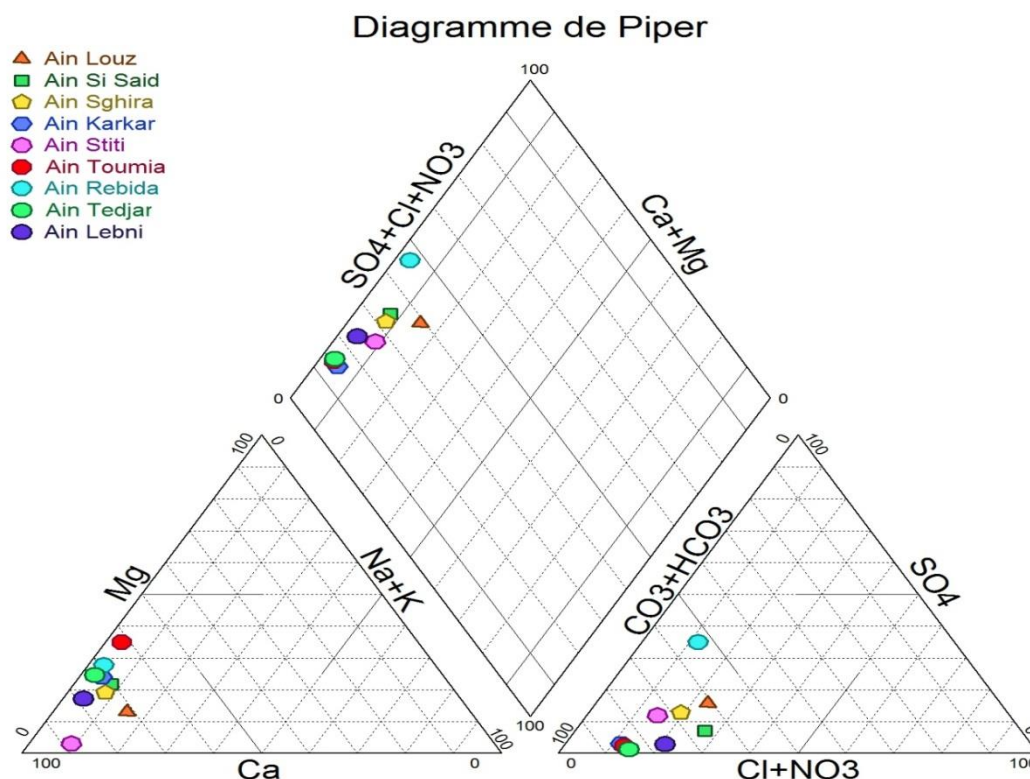


Fig. VI.11. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de sources de la région de Sabaâ Ayoune sur le diagramme de PIPER (Avril 2022)

La représentation des concentrations des points d'eau sur le diagramme de Piper, nous a permis de définir une seule famille de faciès chimique, c'est le Bicarbonaté calcique.

b. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme Schoeller-Berkaloff évalue l'évolution de l'eau du système aquifère et la relation entre les types de roches réservoir et la composition de l'eau. La représentation des analyses sur ce diagramme, dans lequel, on reporte directement les résultats des analyses en mg/l **fig.VI.12**, montre une variation des faciès chimiques des eaux de la nappe.

D'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff, les eaux étudiées appartiennent généralement à la classe : Admissible.

En termes de pourcentage, les eaux bicarbonatées calciques, Chloruré calcique et Bicarbonaté magnésien sont prédominantes (tableau VI.5).

Tab. VI.5. Faciès chimiques des eaux selon le diagramme de schoeller-berkallof

Faciès chimique	Les échantillons	Pourcentage %
Hydrogénocarbonatés- calciques	Toutes les sources	100%

