الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جـــامعـــة محمد الصديق بن يحيى جـيـــجـــــل

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

كليـة عـــلوم الطـبيعـة و الحـــياة
قســـــم : 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 hydrogéologique et hydrochimique des eaux des sources de la région d'Ain Larbi (Wilaya de Guelma, Nord-Est algérien)

Membres de Jury

Président: **Zahi Faouzi**
Examinateur: **Rihia Djamel**
Encadrant : **Djorfi Samir**

Présenté par

M^{elle}: Belaz khawla
M^{elle}: Kemouche Naila

Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque) :……

REMERCIEMENTS

Nous tenons, d'abord à remercier en premier lieu et avant tout, notre DIEU le tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour effectuer le présent travail.

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences

Nous remercions profondément la personne qui nous a apporté un énorme soutien : Monsieur Djorfi Samir, d'avoir encadré et suivi notre travail de près, avec sa rigueur scientifique, ses conseils durant l'évolution de ce travail ainsi qu'avec sa gentillesse.

Nous remercions messieurs Mahdid souhil , débieche taha hocine et madame donia zad ben abbas pour leurs conseils et orientations et à ikram , selsabil , inas , oumaima et sofia pour leur aide et leur coopération avec nous .

Aux membres du jury, pour avoir accepté de consacrer une partie de leurs précieux temps afin d'examiner et évaluer notre travail

A nos familles pour nous avoir donné amour, soutien et encouragement tout au long de nos études.

Nous remercions tous les professeurs du département des sciences de la terre et de l'univers.

Enfin, nous offrons tous les remerciements, l'amour et toutes les belles phrases à nos amis ou nous disons à nos sœurs oumaima , amel , hania ,mimi ,houyam et amira . Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés et encouragés de près ou de loin pour réaliser ce que nous avons atteint aujourd'hui et conclure avec ce projet de fin d'étude

Dédicace

Avec joie, fierté et respect, je dédie ce mémoire :

À mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi,

pour leur amour et leur tendresse et leurs sacrifices.

À ma chère grande sœur Ahlam

À mon binôme Naila et ça famille kemouche.

Je présente une dédicace spéciale : à mon petit chat qui a était avec moi la plupart du temps

Une dédicace spéciale également à mon marie

À mes sœurs de la résidence universitaire : Mimi, Houyam, Oumaima, Amel et Hania

Merci pour tous les bons moments qu'on a partagé ensemble.

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

À toute la promotion de l'Hydrogéologie.

Khawla

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverai jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'âme de ma mère, que Dieu ait pitié de toi

A mon très cher père : Abd Alhadi

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager,

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection

A mes très chers frères Ahmed Yacine et Oussama

Et mes belles sœurs Mariam et Imane et leurs enfants Abd Essamed,

Youcef Yahia, Touta, Safwa et Alava

Pour ses soutiens moraux, amours et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mes chère : Hidaya et Lina

Qui m'a aidée et supportée dans les moments difficiles

A mon cher binôme khawla. Et sa famille

Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies

A mes chères amis (es), Hania, Mimi, Hoyame, Humaima, Amel, Romaissa

A tous les membres de ma famille et toutes personnes qui porte le nom Kemouche

Naila

Résumé

Ce travail de recherche en hydrogéologie entre dans le cadre des projets de fin d'étude du Master, dont le thème vise à trouver des solutions pour une problématique de déséquilibre obstacle du développement socioéconomique entre les ressources hydriques et les perspectives économiques, Le site d'étude est la commune d'Ain Larbi situant au Nord –Est algérien et appartenant aux hautes plaines constantinoises, possède, actuellement, des ressources hydriques relativement limitées, à savoir ; les eaux de surface présentées par Oued Cherf actuellement en déficit d'écoulement flagrant, et 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, favorisé par l'abondance des terres cultivables et fertiles, 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 remède de ce déséquilibre passe obligatoirement par une ; évaluation, valorisation, et surtout une bonne exploitation de ces ressources.

Les démarches suivies dans la réalisation de ce travail nous ont permis d'obtenir les résultats suivants : Le classement de Dix (10) sources comme importantes qui méritent d'être exploitées par des stockages à grande échelle.

Le système aquifère karstique d'âge Eocène possède d'énormes capacités d'exploitation par des forages.

La qualité des eaux des sources est optimale pour tous les usagers, notamment pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation.

Mots-clés ; eaux souterraines, source, eau potable, hydrogéologie, karst, irrigation.

ملخص

يقع هذا العمل البحثي في الهيدروجيولوجيا في إطار مشاريع نهاية الدراسة للماستر، ويهدف موضوعها إلى إيجاد حلول لمشكلة عدم التوازن، وهي عقبة أمام التنمية الاجتماعية والاقتصادية بين موارد المياه والآفاق الاقتصادية. موقع الدراسة هي بلدية عين العربي الواقعة في شمال شرق الجزائر وتنتمي إلى سهول قسنطينة المرتفعة، ولديها حاليًا موارد مائية محدودة نسبيًا، وهي؛ المياه السطحية الممثلة في وادي الشارف. حاليًا تعاني من عجز صارخ في التدفق، والمياه الجوفية لطبقة الميوسان والبليوسان والرابع بالإضافة إلى طبقة المياه الجوفية للايوسان.

في السنوات الأخيرة، حدثت تغيرات مناخية ملحوظة بالإضافة إلى طفرة اقتصادية، خاصة زراعية، بفضل وفرة الأراضي الصالحة للزراعة والأراضي الخصبة، مما أدى، من ناحية، إلى زيادة الاحتياجات المائية وتسبب في تدهور جودة المياه، من ناحية أخرى. علاج هذا الخلل ينطوي بالضرورة على؛ التقييم والتثمين والاستغلال الجيد لهذه الموارد على وجه الخصوص.

سمحت لنا الخطوات المتبعة في تحقيق هذا العمل بالحصول على النتائج التالية: تصنيف عشرة (10) ينابيع مهمة تستحق الاستغلال من خلال التخزين الواسع.

يتمتع نظام الخزان الجوفي الكارستي في عصر الإيوسين بقدرات هائلة للاستغلال عن طريق الابار العميقة.

جودة مياه الينابيع هي الأمثل لجميع المستخدمين، وخاصة لإمدادات مياه الشرب والري.

الكلمات المفتاحية؛ المياه الجوفية، الينبوع، مياه الشرب، الجيولوجيا المائية، الكارستية، الري.

Abstract

This research work in hydrogeology falls within the framework of the end-of-study projects of the Master, the theme of which aims to find solutions for a problem of imbalance, an obstacle to socio-economic development between water resources and economic prospects. the study site is the commune of Ain Larbi located in the North-East of Algeria and belonging to the high plains of Constantine, currently has relatively limited water resources, namely; the surface water presented by Oued Cherf currently in flagrant flow deficit and 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, favored by the abundance of cultivable and fertile land, have taken place, which has led, on the one hand, to an increase in water needs and caused, on the other hand, the degradation of water quality. The remedy for this imbalance necessarily involves one; evaluation, valorization, and especially a good exploitation of these resources.

The steps followed in the realization of this work allowed us to obtain the following results: The classification of Ten (10) sources as important which deserve to be exploited by large-scale storage.

The karstic aquifer system of Eocene age has enormous capacities for exploitation by drilling.

The quality of spring water is optimal for all users, especially for drinking water supply and irrigation.

Key words: groundwater, spring, drinking water, hydrogeology, karst, irrigation.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....

Dédicace .....

Résumé .....

Liste des figures ..... ***vii***

Liste des tableaux ..... ***vii***

Liste des abréviations : ..... ***vii***

Introduction générale **1**

I. Chapitre I :Recherche bibliographique

I.1 . Généralités 3

I.2 . Classification des sources 3

I.2.1 .Classification des sources selon meinzer (1923) 3

I.2.2. Classification des sources selon springer et Stevens (2009) 3

I.2.3. Classification des sources selon kresic (2010) 4

I.3. Typologie des sources 5

I.3.1. Sources liées à une nappe libre 5

I.3.1.1. Source de débordement 5

I.3.1.2. Source de dépression 5

I.3.1.3 Source de déversement 6

I.3.2 .Sources liées à une nappe captive 6

I.3.3 .Sources liées à une faille 6

I.3.4 Source karstique 7

I.4. Conclusion 8

II. Chapitre II :Cadre physique de la zone d'étude .....

II.1.Introduction 9

II.2. Situation géographique de la zone d'étude 9

II.3. Aspect Géomorphologique 11

II.4 .Contexte socio-économique 14

II.5 .Conclusion 15

III. Chapitre III :Cadre géologique et structurale .....

III.1. Introduction 16

III.2 .Géologie régional 16

III.2.1. Le domaine des flysch Crétacés-Paléogènes 16

III.2.1.1. Le flysch mauritanien 16

III.2.1.2. Le flysch massylien 16

III.2.2. Le domaine tellien 17

III.2.2.1. La série ultra tellienne 17

III.2.2.2. Les séries Telliennes sensu stricto 17

III.3. Géologie locale 18

III.3.1 .Stratigraphie et lithologie : 19

III.3.2. La tectonique 20

III.4. Conclusion : 21

IV.Chapitre IV : Etude Hydroclimatologique .....

IV.1. Introduction 22

IV.2. Paramètres climatiques 23

IV.2.1. Les précipitations 23

IV.2.1.1. Précipitations moyennes mensuelles 23

IV.2.1.2. Précipitations moyennes saisonnières 25

IV.2.1.3. Coefficient pluviométrique (Cp) 26

IV.2.2. Les températures 29

IV.2.2.1. Température moyennes mensuelles 29

*IV.2.*3 . Rythme climatique 30

IV.2.3.1. Diagramme pluviothermique (Ombro-thermique) : 30

IV.2.3.2 .Indice d'aridité annuel d'E. Martonne : 31

IV.2.4. Le bilan hydrique 32

IV.2.4.1. Estimation de evapotranspiration.....33
IV.2.4.2. Etablissement du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite.....35
IV.2.4.3. Interprétation du bilan hydrique.....37
IV.2.5. Estimation du ruissellement.....39
IV.2.6. Estimation de l'infiltration.....39
IV.3. Conclusion.....40
V.Chapitre V : Etude hydrogéologique.....
V.1. Introduction.....41
V.2. Ressources hydriques :.....41
V.2.1. Les eaux de surface.....42
V.2.2. Les eaux souterraines.....42
V.3. Inventaire des points d'eau :.....43
V.3.1. Les forages :.....43
V.3.2. Les puits :.....43
V.3.3. Les sources :.....44
V.4. Identification des nappes.....48
V.4.1. Aquifère à nappe libre dans les dépôts du quaternaires :.....50
V.4.2. Aquifère à nappe karstique dans les dépôts de l'Eocène :.....50
V.4.3. Aquifère à nappe libre dans les formations argilo-gréseuses.....50
V.4.4. Les sources thermales.....51
V.5. Alimentation des nappes.....51
V.8 .Le choix des sources importantes et les zones favorables à l'implantation des captages..52
V.8.1 .Conditions hydrogéologiques des différentes émergences.....53
V.9. Conclusion.....56
VI. Chapitre VI :Etude hydrochimique.....
VI.1. Introduction.....57
VI.2. Mode de travail.....57
VI.2.1. Mesures in situ.....57

VI.2.2 .Matériel et méthodes 58

VI.3. Qualité des eaux souterraines 58

VI.3.1. Paramètres physiques 58

VI.3.2. Paramètres chimiques (Analyses au laboratoire) 61

VI.3.2.1. Les éléments majeurs 61

VI.3.2.2.Les éléments indicateurs de la pollution urbaine : 67

VI.3.2.3. Les formules ioniques et faciès chimique : 68

VI.4. Représentation graphique des analyses chimiques 68

VI.5. Conclusion : 69

Conclusion générale 71

Références bibliographiques 74

Annexes I

LISTE DES FIGURES

Fig I.1. Source de débordement (Beauchamp, 2006) 5
Fig I.2. source de dépression (d'émergence). 6
Fig I.3. . source de faille ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Fig II.1.Situation géographique et administrative de la commune d'Ain Larbi 10
Fig II.2. Géomorphologie de la région de Guelma 11
Fig II.3. Le bassin versant de la Seybouse 12
Fig II.4. Réseau hydrographique de la région d'Ain Larbi 14
Fig III.1. Carte structurale schématique de la chaîne des Maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes ; d'après Durand Delga et Fontboté (1980). 18
Fig III.2. Cartes géologiques de la zone d'étude 19
Fig IV.1. Evolution des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Makhloof (1986-2020) 24
Fig IV.2. Evolution des précipitations interannuelles. Station d'Ain Makhloof (1986-2020). 25
Fig IV.3. Précipitations moyennes saisonnières en % la station d'Ain Makhloof (1986-2020) ... 26
Fig IV.4 .Evolution des températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Makhlouf (1986-2020) 30
Fig IV.5. Diagramme Ombrothermique-station d'Ain Makhloof (1986-2020). 31
Fig IV.6. Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Ain Makhloof (1986-2020) 38
Fig IV.7. Variation mensuelles des résultats du bilan hydrique 38
Fig V.1. Carte d'inventaire des principales sources dans le territoire communale d'Ain Larbi ... 48
Fig V.2. Carte schématique de la répartition des formations géologiques avec emplacement de la coupe hydrogéologique AB 49
Fig V.3. Coupe hydrogéologique schématique dans la région d'Ain Larbi 50
Fig VI.1. Carte d'iso conductivité électrique des eaux de sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022) 60
Fig VI.2. Carte d'iso- teneurs en Calcium des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022) 62

Fig VI.3. Carte d'égale teneur en Magnésium des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022) 63
Fig VI.4. Carte d'égale teneur en Sodium des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022) 64
Fig VI.5. Carte d'égale teneur en Chlorures des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022) 65
Fig VI.6 .Carte d'égale teneur en Sulfates des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022) 66
Fig VI.7. Carte d'égale teneur en Bicarbonates des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022) 67
Fig VI.8 .Diagramme de piper appliqué aux eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi 69

LISTE DES TABLEAUX

Tab I.1. Classification des sources selon Springer et Stevens in Castelli (2012). 4
Tab IV.1. Coordonnées de la station météorologique d'Ain Makhloof et période d'observation 22
Tab IV.2. Précipitations moyenne mensuelle de la station d'Ain Makhloof (1986-2020) 24
Tab IV.3 .Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Makhlouf (1986-2020) 25
Tab IV.4. Précipitations annuelles en (mm) et Coefficients pluviométriques dans la station d'Ain Makhloof (1986-2020) 27
Tab IV.5 .Températures moyenne mensuelle de la station d'Ain Makhloof (1986-2020) 29
Tab IV.6. ETR selon Turc à la station d'Ain Makhloof (1986-2020) 34
Tab IV.7. Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Ain Makhloof (1986-2020) 36
Tab IV.8 .Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff 39
Tab IV.9. Estimation de l'Infiltration en (mm) 40
Tab V.1 .Inventaire des puits d'Ain Larbi 43
Tab V.2 .Inventaire des sources de la commune d'Ain Larbi (Avril 2022) 44
Tab V.3. Inventaire des principales sources de la région d'Ain Larbi avec dénomination et coordonnées 52
Tab VI.1. Paramètres physiques de quelques points d'eau dans la région d'Ain Larbi (Mars 2022) 58

LISTE DES ABREVIATIONS :

% : Pourcentage

° : Degré

°C : Degré Celsius

m : Mètre

mm : Millimètre

dl/s : décilitre par seconde

P : Précipitation

T : Température

ETP : Evapotranspiration Potentielle

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

Introduction générale

Introduction générale

L'examen des tendances actuelles montre que nous nous approchons d'une « crise de l'eau » dans plusieurs régions, notamment au Moyen-Orient et en Afrique du Nord, ainsi que dans un nombre croissant de pays partout dans le monde. Dans un proche avenir, ce sera plutôt l'eau que la terre qui sera le principal facteur limitant du développement agricole des pays arides et semi-arides du bassin méditerranéen.