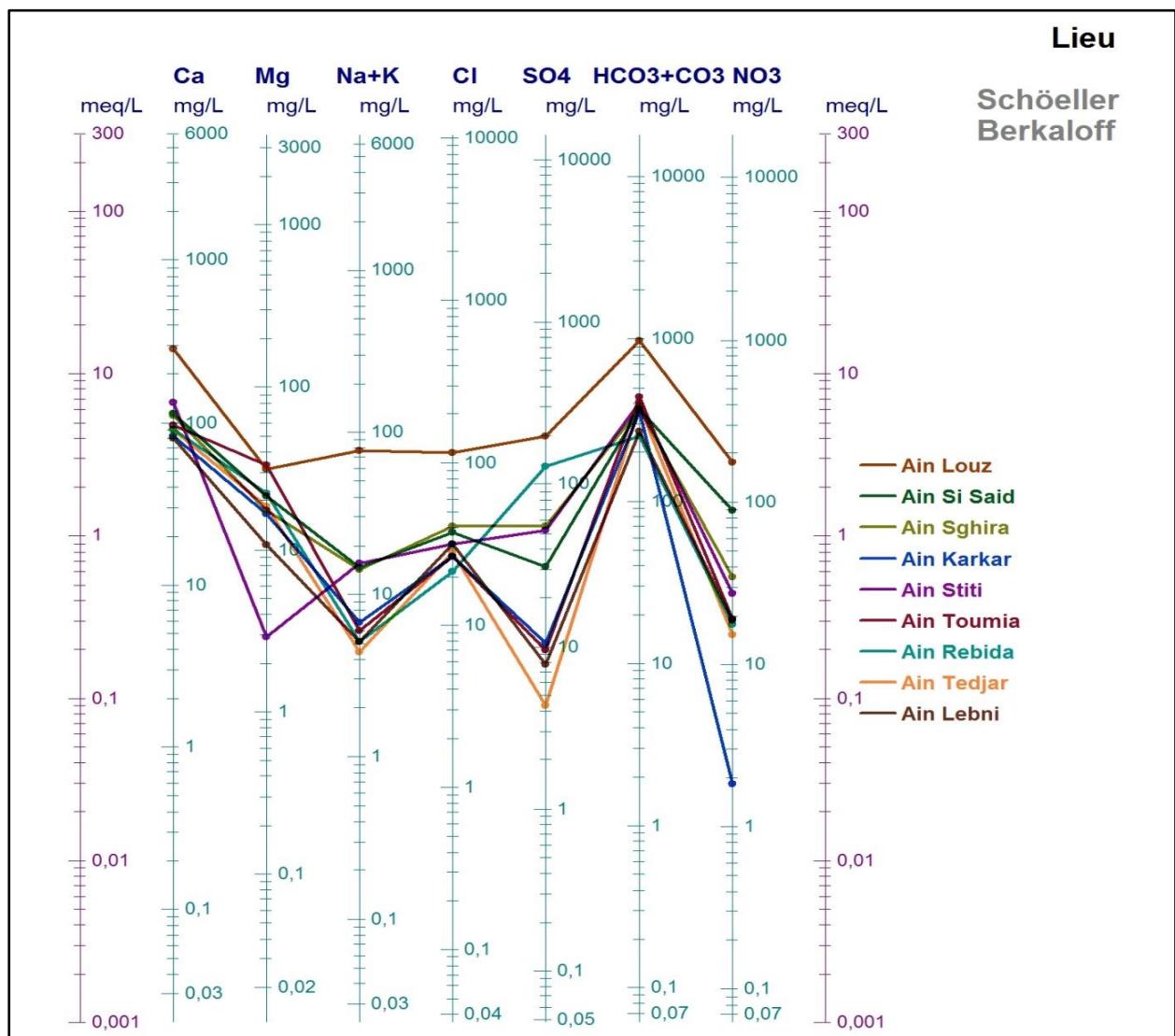


Fig.VI.12. Représentation graphique des faciès chimiques des eaux de sources de la région de Sabaâ Ayoune sur le diagramme Schoeller-Berkaloff (Avril 2022)

VI.3.2.2.5. Qualité des eaux et Normes de potabilité

La qualité naturelle des eaux peut être altérée d'une part par l'activité humaine et d'autre part par les conditions naturelles (climatiques, géologiques et topographiques). La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par la mesure des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine, elle pourra être utilisée à d'autres fins (irrigation, industrie, etc...) ou devra subir un traitement approprié pour retrouver sa potabilité (Zahi, 2014).

-Afin de traiter qualitativement les résultats de l'analyse effectuée, chaque paramètre de l'étude précédente a été classé selon l

a. Calcium Ca

Tab.VI.6. Classification des eaux et norme pour les calciums

Norme Ca (Algerie OMS)	Type d'eau	Sources correspondantes
100	0 -100	Ain Karkar ,Ain Toumia, Ain Lebida ,Ain Tedjar ,Ain Lebni
	>100	Ain Louz , Ain Si Said , Ain Sghira , Ain Stiti

Le tableau : montre que 05 sources présentent une bonne qualité avec une teneur en Calcium inférieure à 100 mg/l et 4 sources présentent des teneurs supérieur 100 mg/l.

b. Magnésium Mg

Tab VI.7. Classification des eaux et norme pour les magnésiums

Norme Mg (Algerie OMS)	Type d'eau	Sources correspondantes
50	0 - 50	Ain Louz ,Ain Si Said , Ain Sghira ,Ain Karkar ,Ain Stiti ,Ain Toumia, Ain Lebida ,Ain Tedjar ,Ain Lebni
	>50	/

c. Chlorure Cl**Tab VI.8.** Classification des eaux et norme pour les chlorures

Norme Cl (Algerie OMS)	Type d'eau	Sources correspondantes
200	0 - 200	Ain Louz ,Ain Si Said , Ain Sghira ,Ain Karkar ,Ain Stiti ,Ain Toumia, Ain Lebida ,Ain Tedjar ,Ain Lebni
	>200	/

Selon les teneurs en chlorures ; toutes les sources présentent une bonne qualité.

d. Bicarbonate HCO₃**Tab. VI .9.** Classification des eaux et norme pour les bicarbonates

Norme HCO ₃ (Algerie OMS)	Type d'eau	Sources correspondantes
250	0 - 250	Ain Louz , Ain Si Said , Ain Sghira , Ain Karkar , Ain Stiti ,Ain Toumia, Ain Lebida , Ain Tedjar , Ain Lebni
	>250	/

Dans le tab VI.9 : toutes les sources correspondent à la qualité bonne où les teneurs des bicarbonates restent dans la norme.

e. Conductivité électrique**Tab. VI.10.** Classification des eaux et normes de l'OMS pour les conductivités électriques

La conductivité (CU)	Type d'eau	Sources correspondantes
1000	≤ 1000	Ain Si Said , Ain Sghira , Ain Karkar , Ain Stiti , Ain Toumia, Ain Lebida , Ain Tedjar , Ain Lebni
	≥ 1000	Ain Louz

Selon le tableau représentant les normes de l’OMS pour la conductivité électrique des eaux, on note que la majorité des sources représentent une eau de bonne qualité mais la source de Ain Louz présente une valeur relativement élevée.

Tab. VI. 11. Classification des eaux et norme pour pH

(PH)	Type d'eau	Sources correspondantes
7	6,5 – 9	Ain Louz , Ain Si Said , Ain Sghira , Ain Karkar , Ain Stiti , Ain Toumia , Ain Lebida , Ain Tedjar , Ain Lebni
	>9	/

Selon le tableau ci-dessus la teneur en pH ne dépasse pas 9 mg/l donc sont de bonne qualité.

g. Dureté ou Titre Hydrotimétrique (TH)

La qualité de l'eau est caractérisée par sa dureté ou son titre Hydrotimétrique (TH), Elle est directement liée à la nature du terrain traversé. Mesuré par rapport à son contenu en Carbonate de calcium et carbonate de magnésium. Ils proviennent de calcaire ou de dolomite. La présence de CO₂ favorise cette dissolution. Le titre temporel est déterminé par La formule suivante:

$$TH = (r Ca^2 + rMg^2) * 5 \text{ °F}$$

Avec :

r Ca : quantité en réaction du calcium exprimée en méq/l.

r Mg : quantité en réaction du magnésium exprimée en méq/l

Tab .VI.12. la quantité de TH(f°)

SOURCES	TH (°F)
Ain Louz	83.56
Ain Si Saïd	37.18
Ain Sghira	34.78
Ain Karkar	27.18
Ain Stiti	34.38
Ain Toumia	37.58
Ain Rebida	31.98
Ain Tedjar	29.98
Ain Lebni	24.39

Tab. VI.13. Classification des eaux de sources d'Ain Sandel selon la dureté (TH en °F)

TH en °F	0 – 7	7_22	22 - 32	32-54	>54
Classe des eaux	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
N°d'échantillos	/	/	4	4	1
Pourcentage%	/	/	44.5%	44.5%	11%

Le tableau VI.13 montre que la majorité des valeurs correspondent à des eaux assez douces dures à très dures (TH >32°F).

VI.3.2.2.6. Aptitude des eaux de sources à l'irrigation

Une grande quantité de sels minéraux contenus dans l'eau aura des effets néfastes sur le sol et le sous-sol. Ils détruisent le développement des plantes et jouent un rôle dans le processus de perméabilité, en provoquant des réactions métaboliques, ils provoquent également des changements dans la structure du sol (en termes de perméabilité et d'aération), il affecte directement le développement des plantes. Parmi ces sels, on peut citer le cas du bicarbonate et du calcium, Une teneur élevée affectera la structure physique du sol et le développement du sol. Afin d'estimer l'impact de cette eau sur le sol et sur certaines cultures, nous essaierons d'évaluer s'ils sont aptes à l'irrigation. Pour ça, nous utilisons la méthode SAR (Richard Chart) pour distinguer la salinité des eaux.

Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relatives à la salinité de l'eau et l'indice d'adsorption du sodium (SAR) aussi appelé « pouvoir alcalisant », qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation. Le diagramme est découpé en quatre classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées).

Le SAR et le Na% est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau :

- **LE POURCENTAGE DE SODIUM (Na%)**

Le pourcentage en Sodium (Na%) est un paramètre important pour classer les échantillons d'eau souterraine à des fins d'irrigation. Il est calculé par la formule proposée par Doneen (1962);

$$NA\% = 100 * (Na + K) / (Ca + Mg + Na + K)$$

Avec Na⁺, k⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ sont en meq/l.

Tab. VI.14: Pourcentage de sodium (Na%)

SOURCES	NA%
Ain Louz	15.34
Ain Si Said	7.27
Ain Sghira	7.78
Ain Karak	4.84
Ain Stiti	8.74
Ain Toumia	3.2
Ain Rebida	3.29
Ain Tedjar	3.02
Ain Lebni	4.27

La présence du sodium avec les carbonates forme un sol alcalin; tandis que le sodium avec les chlorures forme un sol salin; les deux cas ne tolèrent pas la croissance des plantes. La classification de la qualité de l'eau d'irrigation basée sur les valeurs du pourcentage de sodium proposées par Wilcox (1955), avec des valeurs du pourcentage en sodium varient entre 3.02% et 14.34% (**Tab VI. 14**).