Dans la plupart de ces pays avec une pluviosité irrégulière, plusieurs formes d'utilisation économique de l'eau disponible ont déjà été développées ou sont en train de l'être. Il est indubitable que, sans un contrôle efficace et une gestion adéquate de l'eau, l'autosuffisance alimentaire et énergétique continuera à être un mirage pour la plupart de ces pays.

La problématique de l'eau est un problème de quantité et de qualité, c'est-à-dire de ressources et de pollution, ces derniers demeurent une préoccupation majeure pour l'Algérie. En effet, l'usage de l'eau dépend en premier lieu des disponibilités des barrages, des forages et des sources, eux-mêmes tributaires de la pluviométrie, variable au pays dans l'espace et dans le temps et tributaires des capacités des structures et des institutions compétentes à gérer les différents créneaux.

La gestion de ces ressources au niveau du Bassin Versant d'Oued Charef ,Wilaya de Guelma ,dont la commune d'Ain Larbi fait partie , a connu ces dernière années un déséquilibre flagrant entre la disponibilité et les perspectives économiques , notamment agricoles, confirmé par l'existence d'importante possibilités d'une culture intensive où la rareté et l'insuffisance de la ressource en eau ainsi que les difficultés liées à sa mobilisation , était un facteur limitant, même en exploitant le seul barrage de ce bassin versant (Settara à Sadrata) qui n'obéie qu'a 30% de ces besoins.

La nécessité de suivre des démarches qui vise à valoriser, protéger et rationaliser l'exploitation de ces ressources multiformes, où les eaux de sources dans la région d'Ain Larbi ; notamment karstiques qui dominent dans la région, offrent ces possibilités prometteuses, et nécessitent une étude multidisciplinaire mettant en évidence l'importance, hydrogéologique et socioéconomique de ces dernières, dont le choix de notre étude entre dans ce cadre, sachant que, depuis, ces fontaines naturelles n'ont fait l'objet ni d'un inventaire ni d'une étude complète. En somme, notre but dans cette étude est de dresser pour la première fois un inventaire complet des sources, un suivi de la chimie des eaux ainsi que leur mode de circulation souterraine.

La matière de ce mémoire a été élaborée et travaillée, avec de nombreuses sorties sur terrain à

travers le territoire communale (pour des mesures et des prélèvements d'échantillons) et avec la réalisation d'une série d'analyses chimiques au laboratoire de recherche (LGG).

Pour Le traitement et l'interprétation des données, nous avons fait appelle à Plusieurs outils (géologiques, hydrodynamiques, hydrochimiques et informatiques) et à travers six (06) chapitres. Le premier est consacré à une recherche bibliographique : comportant des définitions et des classifications des sources, il sert en quelque sorte d'introduction à l'étude. Le second chapitre concerne les caractéristiques naturelles (Cadre géographique, morphologique et socioéconomique) .Le troisième chapitre traite la caractérisation structurale, géologique, et lithostratigraphique de la zone d'étude.

Un quatrième chapitre qui s'est intéressé de l'analyse des caractéristiques climatiques et pluviométriques génératrices de la ressource en eau. Le cinquième chapitre relatif à la mise en œuvre d'un inventaire complet des différentes sources et leur qualité sans oublier tout le système aquifère à travers le territoire de la commune, nous nous efforcerons de faire une certaine liaison entre aquifère et source. Un sixième chapitre où nous essayons de dresser l'état hydrochimique des principales sources par la réalisation d'une série des analyses chimiques. Enfin Une conclusion générale comportant les principaux résultats et constatations suivis de quelques éventuelles recommandations.

Chapitre I :

Recherche bibliographique

I.1 Généralités

Une source est un endroit où l'eau sort naturellement du sol. Elle est très souvent à l'origine d'un cours d'eau, d'un ruisseau, d'une rivière ou même d'un fleuve. Mais une source peut également être submergée dans un écoulement d'eau, une mare, un lac ou une mer. Une source qui coule en permanence est dite pérenne, sinon elle est dite temporaire ou intermittente. Dans la plupart des cas le débit d'une source est variable, sauf que les ouvertures entièrement artificielles, telles que les puits artésiens, ne sont pas considérés comme des sources.

La naissance des différentes sources provient de l'apparition de l'eau à la surface due à l'effet de deux paramètres considérables : la structure géologique et les caractéristiques topographiques. Les résurgences d'eau peuvent alors donner une formation des dépressions tout au long de contact lithologique s'il y a présence d'une formation de faible perméabilité supposée par une formation perméable (Sabrina Castelli, 2012 ; Fetter, 2001). Les résurgences de grande quantité d'eau nécessitent la combinaison des plusieurs paramètres comme une aire de recharge importante et un haut taux de recharge. (Brian, 1919 ; Manga, 2001).

I.2 Classification des sources

Plusieurs auteurs ont proposé des classifications pour les sources selon le taux de décharge moyenne (Meinzer, 1923), géomorphologie, écoulement, géochimie des eaux et biologique (Springer et Stevens, 2009) et la nature de leur écoulement (Kresic, 2010) *in* (Castelli, 2012). Ci-dessous, nous allons développer ces classifications.

I.2.1 Classification des sources selon meinzer (1923)

Meinzer en (1923) a proposé une classification des sources basée sur le taux de décharge en deux classes de sources durables. Les sources durables continues et Intermittentes.

1ère classe : les sources qui sortent d'une façon continue sont appelées « les sources durables ».

2ème classe : les sources qui sont caractérisées par ses résurgences naturellement intermittentes ou sporadique sont appelées « les sources intermittentes ». Ces sources peuvent avoir un écoulement régulier tel les geysers qui ont une périodicité d'environ une heure pour expulser leur CO_2 (Castelli, 2012).

I.2.2 Classification des sources selon springer et Stevens (2009)

Springer et Stevens (2009) se sont basés dans leur classification sur la combinaison entre la

classification d'Alfaro et Wallace (1994) et de Meinzer (1923) et ils ont ajouté des nouvelles catégories qui ne figurant pas dans aucune classification. Cette classification présente plusieurs catégories basées sur des considérations géomorphologiques, les caractéristiques d'écoulement, la qualité de l'eau et la géochimie, les habitats, et les variations climatiques et biologiques incluant les micros habitats ainsi que les aspects de gestion de l'eau et du territoire (Castelli, 2012).

Tab I.1. *Classification des sources selon Springer et Stevens in Castelli (2012).*

Classe	Type	Description
Unité hydro stratigraphique	Roche mère de l'aquifère	Sédimentaire (roc ou sédiment non consolidé)
Environnement de résurgence	Caverne	Cas spécial, habituellement non considérée comme une source, car elle peut ne pas être directement exposée à l'atmosphère
	Subaérienne	Résurgence au-dessus du sol, cadre géo morphique
	Sub glaciaire	Résurgence au-dessus du sol, en dessous d'un glacier
Géomorphologie de l'orifice	Source par fracture	Exposé ou déchargée par de joint ou de fracture
	Source par contact	Ecoulement déchargés le long d'un contact stratigraphique
Sphère de décharge	Caverne	Résurgence dans une caverne
	Geyser	Ecoulement explosif
	Fontaine	Forme de fontaine artésienne
Consistance d'écoulement	Éthernel	Écoulement continu
	Intermittent-régulier	Régulier – l'écoulement se produit sur un horaire régulier à l'heure, quotidiennement, saisonnier, annuel, ou variable.
	Intermittent-erratique	L'écoulement se produit seulement sur une base erratique, peut être notée avec des indicateurs végétatifs.
	Intermittent-sec	Aucun écoulement en tout temps pour prise de mesure.
Qualité de l'eau	Froide	Température ambiante sous la moyenne.
	Normal	Atteignant au moins 12.2°C de la température ambiante moyenne.
	Chaude	Significativement plus chaude que la température ambiante annuelle 37.8°C – 100°C.

I.2.3 Classification des sources selon kresic (2010)

Les sources souterraines sont regroupées généralement en deux groupes basés sur la nature de l'écoulement par rapport à l'aquifère duquel elles sont issues (Kresic, 2010).

1er groupe : les sources à écoulement gravitaire (sources descendantes) : coulent dans les zones phréatique (sous les conditions non confiné) où il y a une interception entre le niveau statique de l'eau et la surface du terrain.

2ème groupe : les sources artésiennes (sources ascendantes) : contrairement au 1er groupe ce type se trouve dans les zones captive avec où il y a des pressions due aux conditions de confinement.

I.3 Typologie des sources

Les sources sont classées en fonction de la nature et de la structure des formations géologiques et le type d'aquifère (C. Alfaro - M. Wallace 1994). En se basant sur ces trois critères, les deux auteurs ont donné les classes suivantes :

I.3.1 Sources liées à une nappe libre

On peut distinguer trois types selon la position structurale par rapport à la nappe libre existante :

I.3.1.1 Source de débordement

Située au contact du toit imperméable d'un aquifère, à la limite d'une nappe libre ou d'une nappe captive. (Shoeller, 1955 in Castany, 1977).

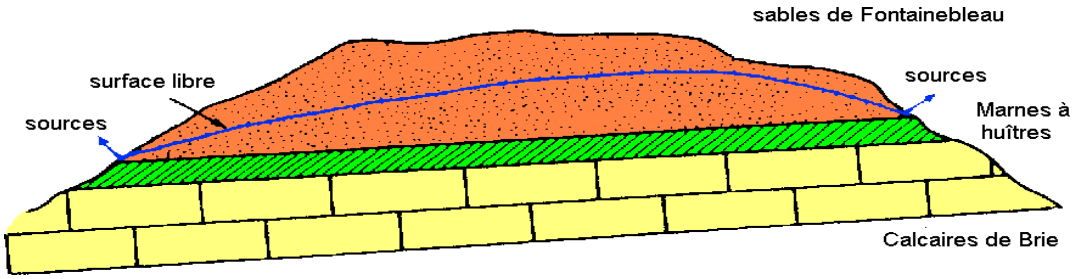


Fig I.1. *Source de débordement (Beauchamp, 2006)*

I.3.1.2 Source de dépression

Appelée aussi source d'émergence. Provoquée par l'intersection de la surface du sol avec la surface d'une nappe libre, sans incidence d'une limite imperméable de l'aquifère. (Boursault, 1900 ; Imbeaux, 1930 ; Dievert, 1932 ; Poitree et Ollier, 1962).

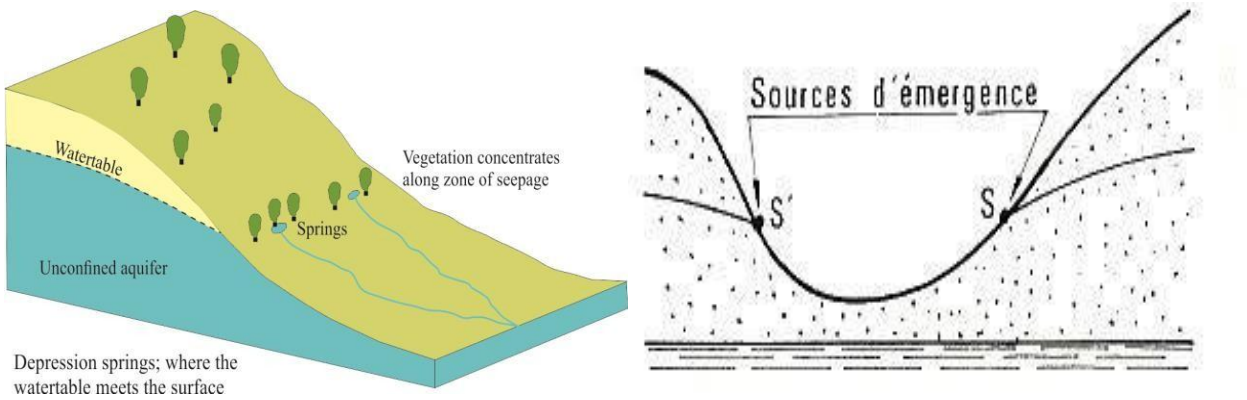


Fig I.2. *Source de dépression (d'émergence).*

Fig. I.2: source de dépression (d'émergence).