Selon le Tableau VI. 15 la classification de Wilcox (1955) suggère que les eaux de sources étudiées réparties en une seule classe : *c'est la classe 1* : ou les valeurs de Na% sont inférieures à 20% (eaux excellentes pour l'irrigation).

Tab.VI.15. Classification de Wilcox

Paramètre	Classe1 Excellente	Classe 2 Bonne	Classe 3 Admissible	Classe 4 Médiocre	Classe 5 mauvaise
Na%	<20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	>80

La combinaison du taux de sodium et conductivité électrique nous a permis d'élaborer le diagramme de Wilcox (1955). Il en ressort de ce diagramme que les eaux sont classées dans la catégorie des eaux excellentes à bonnes, donc aptes pour l'irrigation (Fig.VI.13.)

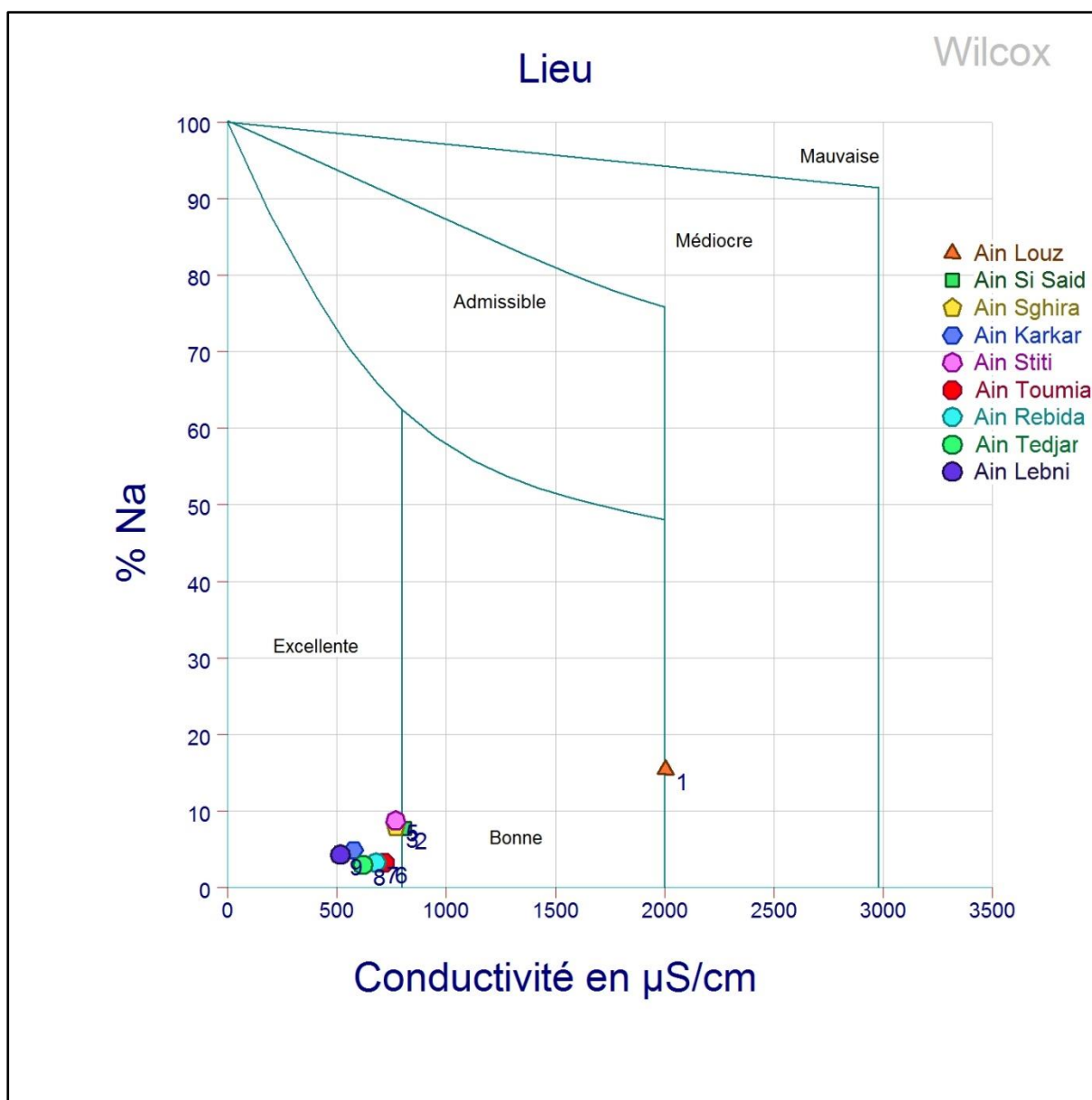


Fig.VI.13. Diagramme de Wilcox des eaux de sources dans la région de Sabaâ Ayoune

- **SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR)**

Le degré auquel l'eau d'irrigation a tendance à entrer dans la réaction d'échange de cations dans le sol peut être indiqué par le rapport d'adsorption de sodium (Richards 1954). Puisque le sodium remplace le calcium adsorbé et le magnésium dans le sol.

L'excès de sodium dans les eaux souterraines s'adsorbe sur les particules du sol, modifiant ainsi les propriétés du sol et réduisant également la perméabilité du sol (Ayers et Bronson, 1975). Selon la classification de Wilcox (1955), l'eau avec $SAR \leq 10$ est considérée comme

excellente, entre 10 et 18 est bonne ; entre 18 et 26 médiocres et supérieur à 26 est considéré Pour notre campagne (Avril 2022) et selon le diagramme de richards (figure .VI.13) on constate que les eaux des sources de la région de Sabaâ Ayoune présentent une qualité : mauvaise à admissible, chaque classe présente ses propres caractéristiques :

• **Mauvaise (C2S1)** : Eau ne convenant pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions.

• **Admissible (C3S1)** : Eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit être cependant contrôlée. Cette classe représente la majorité des affluents du sous bassin versant.

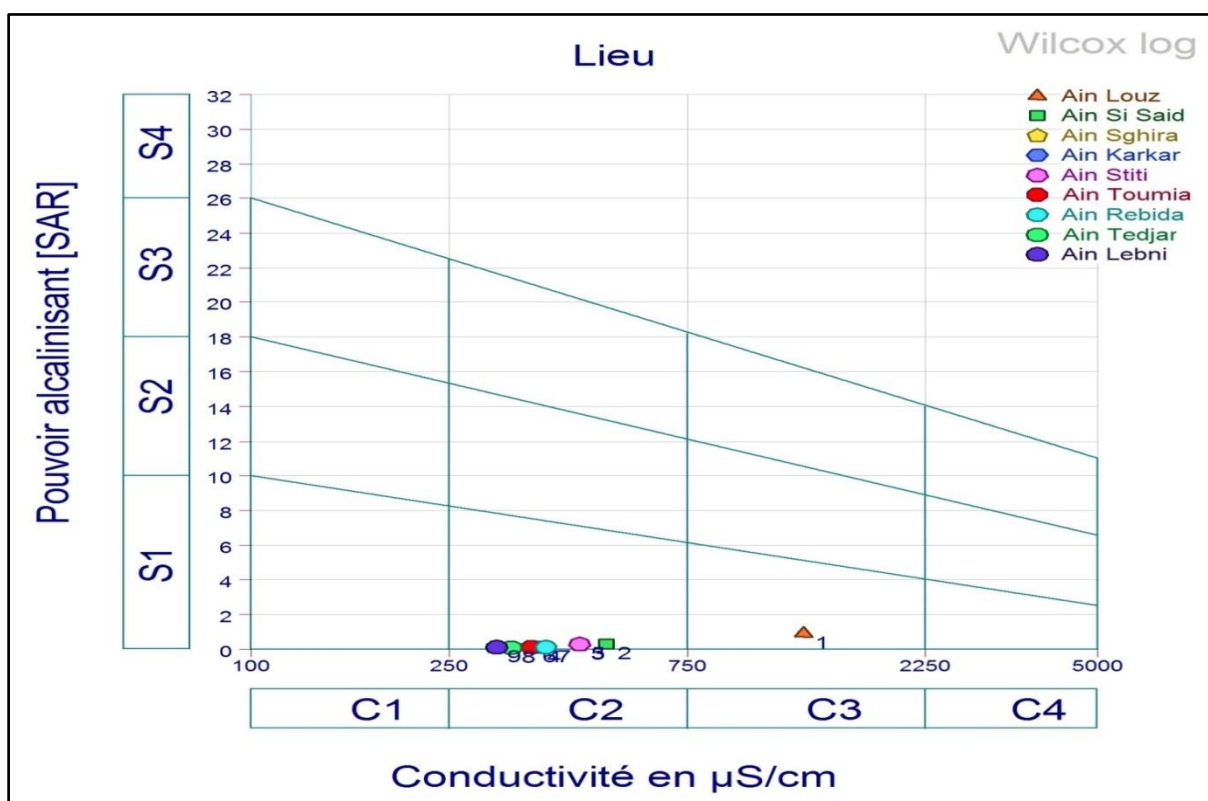


Fig.VI.14. Diagramme de Richards des eaux de source dans la région de Sabaâ Ayoune

V.9 Conclusion

L'étude hydrogéochimique des eaux, basée sur différents paramètres, montre que ces eaux possèdent des propriétés physico-chimiques diverses étroitement liées à leurs conditions de gisement, de circulation et d'alimentation. Le faciès prédominant est bicarbonaté calcique, caractérisé, parfois, par d'importantes minéralisations et de fortes températures. C'est à ce niveau, qu'on trouve les quantités relativement importantes d'éléments mineurs. Ce phénomène s'explique par l'existence de structures karstiques et évaporitiques, généralement affectées de failles actives, laissant échapper à la surface les eaux profondes. L'excès de certaines concentrations par endroit est à des anomalies locales de la lithologie ou de pollution.