I.3.1.3 Source de déversement

Située au contact du mur imperméable d'un aquifère, issue d'une nappe libre de déversement, non soutenue, et souvent comprise dans une ligne de sources. Se distingue d'une source de trop-plein et d'une source de débordement. (Haugt, 1911 in Castany, 1977).

I.3.2 Sources liées à une nappe captive

Ils existent uniquement en cas de nappe captive sous charge. La surface piézométrique se situe au-dessus du sol. L'eau est contrainte de circuler en sous-sol vu la présence d'un toit imperméable (argile, limons...). Une conduite traversant la couche imperméable implique donc une source jaillissante.

I.3.3 Sources liées à une faille

Ce type de source se situe au contact d'une faille.

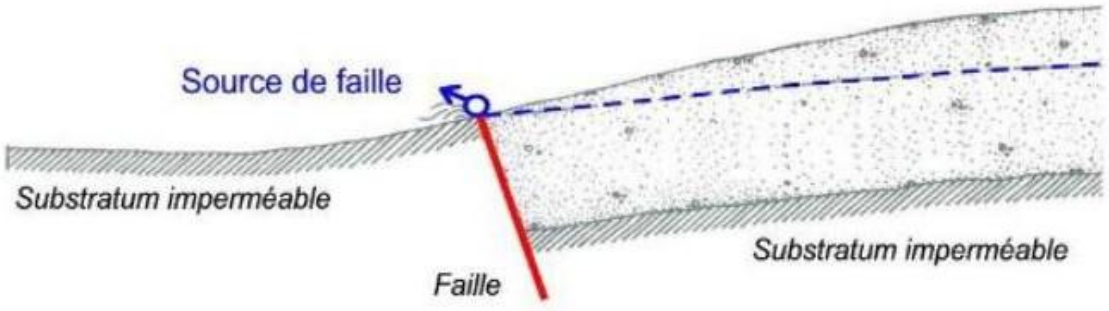


Fig. I.3.*source de faille*

I.3.4 Source karstique

Les sources karstiques représentent l'exutoire naturel des nappes souterraines vers la surface, à travers les fissures qui apparaissent généralement dans les zones de contacte des roches carbonatées et une limite imperméable (Alfaro et Wallace 1994). L'eau souterraine provient de l'infiltration dans le karst, soit directement des précipitations sur les roches calcaires, soit aussi de l'absorption d'une rivière par une perte. L'écoulement souterrain s'organise et ressort en une source, avec des variations de débit pouvant être spectaculaires en fonction des pluies. (Arfib, 2010).

Le processus chimique le plus commun dans la formation des sources karstiques est la karstification. Elle est le résultat de la dissolution des roches carbonatées au contact de l'eau chargée en acide carbonique (H_2CO_3), qui dérive du gaz carbonique de l'air, plus rarement de gaz carbonique d'origine profonde (associé à de l'hydrothermalisme). La dissolution de la roche calcaire par l'eau associée au gaz carbonique se fait selon la formule suivante :

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 <==> 2(HCO_3^-) + Ca^{2+}$$

Cette dissolution de formations carbonatées permet l'émargement et le développement du réseau des fissures et la possibilité d'apparition de nouvelles sources ainsi que l'augmentation de leur débit.

- **Source pérenne**

Ce type des sources est caractérisé par son écoulement permanent pendant toute l'année avec un débit variable mais ne tarit jamais. Son alimentation pendant l'étiage provient d'une nappe d'eau souterraine ou par l'écoulement d'une rivière souterraine à écoulement libre jusqu'à l'exutoire.

Sa position dépend du niveau de base de l'aquifère (Arfib, 2010).

- **Source temporaire**

Généralement, coule pendant la période des hautes eaux et forme son exutoire de vidange de l'aquifère lors l'événement pluvieux exceptionnellement importantes. Elle peut être une ancienne source pérenne abandonnée due à l'abaissement de niveaux de base de l'aquifère. Dans certains cas elle peut être considérée comme une source de trop-plein. (Arfib, 2010).

- **Source vauclusienne**

Son nom est inspiré de la célèbre fontaine de Vaucluse, où l'eau remonte de plus de 300 m de profondeur dans un puits noyé. Donc on utilise ce terme pour les sources qui ont ce genre des caractéristiques morphologiques souterraine spécifiques où l'eau draine dans un conduit de karst subverticale jusqu'à la surface depuis des profondeurs très inférieurs à celui de la source. (Arfib, 2010).

- **Source sous-marine**

Elle s'écoule directement dans la mer ; son griffon (orifice) est situé sous le niveau marin. L'eau de la source est généralement saumâtre, résultant d'un mélange entre l'eau douce de l'aquifère et l'eau de mer, qui se produit soit directement à l'émergence, soit en profondeur dans l'aquifère. (Arfib, 2010).

- **Sources minérale et thermale**

Elles sont caractérisées par la qualité physico-chimique de l'eau. L'écoulement souterrain à plus ou moins grande profondeur, et au contact de roches diverses, permet à l'eau de se réchauffer et (où) d'acquérir une minéralisation. (Arfib, 2010).

- **Source intermittente**

Caractérisé par un débit variable discontinu (de manière périodique). L'écoulement se fait selon des intervalles plus au moins régulières. Ces variations sont les résultats d'un phénomène hydraulique de vidange et de remplissage de l'aquifère. (Arfib, 2010). (Darcy, 1856 in Castany, 1977).

Le schéma général des sources karstiques est présenté dans la figure ci-dessous :

I.4 Conclusion

Cette recherche bibliographique nous a permet d'avoir un concept général sur les classifications des sources et de ses modes de fonctionnement. On a pu avoir une idée sur les définitions et la classification des sources ainsi que l'explication scientifique du fonctionnement hydrodynamique des différents types de sources.

Chapitre II :

Cadre physique de la zone d'étude

II.1 Introduction

Pour toute étude hydrogéologique et hydro-chimique d'une région donnée, la description et l'analyse des différents aspects physiques est primordiale, partant du principe que la géographie est la base de toute étude de terrain, elle délimite le secteur étudié et détermine la distribution des facteurs physico-géographiques et socio-économiques caractérisant cet espace.

II.2 Situation géographique de la zone d'étude

La commune d'Ain Larbi anciennement appelé GOUNOD (d'après le nom du compositeur français Charles Gounod) se situe au Nord - Est algérien, entre les longitudes : 7,30° et 7,45° Est et les latitudes : 36,2° et 36,39° Nord, appartenant à la wilaya de Guelma, et occupant la partie Sud de cette dernière à une distance de 35 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- Nord, entre les monts de la Maouna au Nord, les monts de Bouhachana à l'Est, la série de la Chebka des Sellaoua au Sud et Oued Charef à l'Ouest, avec les limites administratives suivantes. (Fig.II.1)

Les communes de : Ben Djarah et Belkheir au Nord.

Les communes de : khezara, Bouhachana et Ain Sandel à l'Est.

Les communes d'Ain Makhlouf et de Sellaoua Announa à l'Ouest.

La commune d'Ain Larbi se compte parmi les plus vieilles communes de la wilaya. Elle est devenue une commune de la daïra d'Ain Makhlouf depuis le découpage administratif de 1994.

C'est une partie intégrante du bassin versant de l'Oued Seybouse d'une superficie de 167.5 Km², et une population de 7976 habitants soit une densité de 46 habitants par Km² selon le dernier recensement du 2011.

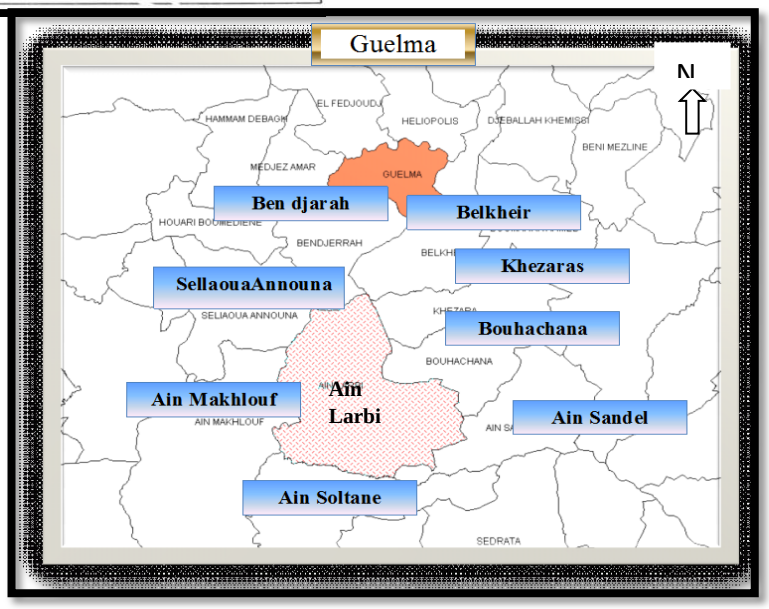


Fig. II.1.*Situation géographique et administrative de la commune d'Ain Larbi*

II.3 Aspect Géomorphologique

L'importance de la topographie apparait surtout dans l'étude des systèmes d'écoulement, de telles sortes que la morphologie du paysage (altitude et pente) délimite des différents bassins versants hydrologiques. Elle conditionne les directions préférentielles de l'écoulement de l'eau (en surface ou dans le sol) des points hauts vers les points bas.

La région d'Ain labri liée au bassin de Guelma est un ancien bassin d'effondrement fermé, rempli par un ensemble varié des sédiments pendant le Miocène et le Quaternaire, affecté d'un ensemble de chaines de montagne appartenant essentiellement à la phase alpine, où la pente topographique change en moyenne de 2% sur les hautes plaines à 35% sur les montagnes.

Les reliefs de la zone d'étude se présentent sous trois unités principales :

- La chaîne des montagnes au Nord et à l'Est :

Est un relief accidenté avec des pentes dépassant 35% surtout au Nord –Est, représentée par des formations d'âge crétacé. La plaine est caractérisée par des pentes assez faibles (inferieures à 8%), c'est le prolongement oriental de la plaine dite d'Ain Makhlouf. Elle est la conséquence de l'encadrement montagneux du Nord et du Sud.

- La chebkat des Sellaoua au Sud est caractérisée par un remarquable développement des formations marneuses, gréseuses et marno-calcaires, avec des sommets arrondis parfois plats ou raides.

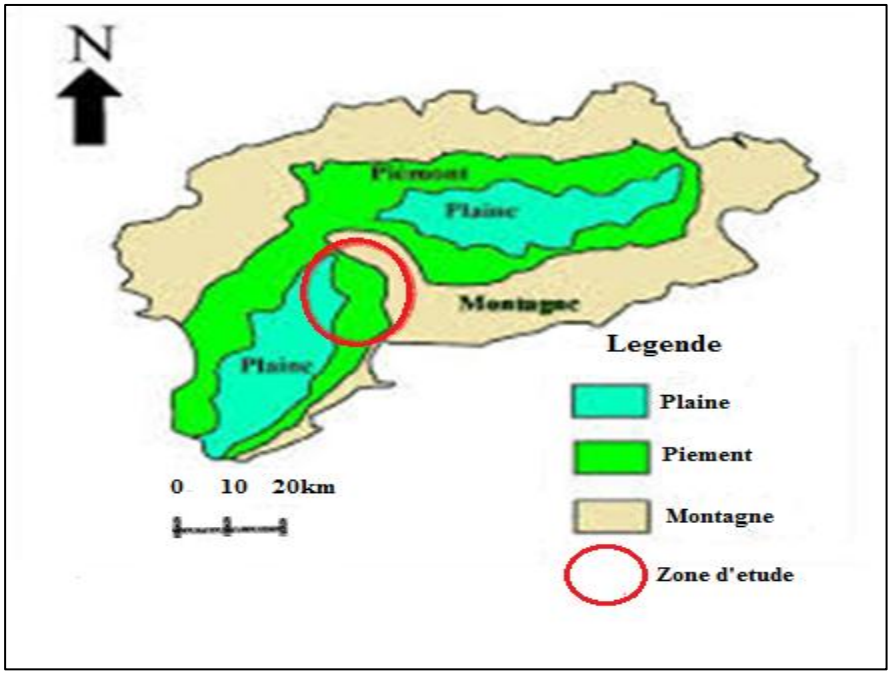


Fig. II.2. *Géomorphologie de la région de Guelma*

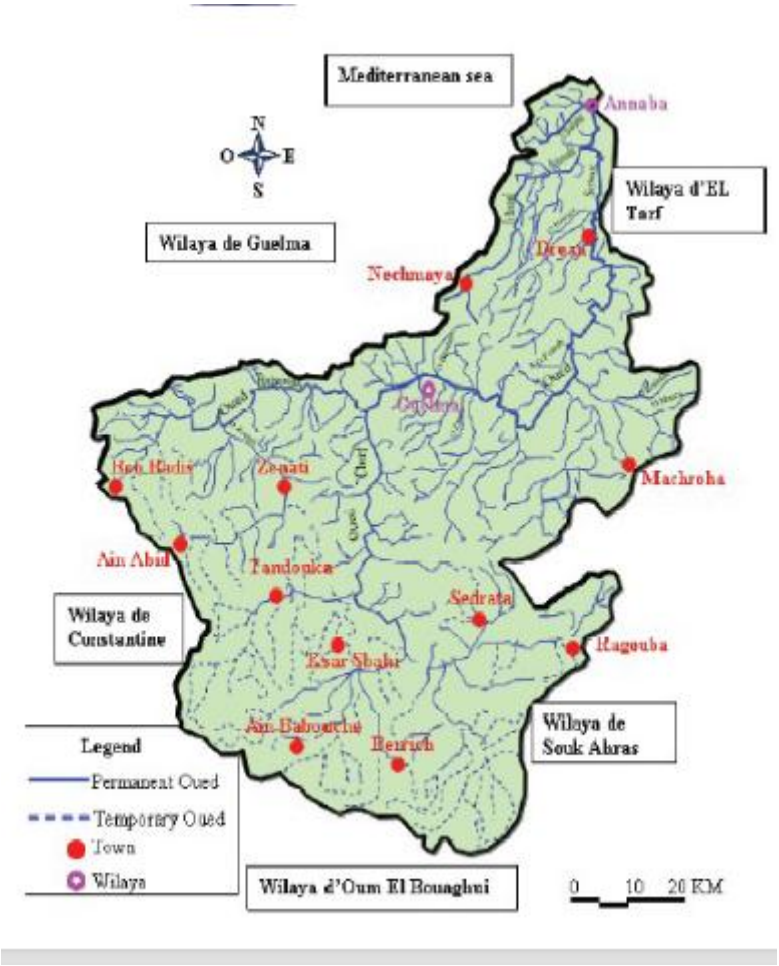


Fig. II.3. *Le bassin versant de la Seybouse*

Le bassin d'Oued Charef qui porte le code (14.01 – 14.02) est situé dans la partie Nord-Est du territoire algérien. Il constitue la région limitrophe de trois wilaya Souk Ahras (41) ; Guelma (24) et Oum El Bouaghi (04), ce bassin faisant partie du bassin versant de la Seybouse, la forme triangulaire d'

Oued Charefv s´étale sur une superficie de 2900 Km² avec un périmètre de 57 Km (Bouhala, 2012).