La combinaison des facteurs ; lithologiques (lessivage des formations), géomorphologiques (pente forte), climatologiques (Climat semi-aride), hydrogéologiques (capacité de drainage) et anthropiques (utilisation des fertilisants dans l'agriculture et la situation des sources à l'aval de l'agglomération) est à l'origine de cette uniformité de faciès chimique (Bicarbonaté –calcique).

La mauvaise qualité de certaines sources nécessite un ajustement chimique pour un usage convenable.

Conclusion générale

Conclusion générale et recommandations

La région de Sabaâ Ayoune de la commune d'Ain Sandel Willaya de Guelma, se situe au Nord –Est algérien, elle fait partie de la zone externe de la chaîne des Maghrébides de l'Algérie orientale. Les formations qui affleurent dans la zone étudiée sont diversifiées. Leur âge compris entre le trias et le quaternaire.

Les phases tectoniques de la région sont caractérisées par deux grandes unités ; La nappe néritique constantinoise au Nord et la nappe de la Chebka des Sellaoua au Sud.

A vocation économique essentiellement agricole, et à climat semi-aride caractérisée par un été chaud et sec et un hiver froid, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux ; la précipitation et la température, avec des moyennes annuelles respectivement pour la période (1984 – 2021) de l'ordre de 491.19 mm et 16.18 C°.

L'interprétation du bilan hydrique selon la formule de C.W. Thornthwaite, donne une évapotranspiration réelle très élevées de l'ordre de 870.19 mm. La période de recharge s'effectue à partir du mois de Novembre et commence à s'épuiser au mois de Mai,

La formule de Tixeront-Berkaloff, donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 32.42 mm, l'infiltration a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique avec 78.21 mm

Le déficit agricole pour satisfaire les besoins en eaux d'irrigation des cultures est estimé à 489.65 mm à la station d'Ain Sandel.

Ce déficit agricole nécessite la valorisation, la préservation et l'exploitation rationnelle des ressources hydriques disponibles, ces dernières sont représentées d'une part ; par des eaux de surfaces où l'irrégularité des régimes d'écoulement des différents cours d'eau (due au climat semi-aride) ne remonte pas à la hauteur des possibilités agricoles disponibles ; soit en terme de superficie ou en terme de fertilité, et d'autre part par les eaux souterraines, où une partie des quelles apparaît à la surface sous formes des sources, ces dernières objets de notre étude, nous ont permis d'identifier les systèmes aquifères à l'origine de leurs émergences ; caractérisées par un système karstique au Nord de la zone d'étude à capacité hydrique prometteuse, et un système alluvionnaire au Sud à épaisseur faible et à importance hydrogéologique limitée.

L'interaction entre les deux systèmes, le prolongement des calcaires sous les alluvions ainsi que l'allure topographique raide ont été à l'origine de l'importance et de la constance du débit des sources avales, au niveau des quelles la carte piézométrique a révélé des zones favorables à l'implantation de captages d'eau, en outre ces sources méritent d'être exploitées par l'intermédiaire des réservoirs de stockage à grande échelle.

L'étude hydrogéochimique des eaux, basée sur différents paramètres, montre que ces eaux possèdent des propriétés physico-chimiques diverses étroitement liées à leurs conditions de gisement, de circulation et d'alimentation. Le faciès prédominant est bicarbonaté calcique. Ce phénomène s'explique par l'existence de structures karstiques et évaporitiques, généralement affectées de failles actives, laissant échapper à la surface les eaux profondes. L'excès de certaines concentrations par endroit est à des anomalies locales de la lithologie ou de pollution.

La combinaison des facteurs ; lithologiques (lessivage des formations), géomorphologiques (pente forte), climatologiques (Climat semi-aride), hydrogéologiques (capacité de drainage) et anthropiques (utilisation des fertilisants dans l'agriculture et la situation des sources à l'aval de l'agglomération) est à l'origine de cette uniformité de faciès chimique (Bicarbonaté –calcique).

La comparaison des teneurs enregistrées dans les eaux étudiées et celles fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé nous montre que la majorité de ces éléments présentent des taux ne dépassant généralement pas les limites dictées pour les eaux destinées à la consommation. Exceptant les quelques excès de minéralisation liés aux divers facteurs.

La mauvaise qualité de certaines sources nécessite un ajustement chimique pour un usage convenable.

Recommandations

A l'issue de cette étude, les recommandations ci-dessous visent à élucider certains problèmes qui ont été observés, à préciser les incertitudes résultant de l'étude actuelle et à proposer des interventions en conséquence :