L'Oued Charef possède une forme allongée avec un indice de compacité de 1,27 équivalent à un rectangle de longueur de 70,9 Km et de largeur de 24,1Km. Il présente la limite Ouest du territoire communale et qui draine presque la totalité de la région d'étude par l'intermédiaire d'un chevelu hydrographique dense caractérisé par les principaux cours d'eau suivants :

- Oued Chaniour: à direction Sud- Est – Nord-Ouest, draine presque la totalité du secteur Sud du territoire communal, le massif calcaire (Djebel Mouilah et Ras Elma) tectonisé et karstifié est à l'origine de son débit important et son écoulement permanent par le Biais des sources karstiques importantes. Son confluence avec l'Oued Charef s'effectue au niveau d'El Magroune.

- Oued El Aar : présente la limite Sud de la commune d'Ain Larbi, prend naissance au niveau de monts d'El Mayda, son régime permanent et son débit relativement important lui ont attribués son intérêt dans l'irrigation. Il se débouche dans l'Oued Charef au niveau d'Ouldjet Lakmar.
- Oued Essabet : S'coule au centre du terrain étudié, son origine est la ligne de partage des eaux près de la source Nakib Houcine, alimenté par un nombre limité des sources mais à régime permanent, son profil en long abrupt accentue son action érosive causant ainsi quelque forme de glissement de terrain de part et d'autre de ses rives.
- Chaabet El Harhar : présente la limite Nord – Ouest du terrain, c'est un cours d'eau a écoulement permanent et qui prend naissance au niveau des monts de la Maouna, sa forte pente, sa courte longueur et sa situation montagneuse lui ont minimisés son importance hydraulique.
- La partie Nord- Est du terrain est drainée par les sous bassins versant de l'Oued Bou Zender (Helia) et l'Oued Bou Djedra (Boussorra), ces deux cours d'eau relativement longues et a régime permanent prennent naissance à partir du territoire communale d'Ain Larbi suivant deux trajectoires quasi –parallèles du Sud - Ouest vers le Nord- Est pour atteindre l'Oued Seybouse à l'Est de la ville de Guelma.

D'autres affluents de l'Oued Charef peu importants caractérisés par un écoulement temporaire, parallèles à l'Oued Essabet qui sont ; chaabet Oum El Djediènne et Chaabet Lediab. ***(Fig.II.4)***

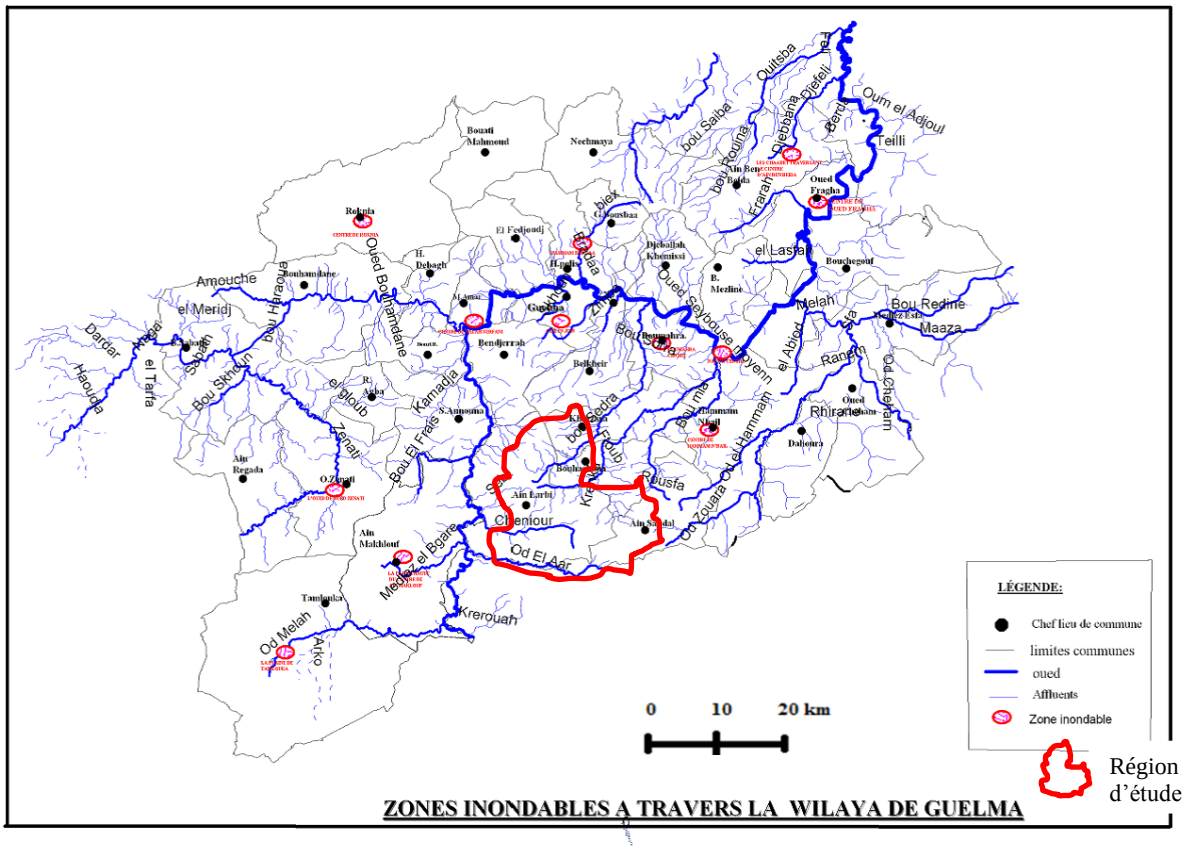


Fig II.4. *Réseau hydrographique de la région d'Ain Larbi*

II.4 *Contexte* socio-économique

La commune d'Ain labri est l'un des plus anciennes communes de l'état de Guelma, où sont passées de nombreuses civilisation depuis les romains puis les arabes musulmans.

Sur le plan administratif la wilaya de Guelma dont Ain Larbi fait partie, forme un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi, Souk Ahras et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord de l'Algérie, les hauts plateaux et le Sud.

Les principaux secteurs d'activités économiques du bassin sont:

L'agriculture :

Présente une agriculture intensive qui joue un rôle très important dans l'économie de la région, elle occupe la premier place ou sein des activités de la population rurale représentée par la céréaliculture et arboricoles, la culture de pomme de terre, qui demande un volume très important d'eau pour l'irrigation, Ainsi que l'élevage de volailles et de bétails et l'apiculture

L'industrie : L'industrie est presque inexistante exceptées les quelques installations comme (Laiterie, fabrique de parpaing etc.…)

Le tourisme : la région d'Ain Larbi possède des horizons touristiques inestimables en premier lieu le tourisme des eaux thermales, présentées par l'ensemble des sources thermales (Hammam Guerfa et Belhachani), encore mal exploitées et le tourisme forestier, ainsi que la présence de quelques sites archéologiques qui méritent d'être valorisés.

II.5 Conclusion

La commune d'Ain Larbi, qui fait partie des hautes plaines constantinoises, se situe au Nord – Est algérien, elle appartienne à la wilaya de Guelma, et se caractérise par un relief montagneux affecté par des plaines et un réseau hydrographique relativement dense constitué de Cinque principaux Oueds avec de nombreuses options d'exploitation pour divers usages de l'eau. Le climat subhumide a favorisé la poussée d'un couvert forestier dense avec une vaste région à forte activité agricole. La combinaison d'un ensemble de facteurs Climat, Géologie, géomorphologie) a donné naissance à plusieurs formes de glissement de terrain.

Les perspectives économiques futures de la région sont prometteuses, en présence d'une richesse naturelle multiforme.

Chapitre III :

Cadre géologique et structurale

III.1 Introduction

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 régional

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 : **fig.III.1.**

III.2.1 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 :

III.2.1.1 Le flysch mauritanien

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

- de calcaires tithoniques-néocomiens, qui cèdent la place à une masse massive de pélite et de grès (flysch de GERROUCH) dans l'Albo-Aptien.
- Microbreches silicifiées du Cénomanien 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

III.2.1.2 Le flysch massylien

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

Les termes lithologiques suivants sont inclus dans ce flysch :

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

III.2.2 Le domaine tellien

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

III.2.2.1 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.

III.2.2.2 Les séries Telliennes sensu stricto

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

- Les séries de type Gouraya-Arkalon ;
- Les séries de type Barbacha ;
- Les séries de type Drâa-el- âarba ;
- Les séries de type Beni-Abdellah ;
- Les séries Bibaniques ;
- Les séries de Djemila.

Les série pénitelliennnes 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 Bou-cheref et Ouakissen, Massif d'Ahmed Rachedi et au Djebel El-Akhal.

Au Sud et à l'Est : en Klippe sur les massifs néritiques constantinois, cas du Djebel Grouz, Djebel Khenag et Djebel Chataba.

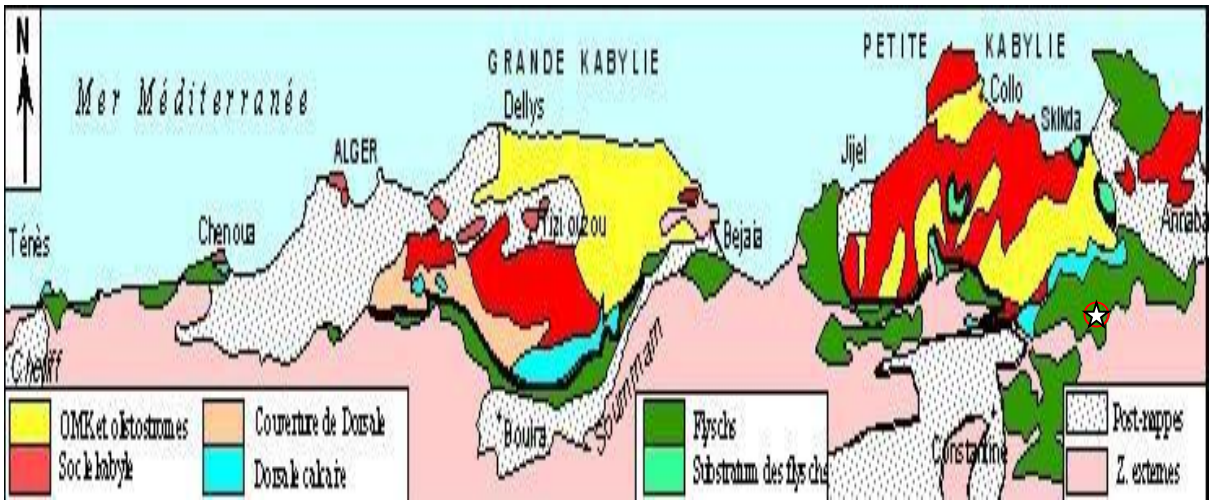


Fig. III.1. *Carte structurale schématique de la chaîne des Maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes ; d'après Durand Delga et Fontboté (1980).*

III.3 Géologie locale

La situation structurale de la région d'Ain Larbi au niveau du contact entre le domaine des flysch et les séries pénitelliennnes de la zone externe, lui attribue des caractéristiques géologiques particulières, distinguées par des roches méso-cénozoïques, qui sont pour la plupart des cas couvertes par des dépôts Mio-Plio-Quaternaires comprenant diverses formations géologiques. La zone d'étude est bordée au Sud par l'unité des Sellaoua, qui est en grande partie composée de diverses formations d'âge Secondaire. Le contacte anormale Manifestement apparent le long des cours d'eau (Oued Essabet et Oued zouara) de direction Est –Ouest sépare la zone en deux parties ; une partie Nord occupée par des formations argilo- marno-gréseuses de la nappe numidienne et une partie Sud et Sud –Est formée majoritairement de formations marno – calcaires fissurées qui plongent au Sud-ouest sous des formations moi-plio-quaternaires . (**Fig.III.2)**

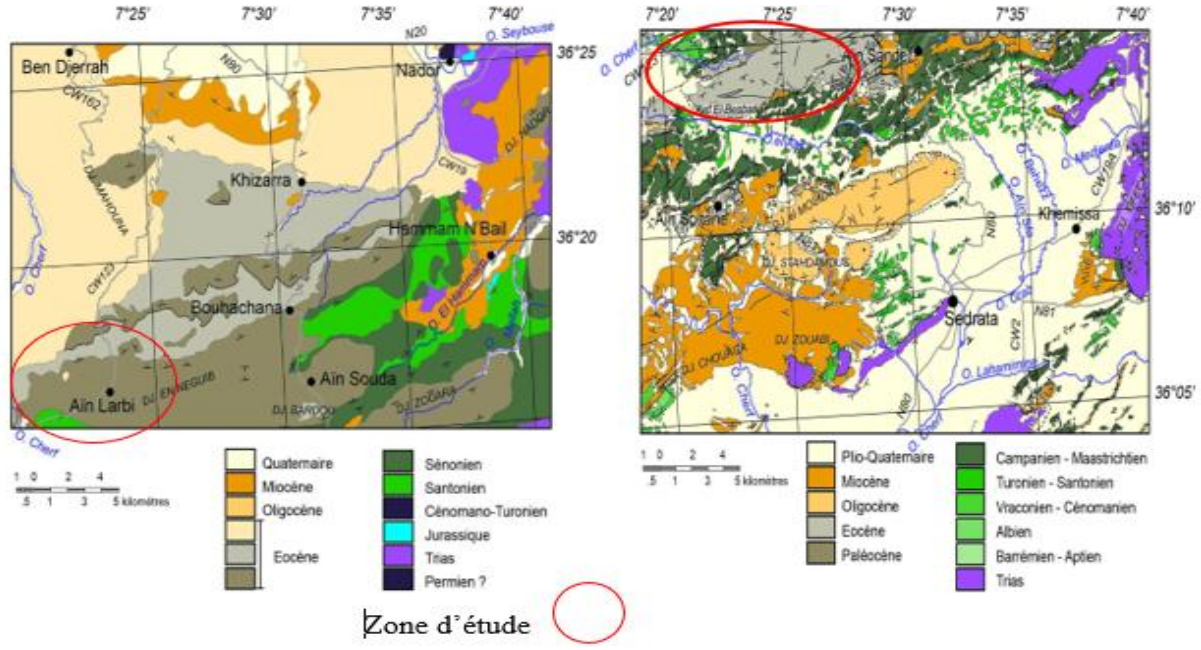


Fig. III.2. *Cartes géologiques de la zone d'étude*

III.3.1 Stratigraphie et lithologie :

- Aptien Barrémien :

Ces formations se trouvent au Nord de Djeble El Hofra, sur la rive Sud – Ouest de l'Oued Chaniour près de Hammam Guerfa. L'Aptien est constitué de petits bancs de marnes calcaires alternants avec des marnes noires ou grises. Le grès vert et le grès très fin avec des boules et des traces de courant se retrouvent en quantités très irrégulières sur les affleurements Sud.

- Vraconien – Cénomanien

Cette formation se trouve à l'Ouest de Safiet Bellile. Le Vraconien est une formation marneuse et marno-calcaire difficile à distinguer du Cénomanien.

- Turonien - santonien

Ces formations se manifestent au Sud – Ouest de la zone d'étude au niveau de la confluence entre Oued Chaniour et Oued Charef. C'est une formation de marne écailleuse avec une fracture bicolore rouillée ou bleu foncé et des patines grises.

- Campanien – Maastrichtien

Affleurent au niveau de Safiet Bellile au centre de la zone d'étude et à l'extrême Sud –Est au niveau de Djebel Bardou, Il se compose d'une séquence de marnes grises ou gris-bleu et d'une fine barre de calcaire d'inocéram, parfois tendre et crayeuse, accompagnée d'une intercalation marneuse et d'une barre de calcaire maestrichtien constitué de calcaire blanc crayeux ou jaunâtre.

- Eocène

Occupe la majeure partie du terrain étudié, partant des alentours de la ville d'Ain Larbi, Au niveau de cette unité stratigraphique, les formations patrons sont les seules représentées. Il est composé de couches rouges continentales avec une matrice d'argile ou de marne, au-dessus desquelles se trouvent parfois du sable et du pudding, et par endroits on trouve parfois des argiles noires, calcaires et marno-calcaires à silex, calcaires (à Nummulites) intercalés de bancs phosphatés (à Nautiloïdes, cnidaires, dents de requin, bivalves), marnes à *Ostrea*, puis argiles et grès.

- Miocène

Un affleurement très limité au sud - Est du territoire communal au niveau du Djebel N'guib, sous forme des intercalations marno- argileuses s'alternants avec des bancs de calcaire fissuré.

Les grès numidiens (**Oligo-Miocène**) sont présents à la limite nord de la feuille.

- Plio - Quaternaire

Cette unité stratigraphique s'étend du centre de la zone d'étude et se prolonge vers l'Ouest. C'est l'unité la plus visible du territoire communal. On y trouve tous des calcaires lacustres, des argiles sableuses et des marnes sableuses rouges. Elle occupe aussi les vallées des différents oueds : alluvions, éboulis, travertins (vallée de l'oued Charef et Oued Chaniour.

III.3.2 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 chebkat des Sellaoua au 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 l'Eocène. 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 chebkat 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 chebkat 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.

III.4 Conclusion :

La zone d'étude fait partie de la chaîne des maghrébines dans le domaine extérieur de l'Algérie orientale. Le sol et le sous-sol sont constitués d'une variété de terrains. Leurs âges couvrent les périodes secondaires, tertiaires et quaternaires. L'état structurel actuel de la région d'Ain Larbi est défini par la présence de deux grandes unités : l'unité de la chebkat des Sellaoua au Sud et l'unité de la nappe néritique constantinoise au Nord, affectée par un front de charriage la séparant en deux partie ; les grés numidien au Nord et le massif calcaire fissuré au Sud. Les formations carbonatées (calcaires, calcaires dolomitiques) avec quelques marnes, parfois des groupes marneux argileux, sont les formations dominantes de la zone.

Chapitre IV :

Etude Hydroclimatologique

IV.1 Introduction

Les eaux souterraines représentent environ 98% des eaux douces potentiellement disponibles pour l'homme sur notre planète, en faisant donc une ressource fondamentale de nos sociétés. Du fait du changement climatique et du fort lien existant entre le climat et le cycle de l'eau et donc les ressources en eau, l'identification de la sensibilité des eaux souterraines aux variations climatiques est devenue primordiale. L'étude hydro climatique 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 écoulée 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 hydro chimique des eaux souterraines.

Les paramètres climatiques étudiés dans ce volet sont principalement ; la précipitation, la température, l'évapotranspiration, ……

La région d'étude situant dans une zone de transition climatique entre le climat méditerranéen et le climat continental, est caractérisée ainsi par un climat de type semi-aride, distingué par l'alternance saisonnière entre un hiver doux et pluvieux et un été chaud et sec associés à un déficit hydrique des sols relativement important. Son régime climatique dépend de deux paramètres principaux ; la précipitation et la température.

Ce chapitre sera consacré à l'étude des paramètres climatiques pour ressortir les caractéristiques climatiques de la région d'Ain Larbi, et à l'estimation des différentes composantes du bilan hydrique afin de comprendre le fonctionnement du système hydrologique de la région. Les données climatiques sont fournies par la station météorologique la plus représentatives du terrain étudié c'est celle d'Ain Makhloof sur une période d'observation de 34 ans (1986-2020), dont ces données ont servi comme référence pour plusieurs autres études hydrogéologiques des régions limitrophes drà la station. Les coordonnées géographiques de la station de meure sont récapitulées dans le tableau suivant **(tableau. IV.1).**

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

Station	**Altitude (m)**	**Latitude (y)**	**Longitude (x)**	**Période d'observation (34 ans)**
Ain Makhloof	664 m	36° 14`N	7° 17`E	1986-2020

IV.2 Paramètres climatiques

IV.2.1 Les précipitations

Les précipitations sont l'élément le plus important, dans l'établissement du bilan hydrique parce qu'elles jouent un rôle primordial dans la pérennité de l'écoulement du réseau hydrographiques d'une région donnée, ainsi que dans l'alimentation de ses eaux souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, pour pouvoir déceler l'influence des différentes fluctuations pluviométriques ; mensuelles, saisonnières et interannuelles sur le régime des cours d'eaux et la recharge des nappes aquifères, qui lessive et dissout les éléments minéraux contenus dans les différentes formations rocheuses identifiées. Cette quantité de sels dissouts dans les eaux souterraines influencera leur composition chimique.

IV.2.1.1 Precipitations moyennes mensuelles

Les données des précipitations disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station d'Ain Makhloof, sur une période de 34 ans. Ces valeurs sont consignées dans le **tableau. IV.2**.

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

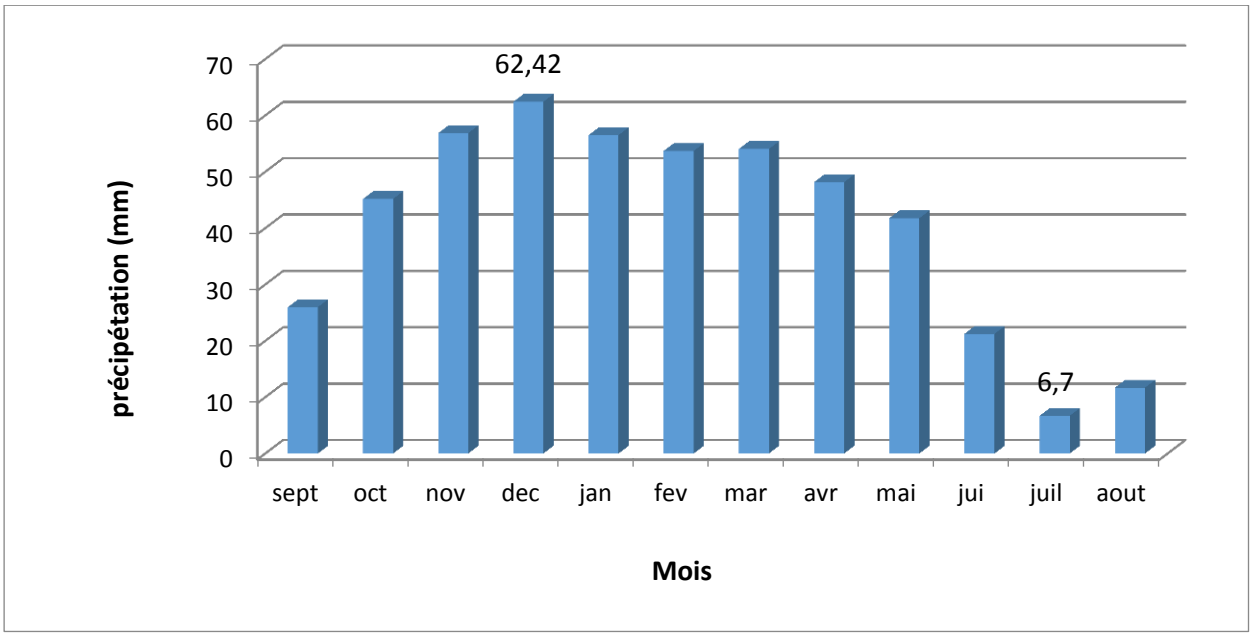


Fig. IV.1. *Evolution des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Makhloof (1985-2020)*

Tab. IV.2 *Précipitations moyenne mensuelle de la station d'Ain Makhloof (1986-2020)*

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août
P (mm)	25.98	45.18	56.85	62.42	56.5	53.7	54.05	48.15	41.76	21.4	6.7	11.68

Les précipitations atteignent le maximum au mois de Décembre avec une hauteur de 62.42 mm et le minimum au mois de Juillet avec 6.7mm.

Cependant, la représentation graphique **des variations interannuelles des précipitations** nous montre ; que l'année la plus humide est : 1998 avec 1163 mm et l'année la plus sèche est : 1996 avec 112.3mm **(Fig.IV.2).**

Notons que la hauteur moyenne des précipitations annuelles, sur toute la période d'observation est de l'ordre de 484.37mm.

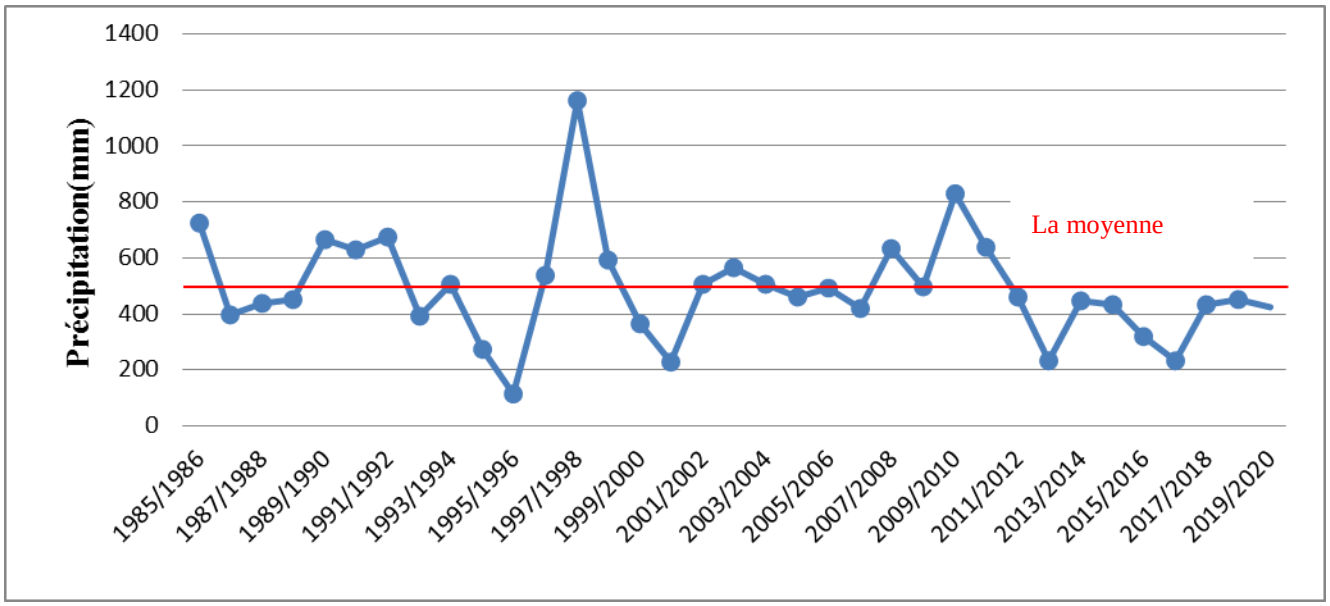


Fig IV.2. *Evolution des précipitations interannuelles. Station d'Ain Makhloof (1986-2020)*