- ✓ La réalisation d'une étude géophysique pour confirmer nos résultats et permettant de localiser les principaux horizons réservoirs, pour une éventuelle exploitation par l'implantation des forages.
- ✓ La réalisation des réservoirs de stockage à grande échelle pour une meilleure exploitation.
- ✓ L'organisation des campagnes cycliques de contrôle chimique des différentes sources.
- ✓ -Encourager les agriculteurs à améliorer leurs pratiques agricoles, puisqu'un lien significatif a été établi entre la présence de nitrates dans l'eau des puits et la zone d'agriculture intensive. Ce résultat est en soi un avertissement, puisque le seuil qui a été révélé atteste de l'influence indéniable des activités anthropiques.
- ✓ L'arrêt de l'enterrement au niveau du cimetière qui se trouve en amont des sources, en lui choisissant un site loin des zones vulnérables à la pollution, et ce pour éviter leurs effets sur les ressources hydriques.
- ✓ La nécessité d'une étude agronomique pour le choix des plantes à cultiver.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- ✓ **Aliat H. (2016).** Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région de Taibet (SE Algérie).
Mémoire de master, Univ. Ouargla, 74p
- ✓ **ANDI 2013 :** Agence Nationale de Développement de l'Investissement de la wilaya de Guelma.
- ✓ **Brian, K. (1919).** Classification of Springs : The Journal of Geology 27 (7), pp 522-561.
- ✓ **Boukhrissa M.L. (2015).** Collecte des rejets et système d'épuration des eaux usées de la commune d'Oum Toub wilaya de Skikda. Mémoire du master, Univ. Bejaia, 91p
- ✓ **Chouabbi A., (1987).** Etude géologique de la région de Hammam N'bails Sud Est de Guelma-Constantine, Algérie, un secteur des Maghrébides, th. Univ. Toulouse. 35-49.
- ✓ **Debiche T. H. 2002 :** Evolution de la qualité des eaux (salinité et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord – Est Algérien. Thèse de doctorat, Université de Franche Comte. 235 p.
- ✓ **Djemai I. (2013).** Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface du barrage de Foum el Gueiss (Est-Algérie). Mémoire de magister, Univ. Batna, 105p.
- ✓ **Djorfi S., S. Guechi, L. Beloulou and K. Lahmar (2017).** On the water quality degradation of the Séraïdi springs, Edough mountain (NE of Algeria), Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, Vol. 10, No. 3, p. 194-203.
- ✓ **Djouadi A. (2015).** Etude hydrochimique des eaux de la région de Gourara (Timimoune) Algérie.
Mémoire de master, Univ. Khemis Miliana, 82p.
- ✓ **D Ro Branson, GE Blau, HC Alexander, WB Neely 1975 ; Bioconcentration** of 2, 2', 4, 4'-tetrachlorobiphenyl in rainbow trout as measured by an accelerated test. Transactions of the American Fisheries Society 104 (4), 785-792, 1975.
- ✓ **Durand-Delga, M., 1969.** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berberie. Serv. Géol. Alger. N.S., 39 : 89-131.
- ✓ **Fetter, C. W. (2001).** Applied Hydrogeology: Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall.
- ✓ **Jean-Pierre Bouillin Toulouse, 1977 ; Géologie** alpine de la Petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia (Algérie).
- ✓ **Hidaoui A. (2015).** Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des Foggaras de la région d'Adrar (Touat). Mémoire de master, Univ. Tlemcen, 132p.
- ✓ **HOCINE SOUAAD, ;** contribution à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux de surfaces de l'oued Seybouse.
- ✓ **Gaagai A. (2009).** Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar. **Kresic, N. (2010).** Types and Classifications of Spring dans N. Kresic et Z. Stevanovic (eds), Groundwater Hydrology of Springs Elsevier Burlington, p. 31-86.

- ✓ **Manga, M. (2001).** Using springs to study groundwater flow and active geologic processes: annual Review of Earth and Planetary Sciences 29: 201-228.
- ✓ **Mayet J. (1994).** La pratique de l'eau : traitement de l'eau aux points d'utilisation, comportement de l'eau dans les installations, origine des désordres et résolutions. 2^{ème} édition. Le Moniteur, 382 p.
- ✓ **Maurel A. (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. 2^{ème} édition. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- ✓ **M Durand-Delga, JM Fontboté 1980 ;** Le cadre structural de la Méditerranée occidentale. XXVIth Intern. Geological Congress. Colloque C5 : Géologie des chaînes alpines issues de la téthys Mém. Bur. Rech. Géol. Min., Orléans 11, 65-85,
- ✓ **M Gramont, JP Lombard 1966 ;** observations stratigraphiques et tectoniques dans la région du djebel djaffa. (feuille ain regada-98-au 1/50.000).
- ✓ **RAOULT (1972) : J. F. (1972).** Précisions sur le flysch massylien : série stratigraphique, variation de faciès, nature du matériel remanié (Nord Constantinois, Algérie). Bulletin du Musée d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord. T63.
- ✓ **Richards LA, 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA Handbook.
- ✓ **Raoult. J.F, 1974 :** Géologie de la chaîne numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mémoire de la société géologique de France. 161 pages.
- ✓ **Safia Habila, Smail Rapporteur Khelili ;** Etude de l'impact du barrage Béni Haroun sur l'environnement : effets écotoxicologiques .
- ✓ **Sari H., 2014.** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen). Mémoire de master, Univ. Tlemcen, 92p.
- ✓ **Schoeller, H. 1934.** Les échanges de bases dans les eaux souterraines ; trois exemples en Tunisie. Bull. Soc. Géol. Fr. 4, 389-420.
- ✓ **Vila (1980) :** la chaîne alpine Algérie Orientale des confins ALGERO - TUNISIENS – thèse, université Pierre et Marie-Curie Paris 665 p
- ✓ **Walter Wildi 1983 ;** La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène ; Revue de géographie physique et de géologie dynamique 24 (3), 201-297.
- ✓ **Zahi F., 2014 :** Contribution à l'étude hydrochimique du sous bassin versant du lac fetzara (Nord-Est algerien). Approche geochimique et fonctionnement des sols et des eaux. Thèse Doctorat, Univ. Badji Mokhtar-Annaba, 193p.