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 de chaque saison par apport au total annuel. La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les quatre saisons agricoles :

- L'automne : (Septembre, Octobre, Novembre)
- L'hiver : (Décembre, janvier, Février)
- Le printemps : (Mars, Avril, Mai)
- L'été : (juin, Juillet, Aout)

Tab IV.3. *Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Makhlouf (1986-2020)*

Saison	**Automne**			**Hiver**			**Printemps**			**Eté**		
Mois	**S**	**O**	**N**	**D**	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**
P (mm)	128.01			172.62			143.96			39.78		
P (%)	26.42			35.63			29.72			8.21		

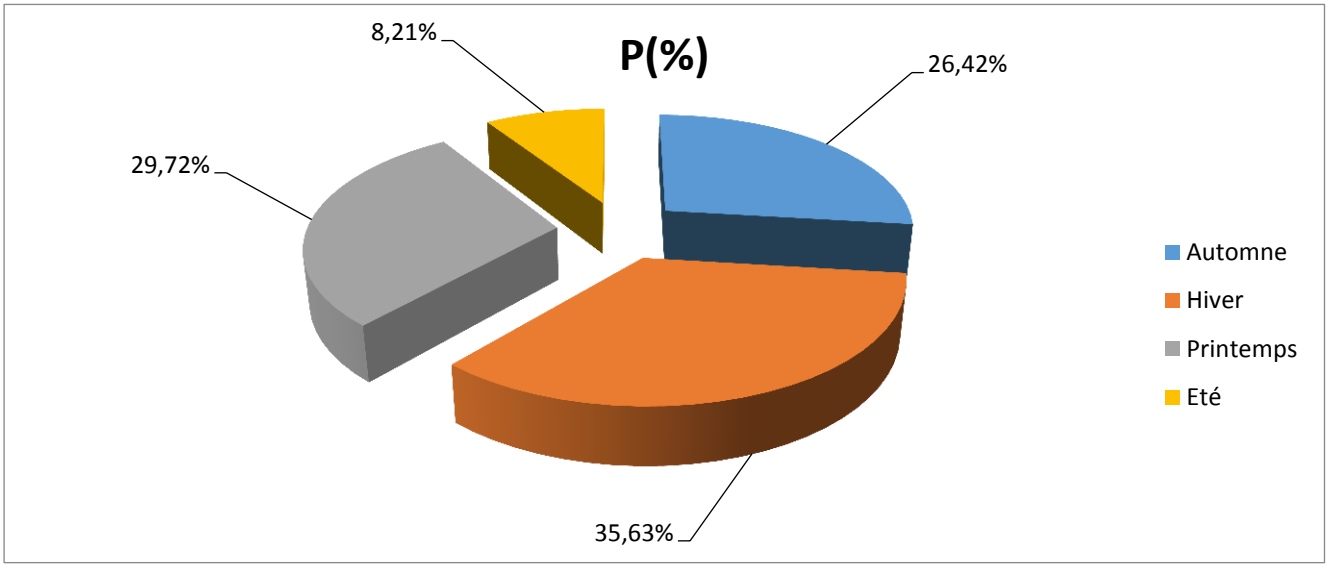


Fig. IV.3 *Précipitations moyennes saisonnières en % la station d'Ain Makhloof (1986-2020)*

L'examen des résultats du **tableau IV.3** et la **figure IV.3.** Montre que les précipitations se produisent essentiellement en Hiver et en printemps, avec une quantité de 316.58 mm d'une moyenne de précipitation totale interannuelle de l'ordre de 484.37 mm, ce qui produit une recharge de la nappe, Les saisons estivale et automnale sont les plus sèches avec respectivement, un total des pluies de 39.78 mm (8.21%) et 128.01 mm (26.42%), ce qui produit une évaporation. Il en ressort que Décembre est le mois le plus pluvieux et que juillet est le mois le plus sec.

IV.2.1.3 Coefficient pluviométrique (Cp)

Le coefficient pluviométrique correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires et les années déficitaires par rapport à la moyenne de la même série :

- Une année excédentaire (AE) si : Cp > 1.
- Une année déficitaire (AD) si : Cp < 1.
- La moyenne si : Cp = 1.

Ce paramètre est en relation proportionnelle avec la pluviométrie **(Tableau IV.4),** Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne annuelle observée à une station donnée. Mathématiquement, il se détermine par l'équation :

$$Cp=P/P\ moy$$

Avec :

Cp : Coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie de L'année donnée en (mm).

P moy : Pluviométrie moyenne pour une période de n années en (mm)

Tab. IV.4. *Précipitations annuelles en (mm) et Coefficients pluviométriques dans la station d'Ain Makhloof (1986-2020)*

Année hydrologique	**Pluie annuelle (mm)**	**CP station Ain Makhloof**	**Observation**
1985/1986	719.5	1.48	AE
1986/1987	391.5	0.80	AD
1987/1988	431.5	0.88	AD
1988/1989	447.8	0.92	AD
1989/1990	663.7	1.36	AE
1990/1991	627	1.29	AE
1991/1992	670.7	1.38	AE
1992/1993	389	0.80	AD
1993/1994	500.4	1.03	AE
1994/1995	270.1	0.55	AD
1995/1996	112.3	0.23	AD
1996/1997	534.8	1.10	AE

1997/1998	1163	2.39	AE
1998/1999	587.3	1.20	AE
1999/2000	359.9	0.74	AD
2000/2001	222.5	0.45	AD
2001/2002	502	1.03	AE
2002/2003	562	1.15	AE
2003/2004	502.1	1.03	AE
2004/2005	456.8	0.94	AD
2005/2006	488.9	1.00	AE
2006/2007	414.5	0.85	AD
2007/2008	631.1	1.29	AE
2008/2009	490.8	1.01	AE
2009/2010	824.6	1.69	AE
2010/2011	635.4	1.30	AE
2011/2012	458.05	0.94	AD
2012/2013	227	0.46	AD
2013/2014	444	0.91	AD
2014/2015	429.5	0.88	AD
2015/2016	314	0.64	AD
2016/2017	226.5	0.46	AD
2017/2018	427	0.87	AD
2018/2019	449	0.92	AD

2019/2020	418.5	0.86	AD

D'après les résultats obtenus, il y a une alternance de périodes, excédentaires (AE) et déficitaires (AD).

IV.2.2 Les températures

La température est l'un des facteurs les plus importants du climat, Son influence majeur sur les autres paramètres climatiques tel que, l'évapotranspiration et par conséquence 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 Makhloof sur une période de 34 ans (1986 - 2020) sont récapitulées dans le **Tableau 05**, leur répartition est illustrée par la **Figure IV.4**.

Tab. IV.5. *Températures moyenne mensuelle de la station d'Ain Makhloof (1986-2020)*

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août
T (C°)	24.26	20.05	14.63	11.23	10	9.86	11.84	14.65	18.65	23.52	27.07	27.87

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 20.05 à 27.87 C°, tandis que les températures les plus basses (9.86 à 11.84 C°) sont observées pendant la période hivernale (Décembre à Mars) avec un minimum enregistré pendant le mois de Février de l'ordre de 9.86 C°.

A l'échelle annuelle, la moyenne interannuelle des températures est de 17.80 C°.

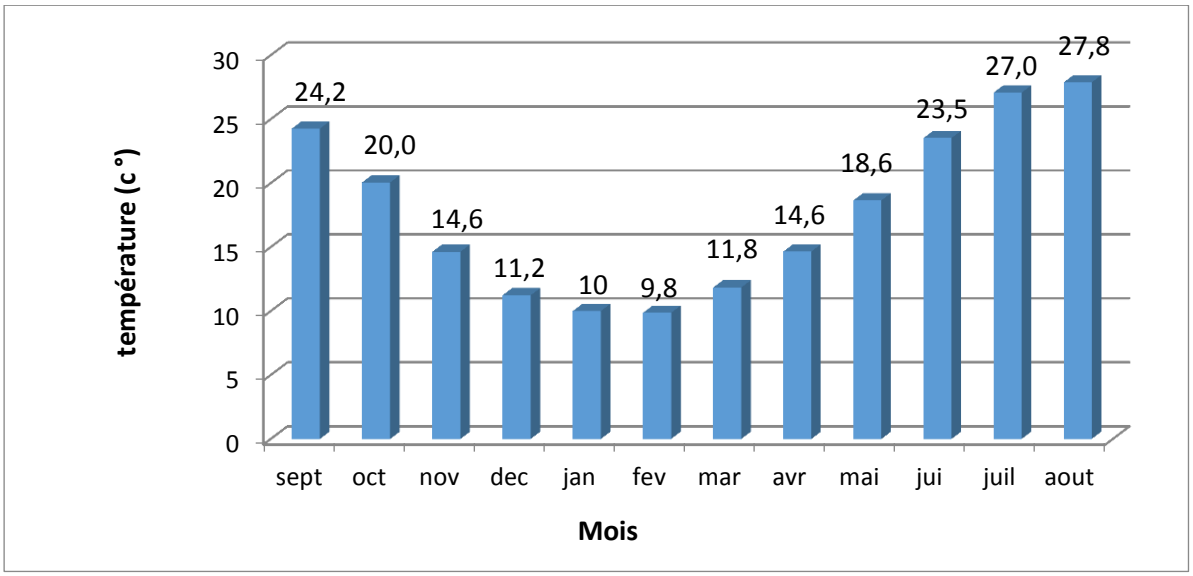


Fig IV.4. *Evolution des températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Makhlouf (1986-2020).*

IV.2.3 Rythme climatique

IV.2.3.1 Diagramme pluviothermique (Ombro-thermique) :

Le diagramme pluviothermique (combinaison de deux paramètres climatiques qui sont ; les précipitations et les températures), permet la détermination du le type du climat caractérisant une région. Le diagramme pluvio-thermique est établi selon la méthode de Gaussen et Bagnouls et dont les températures sont reportées à l'échelle double des précipitations. Cela permet de déterminer La période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieur ou égal au double de la température du même moi **(Fig. IV.5).**

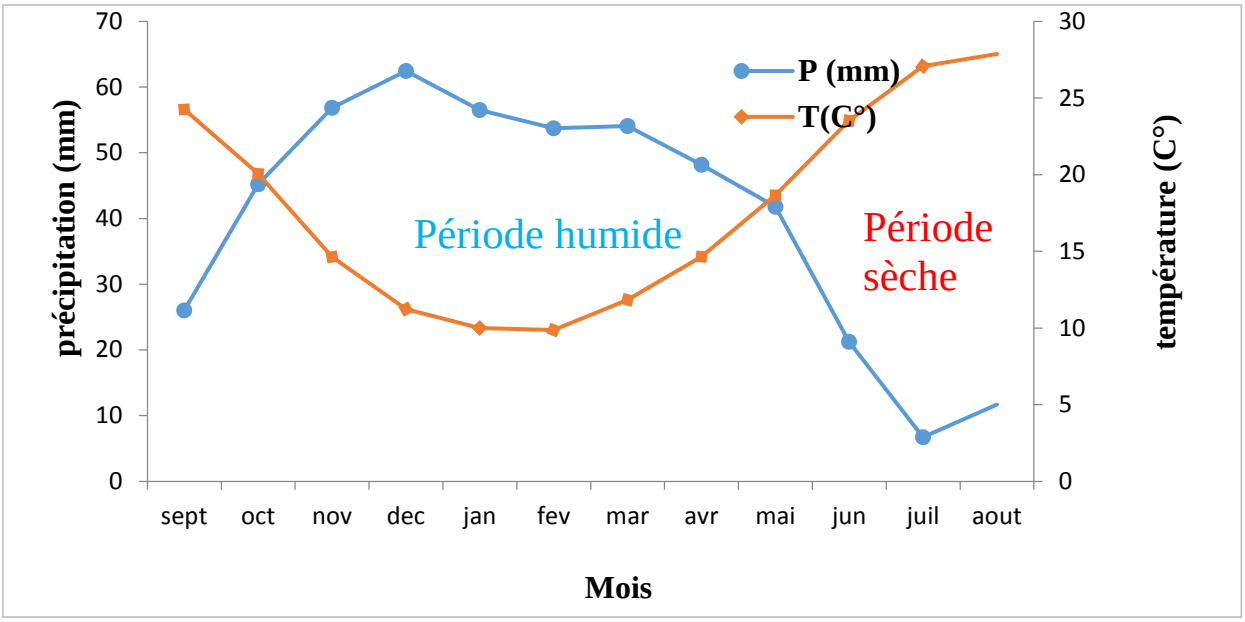


Fig. IV.5. *Diagramme Ombrothermique-station d'Ain Makhloof (1986-2020).*

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

- La première froide et humide ; s'étale sur 8 mois, du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai (lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de la courbe des températures).

- La seconde chaude et sèche ; s'étale sur 4 mois, depuis fin Mai jusqu'à fin Septembre (lorsque la courbe des températures passe au-dessus de la courbe des précipitations).

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

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

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

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

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 (l'écoulement est abondant).

Pour notre station d'Ain Makhloof :

P = 484.37 (mm) et T= 17.80 (C°) donc :

Station	Coefficient(A)
Ain Makhloof	17.42

Le calcul de l'indice d'E. Martonne indique que la zone d'étude appartient à un climat semi-aride caractérisé par une saison humide froide et une saison sèche chaude.

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 :

$$\mathbf{P = ETR + R + I}$$

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 evapotranspiration

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).

I.IV.2.4.1.1Evapotranspiration 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 :

$$\mathbf{ETP= 16(10T/I)^{a.} K}$$

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 (Nombre d'heures de la journée).

• a : exposant climatique : $a = 0.016\ I + 0.5$

Avec :

I=86.11 **a=1.87**

Les résultats sont résumés dans les tableaux ci-dessous (bilan hydrique), et illustrés dans la figure **IV.6**.

I.IV.2.4.1.2Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appel 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 Makhloof (1986-2020)*

Station	P (mm)	T (C°)	L	ETR (mm/an)
Ain Makhloof	484.37	17.80	1026.98	356.15

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 son degré de saturation dépend de ; la nature, la composition lithologique et 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 (Debieche, 2002) :

- si pour un mois P ≥ ETP on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura 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 ETR = ETP.
  - Si P + RFU < ETP ETR = P + RFU.

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

IV.2.4.2 Etablissement du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite

– Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite pour la station d'Ain Makhlouf a montré que l'ETP atteint son maximum au mois juillet (168.94 mm) et son minimum au mois de Février (17.52 mm).

– La constitution de la RFU débute au mois de novembre et s'étale jusqu'au mois de Mai.

– Le bilan hydrique pour une période de 34 ans dans la zone d'étude est déficitaire, les valeurs obtenues de l'évapotranspiration potentielle et réelle, le déficit agricole et l'excédent sont représentés dans le **tableau. IV.7**.

Tab. IV.7. *Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Ain Makhloof (1986-2020)*

Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (1999)													
Mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Aout**	**Annuel**
P (mm)	25,98	45,18	56,85	62,42	56,5	53,7	54,05	48,15	41,76	21,4	6,7	11,68	484,37
T(C°)	24,26	20,05	14,63	11,23	10	9,86	11,84	14,65	18,65	23,52	27,07	27,87	17,8
I	10.92	8,18	5,08	3,4	2,85	2,79	3,68	5,09	7,33	10,42	12,89	13,48	86,11
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)	114,32	75,38	37,07	21.29	18,41	17,52	29,89	47,54	82,13	127,79	168,94	166,89	907,17
ETR (mm)	25,98	45,18	37,07	21,29	18,41	17,52	29,89	47,54	82,13	81,03	6,7	11,68	424,42
RFU100 mm	0	0	19,78	60,91	99	100	100	100	59,63	0	0	0	
Da	88,34	30,2	0	0	0	0	0	0	0	46,76	162,24	155,21	482,75
Ex	0	0	0	0	0	35,18	24,16	0,61	0	0	0	0	59,95

Avec :

– 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 : excèdent en (mm).

Formules de vérification :

$$P = \sum ETR + \sum EX \Longrightarrow P = 424,42+59,95 = 484.37 \text{ mm.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA \Longrightarrow ETP = 424,42+482,75 = 907,17 \text{ mm.}$$

$$DA = \sum ETP - \sum ETR \Longrightarrow DA = 907,17 - 424,42 = 482,75 \text{ mm.}$$

EXC= ∑P - ∑ETR ⟹ EXC = *484.37 – 424,42= 59,95 mm*

Nous constatons que les résultats issus des bilans sont vérifiés

IV.2.4.3 Interprétation du bilan hydrique

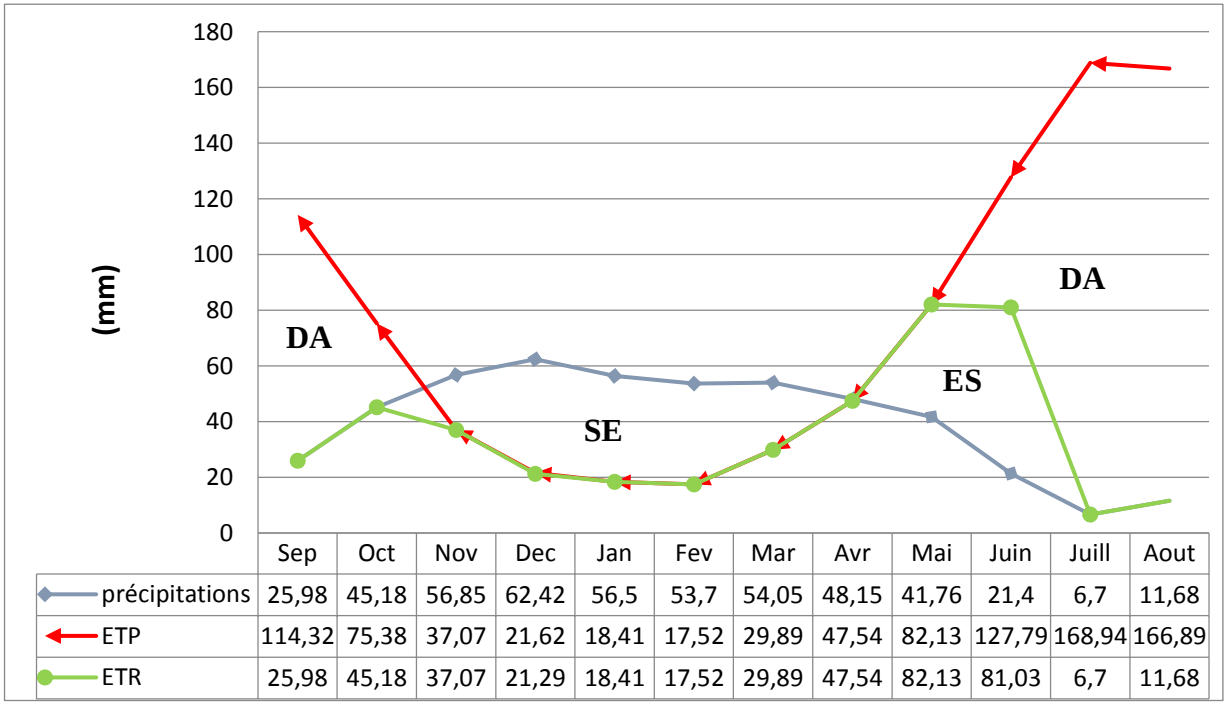
La figure 15 illustre les résultats de tableau ci-dessus. Le bilan hydrique de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (168.94 mm) et son minimum au mois de Février (17.52 mm).

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 (19.78 mm) et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de février 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.

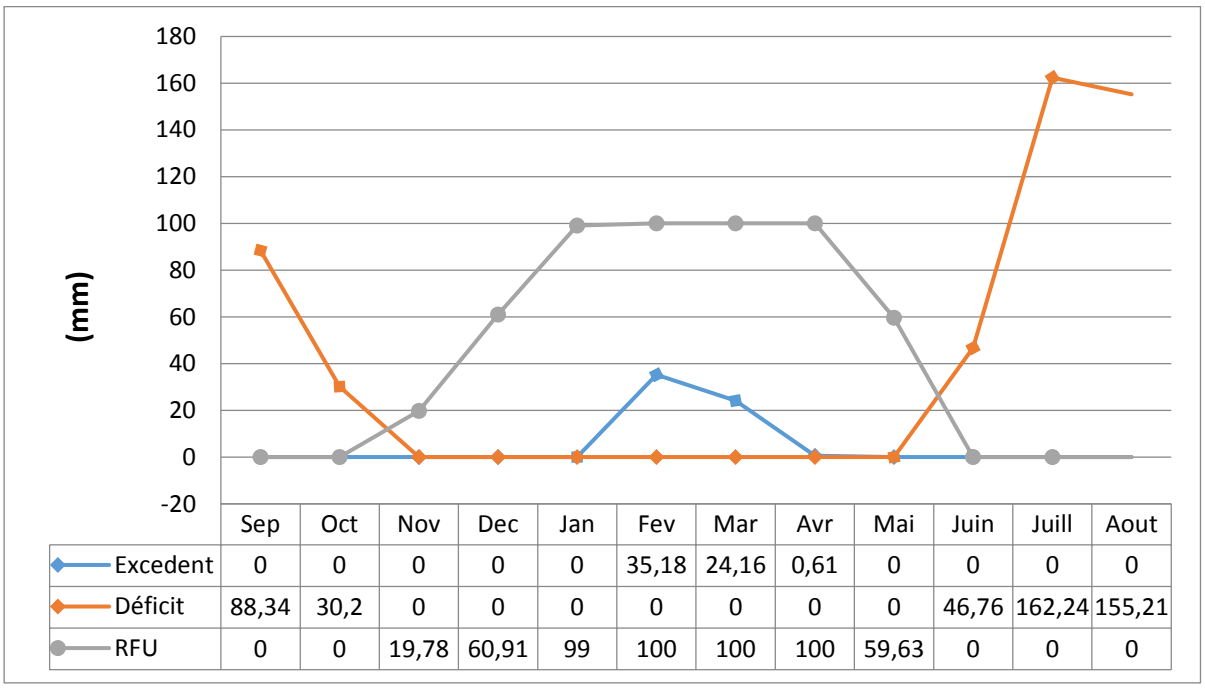
L'excédent commence à partir du mois de Février jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de Février (35.18 mm).



	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
précipitations	25,98	45,18	56,85	62,42	56,5	53,7	54,05	48,15	41,76	21,4	6,7	11,68
ETP	114,32	75,38	37,07	21,62	18,41	17,52	29,89	47,54	82,13	127,79	168,94	166,89
ETR	25,98	45,18	37,07	21,29	18,41	17,52	29,89	47,54	82,13	81,03	6,7	11,68

Fig IV.6. *Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Ain Makhloof (1986-2020)*

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



	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
Excedent	0	0	0	0	0	35,18	24,16	0,61	0	0	0	0
Déficit	88,34	30,2	0	0	0	0	0	0	0	46,76	162,24	155,21
RFU	0	0	19,78	60,91	99	100	100	100	59,63	0	0	0

Fig IV.7. *Variation mensuelles des résultats du bilan hydrique*

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 < 600mm.

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

Avec :

R : ruissellement.

P : précipitations.

ETP : Evapotranspirations potentielle calculée par la méthode de Thornthwaite.

Les résultats des calculs sont donnés dans le **tableau 08**.

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

Station	**P (mm)**	**ETP (mm)**	**R (mm)**
Ain Makhloof	484.37	907.17	46.02

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, après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous-sol.
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 ⟶ **I = P – R – ETR**

Avec :

I : l'infiltration (mm). **ETP** : évapotranspiration réelle (mm).

P : Précipitation Annuelle (mm). **R** : Ruissellement Annuel (mm).

Si I > 0 : Les entrée sont supérieures aux sorties.

Si I < 0 : Les entrée sont inférieures aux sorties.

Les résultats des calculs sont donnés dans le tableau

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

Paramètres	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
valeurs	484.37	424.42	46.02	13.93

IV.3 Conclusion

La synthèse des données nous permet de conclure que :

- Le climat continental semi-aride de la région d'étude est confirmé par des Hivers pluvieux et froids et des Etés chauds, secs et ensoleillés, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux ; la précipitation et la température avec des moyennes de 484.37 mm et 17.80C° respectivement.

L'interprétation du bilan hydrique selon la formule de C.W Thorthwaite, donne une évapotranspiration réelle très élevées de l'ordre de 424.42 mm/an présentant un pourcentage de (87.62%) des précipitations totales.

La formule de Tixeron-Bercaloff, donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 46.02 mm/an (9.50%) des précipitations, l'infiltration a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique avec 13.93 mm/an (2.87%) des précipitations enregistrées, La période de recharge s'effectue au mois de Novembre et commence à s'épuiser au mois de Mai.

Le déficit agricole pour satisfaire les besoins en eaux d'irrigation des cultures est estimé à 482.75 mm à la station d'Ain Makhloof.

Chapitre V :

Etude hydrogéologique

V.1 Introduction

Le déséquilibre flagrant entre les ressources en eau exploitées dans la région et les besoins des différents usages notamment agricoles où les possibilités d'une culture intensive dépassent largement l'offre, été notre soucie principale pour mener ce travail, car la problématique est plutôt dans la gestion et pas dans l'offre. L'évaluation et la valorisation prometteuse des ressources hydriques disponibles deviennent indispensables.

L'atteinte de cette objectif, passe obligatoirement par une étude hydrogéologique, permettant ainsi de comprendre le fonctionnement hydrogéologique des différents systèmes aquifère ainsi que la détermination des différents circuits à l'origine des différentes émergences. Dans la région d'Ain Larbi les eaux de sources comptent parmi les principales ressources hydriques disponibles, dont leur valorisation à travers ce chapitre demeure indispensable en suivant les démarches suivantes :

- ✓ L'estimation de leurs débits.
- ✓ La réalisation d'un inventaire général des sources
- ✓ 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 souterraine

V.2 Ressources hydriques :

Comme toute l'Algérie, la question des ressources en eau dans la commune d'Ain Larbi demeure une préoccupation majeure. En effet, la distribution de l'eau dépend en premier lieu des disponibilités des barrages et des forages eux-mêmes tributaires de la pluviométrie, variable au dans l'espace et dans le temps et tributaires des capacités des structures et des institutions compétentes à gérer les différents créneaux. Ces créneaux sont notamment :

- ❖ La construction des moyens de stockage et des réseaux d'adduction et de distribution ;
- ❖ La maintenance des infrastructures et des installations en bon état de fonctionnement ;
- ❖ La gestion des réseaux de distribution et des stations de traitement et d'épuration.

Les ressources en eau Ain L'Arbi proviennent des eaux de surface, des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables (ou faiblement), elles sont assez limitées, étant donnée la

dégradation climatique, le manque de grand vallées, et l'absence des barrages, ainsi que la rareté des puits et forages.

V.2.1 Les eaux de surface

D'après les informations recueillies de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Guelma, et la commune de Ain Larbi, la ressource en eau de surface provient essentiellement de de l'Oued Seybouse et ses Principaux affluents, qui sont alimentés principalement par les eaux pluviales.

. Oued Charef

Prend sa source au sud de la wilaya son apport est estimé à 107 Hm3/an à la Station Medjez Amar I. le barrage de Settara construit à l'amont d'Oued Charef, n'obéit pas aux besoins agricoles possibles pour l'irrigation des cultures intensives caractérisant la région.