ANNEXES

Annexes

Annexe 1 : Variation des valeurs de rapport (P/T)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
P(mm)	40.84	41.79	64.8	81.75	47.76	33.3	72.6	53.49	29.81	15.57	5.1	4.36
T°	23.04	18.2	12.01	7.55	6.55	10.17	9.28	13.15	16.74	22.98	26.7	27.81
P/T	1.77	2.29	5.39	10.82	7.29	3.27	7.85	4.06	1.78	0.67	0.19	0.15

Annexe 2 : Indice mensuel d'aridité (I)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Annuel
P(mm)	40.84	41.79	64.8	81.75	47.76	33.3	72.6	53.49	29.81	15.57	5.1	4.36	491.17
T°	23.04	18.2	12.01	7.55	6.55	10.17	9.28	13.15	16.74	22.98	26.7	27.81	16.18
I	10.08	7.67	3.76	1.85	1.49	2.9	2.52	4.3	6.21	10.01	12.63	13.43	76.49

Annexe 3 : Inventaire des différentes sources de la région d'Ain Sandel.

Origine de l'émergence (nappe)	N°	Nom de la Source	Cordonnées géographiques			Débit hautes eaux Avril 2022 (l/s)	Débit Basses eaux Octobre 2021 (l/s)	Analyse chimique	Usage
			X (Est)	Y (Nord)	Z (m)				
Karstiques	S1	Ain louz	7.464	36.2294	1165	0.05	0	OUI	AEP
	S 2	Ain si said	7.466	36.2300	1160	0.12	0.08	OUI	AEP+ irr
	S 3	Ain sghira	7.467	36.2298	1170	0.5	0.4	OUI	AEP
	S 4	Ain karkar	7.469	36.2315	1165	3.2	3	OUI	AEP
	S 5	Ain stiti	7.472	36.2314	1160	0.34	0.1	OUI	AEP
	S 6	Ain toumia	7.475	36.2325	1178	0.24	0.23	OUI	AEP
	S7	Ain Rebiba	7.480	36.2284	1163	2.3	0.5	OUI	AEP+ irr
	S8	Ain Tedjar	7.478	36.230	1174	3	2.9	OUI	AEP+ irr
Formations Alluvionnaires	S9	Ain lebni	7.459	36.2261	1122	0.5	0.2	OUI	AEP
	S10	Ain baida	7.4592	36.2238	1040	4	3.8	NON	AEP+ irr
	S11	Ain stiti said	7.4672	36.2193	1020	2.5	2.3	NON	AEP+ irr
	S12	Rousse laâyone	7.4632	36.2203	964	4.5	4.2	NON	AEP+ irr

Annexe 4 : Les données de diagramme de Piper et Schoeller-Berkaloff

les sorces	CE	T	PH	Ca	Mg	Na	K	Cl	Hco3	So4	No3
Ain Louz	1287	15.5	8.3	283.766	31.104	60.1	16.5	115.375	976	198.301	177.256
Ain Si Said	518	15.1	7.88	113.827	21.384	14	0.6	37.275	366	31.138	88.254
Ain Sghira	457	14.3	7.6	110.620	17.496	12.4	1.9	40.825	372.1	55.204	34.485
Ain Karkar	373	15.2	7.88	81.763	16.524	5.8	1	26.625	353.8	10.488	1.820
Ain Stiti	456	15.5	7.71	133.065	2.916	14.6	1	31.95	408.7	52.114	27.346
Ain Toumia	365	15.5	7.73	96.192	33.048	5.7	0.3	26.625	439.2	9.511	18.949
Ain Rebida	392	16.2	7.79	91.382	22.356	4.9	0.2	21.3	250.1	128.866	17.577
Ain Tedjar	332	17.4	7.67	89.779	18.468	4.2	0.2	28.4	384.301	4.307	15.296
Ain Lebni	311	16.3	7.64	80.16	10.692	4.9	0.2	31.95	268.402	7.722	18.817

Annexe 5 : Norme OMS de potabilité d'eau (2017).

Paramètre	Norme
Potentiel d'hydrogène (PH)	6.5-9
Calcium Ca ²⁺ (mg/l)	200
Magnésium Mg ²⁺ (mg/l)	50
Sodium Na ⁺ (mg/l)	200
Potassium K ⁺ (mg/l)	12
Dureté TH (°F)	< 30
Chlorure Cl ⁻ (mg/l)	250
Sulfates SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250
Bicarbonates HCO ₃ ⁻ (mg/l)	250
Conductivité (µs/cm)	1000