. Oued Chaniour

Principale affluent de l'Oued Charef, caractérisé par un régime irrégulier de son écoulement lié aux fluctuations saisonnières des précipitations.

. Oued El Aar

Son écoulement temporaire minimise son importance stratégique, exceptés les quelques exploitation locale d'irrigation.

. Oued E'ssabet

Du même ordre que ce lui d'Oued Al Aar.

Les autres formes des écoulements de surface restent modestes, la seule possibilité sérieuse pour valoriser les ressources superficielles locales est la construction d'un autre barrage sur Oued Charef avale.

V.2.2. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du bassin. 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 commune de Guelma et d'Ain Larbi. Nous tenterons d'identifier les ressources souterraines en eau de la région de recherche, y compris les horizons aquifères existants et leurs propriétés hydrodynamiques. Ces horizons peuvent être classés comme suite :

. Le système aquifère karstique in clue dans les formations carbonatées se situant au centre et à l'Est du territoire communal.

. Le système aquifère alluvionnaire à nappe libre, qui occupe le Sud et le Sud –Ouest de la zone d'étude, caractérisée par des formations marno- sableuses et argileuses avec des débris de calcaire et de conglomérat.

. Le système aquifère gréseux au Nord constitué de grés argileux de faible perméabilité.

L'alimentation en eau potable de la population d'Ain Larbi est assurée par trois sources et un forage.

Les trois captages se trouvent l'un près de l'autre tel que :

Deux sources parmi les quelles fournissent respectivement des débits de (Q1=12 l/s), (Q2= 13 l/s), elles sont reliées à une troisième source assurant un débit de 20 l/s,

Le forage est relié à la conduite de la source S3 par un point de ramification (Pr) distant de 20m de S3 et 30m du forage (F).

Le débit cumulé au point de ramification (Pr) de (37 l/s), alimente la bâche à eau avec une conduite de longueur de 1062m.

Un nouveau forage réalisé récemment, pas encore en service.

V.3 Inventaire des points d'eau :

Au sein, de ces nappes deux forages implantées dans la région,

Une vingtaine de puits repartis aussi à travers les mechtas desservant la population en eau potable. Une soixantaine de sources s'émergent en milieu rural, et qui sont reparties à travers les mechtats et alimentent ces dernières en eau potable.

V.3.1 Les forages :

Dans la commune d'Ain Larbi, on a 02 forages qui ont été réalisés par différentes sociétés et exploités avec un dédit total dépassant les 60 l/s. Ces forages sont destinés essentiellement à l'AEP du village d'Ain Larbi.

V.3.2 Les puits :

Grâce aux informations recueillies par des enquêtes avec les habitants locaux, qui nous ont orientés pour visiter cinq des puits de la zone, récapitulés dans le tableau suivant, leur débit est un débit significatif et important, qui varie au cours de la période des basses et des hautes eaux.

Tab V.1. *Inventaire des puits d'Ain Larbi*

N° du point d'eau	nom du point d'eau	X	Y	NP
P1	Nakhla	7,39	36,22	960
P2	Touil Abd Elhamid	7,4	36,22	955
P3	Rebai Said	7,447	36,228	1140
P4	Sammoudi Ammar	7.4067	36.2898	920
P5	Derouiche Brahim	7.3172	36.2450	640

V.3.3 Les sources :

Grace aux données reculées des sévices hydrauliques et d'hygiènes de la commune d'Ain Larbi et par l'accompagnement des connaisseurs de la région, nous avons pu effectuer plusieurs sorties sur terrain pour recenser, visiter et mesurer l'ensemble des points d'eau.

Liées aux horizons aquifères cités plus haut, un nombre important des sources s'émerge, dont 45 parmi les quelles (y compris 3 sources thermales) étaient l'objet de nos visites, observations, mesures et échantillonnage. **(Tab. V.2) et (Fig.V.1)**

Les trois principaux paramètres qui déterminent le débit d'une source sont la perméabilité, l'aire d'alimentation de l'aquifère et la quantité d'alimentation (pluies). La plupart des sources montrent des fluctuations mesurables du débit dues aux variations saisonnières des précipitations.

Tab V.2. *Inventaire des sources de la commune d'Ain Larbi (Avril 2022)*

Nature de formations	N° de la source	Nom de la source	X	Y	NP (m)	T(c°)	C E (µs/cm)	PH	Salinité	Débit (l /s)	Analyse chimique
Formations karstiques	S1	Ain Fras	7,39	36,23	837	16,1	584	7,03	0,07	0,75	Oui
	S2	Ain Hssasni	7,37	36,22	857	14,5	206	7,27	0,05	5	
	S11	Ain Ouled Berri	7,414	36,234	944	15,8	367	7,51	0,05	0,3	Oui
	S12	Ain Ramdani	7,412	36,241	876	15,7	362	7,45	0,05	6	Oui
	S13	Aouedj(1)	7,423	36,25	823	17,3	391	7,72	0,05	20	Oui
	S14	Ain Oum Touem	7,396	36,268	900	16,5	457	7,54	0,06	12	Oui
	S15	Ain Bir	7,436	36,271	972	15,8	631	7,5	0,09	0,6	Oui

		Youcef									
	S16	Ain Essghar	7,426	36,275	970						
	S17	Ain Nhal	7,415	36,275	990	14,6	470	7,47	0,06	faible	
	S18	Ain Lehlig	7.4171	36.2813	916						
	S23	Ain Larbi	7,381	36,266	901	16,2	523	7,16	0,07		Oui
	S26	Ain Elbordj	7.3573	36.2802	775					très important	
	S27	Ain Aouedj2	7.4437	36.2446	973					13	
	S45	Ain Ben Youb	7.4292	36.2815	883						
Alluvions argilo-sableuses	S3	Ain Addhar	7,4	36,22	1029	14,4	544	7,45	0,06	0,6	
	S4	Aain Chiaoui	7,4	36,219	950	14,9	780	7,5	0,1	0,4	
	S5	Ain Djenane	7,39	36,217	910						
	S6	Ain El Fadj	7,414	36,222	1061	13	417	7,9	0,05	0,4	
	S7	Ain Nouedre	7,425	36,223	1031	15,6	535	7,52	0,06	0,6	Oui
	S8	Ain Dalia	7,338	36,234	710	16,1	542	8,19	0,07	Très important	Oui
	S9	Ain Souk	7,351	36,237	714	15,1	420	7,8	0,06		Oui
	S10	Ain Djemel	7.3946	36.2447	741						
	S24	Ain Oum Hani	7.3955	36.2337	851						

	S25	Ain Barka	7.3882	36.2562	777						
	S36	Ain Araima	7.369	36.258	774						
Formation argilo- gréseuse	S19	Ain Karma(1) Kaf Sabih	7,375	36,0307	1072	13,1	954	6,54	0,014	0,4	
	S20	Ain Ammar	7.3665	36.378	1060						
	S21	Ain Karmet Zkoukou	7.3721	36.3074	1070						
	S22	Ain Nakib Houcine	7,381	36,29	884	15,5	524	7,66	0,07	0,8	Oui
	S28	Ain Abbas	7.4535	36.2621	948						
	S29	Ain Nezzar	7.3624	36.3326	781						
	S30	Ain Kati	7.3591	36.2886	811						
	S31	Ain Maâlem	7.3576	36.235	777						
	S32	Ain Rebbahi	7.3319	36.2792	620						
	S37	Ain Kafi	7.3683	36.3316	847						
	S38	Madjen El Bordj	7.3549	36.3297	787						
	S39	Ain Sidi Abd El Hafid	7.3525	36.3416	617						
	S40	Ain Guelmi	7.3708	36.3330	877						
	S41	Ain Siaaoui	7.3813	36.3366	1040						
	S42	Ain El Hofra	7.3270	36.2998	718						
	S43	Ain	7.3783	36.3042	977						

		SAndouk									
	S44	Ain Ftouh	7.3989	36.3068	860						
Thermales	S33	Hammame Guerfa	7.3394	36.2462	676	58,1	2320	7,8			
	S34	Hammame Bel Hachani	7.3395	36.2392	715	60	2280	8.5			
	S35	Ain Feddawi	7.316	36.233	648	30	2286	7.5			

CE : Conductivité électrique **NP** : Niveau piézométrique

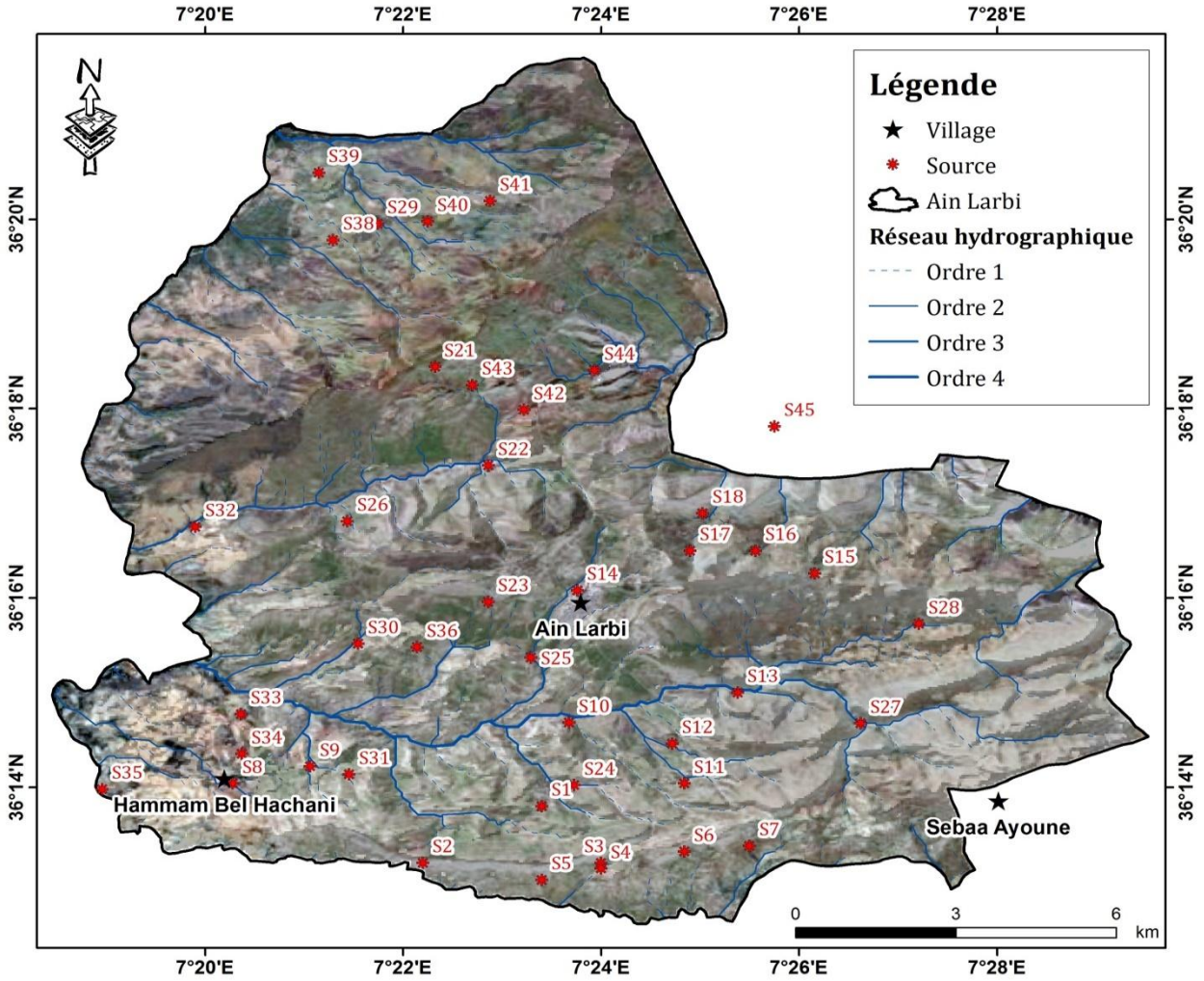


Fig V.1. *Carte d'inventaire des principales sources dans le territoire communale d'Ain Larbi*

V.4 Identification des nappes

Même en absence d'une étude géophysique de la région, la caractérisation des différents systèmes aquifères été possible grâce à ; l'étude géologique, litho stratigraphique, logs stratigraphiques des forages et surtout grâce aux observations et mesure menus sur terrain.

On a pu constater que ; le système hydrogéologique de la région d'Ain Larbi et très complexe ; car on y rencontre une multitude d'horizons. Il débute à la surface par les formations aquifères constituées par les dépôts du Quaternaire et du Mio-Plio-Quaternaire qui couvrent la partie Sud et Sud-Ouest du territoire communale d'Ain Larbi et se prolonge en profondeur, jusqu'aux aquifères dans les calcaires fissurés et karstifié d'âge éocène. L'ensemble est compliqué par l'existence d'une multitude de passages argileux-marneux imperméables formants par endroit, le toit des nappes profondes en leur conférant le caractère de nappes captives.

Les horizons aquifères communiquent entre eux soit directement par les couches perméables ou bien par l'intermédiaire de failles affectants les formations calcaires et qui permettent la circulation d'eau.

En effet, cette dernière est le siège d'une succession de horst (môle de Safiat Bellile) et de graben (effondrement de d'Oued E'ssabet et d'Oued Chaniour). (***Fig.V.1)***

Dans sa structure, le môle de Safiet Bell ile d'âge Campanien – Maistrichien s'identifie à un anticlinal percé par les formations calcaires Eocènes de l'unité penitellìène ; alors que les effondrements des vallées des Oueds représente une zone de subsidence, ayant l'allure des contacts anormaux sous forme des fronts de charriage (Oued E'ssabet) ou des failles comblées par les formations Mio-Plio-Quaternaires.

La partie Nord du secteur étudié est occupé par des formations argilo- gréseuses de l'unité numidienne de fable perméabilité.

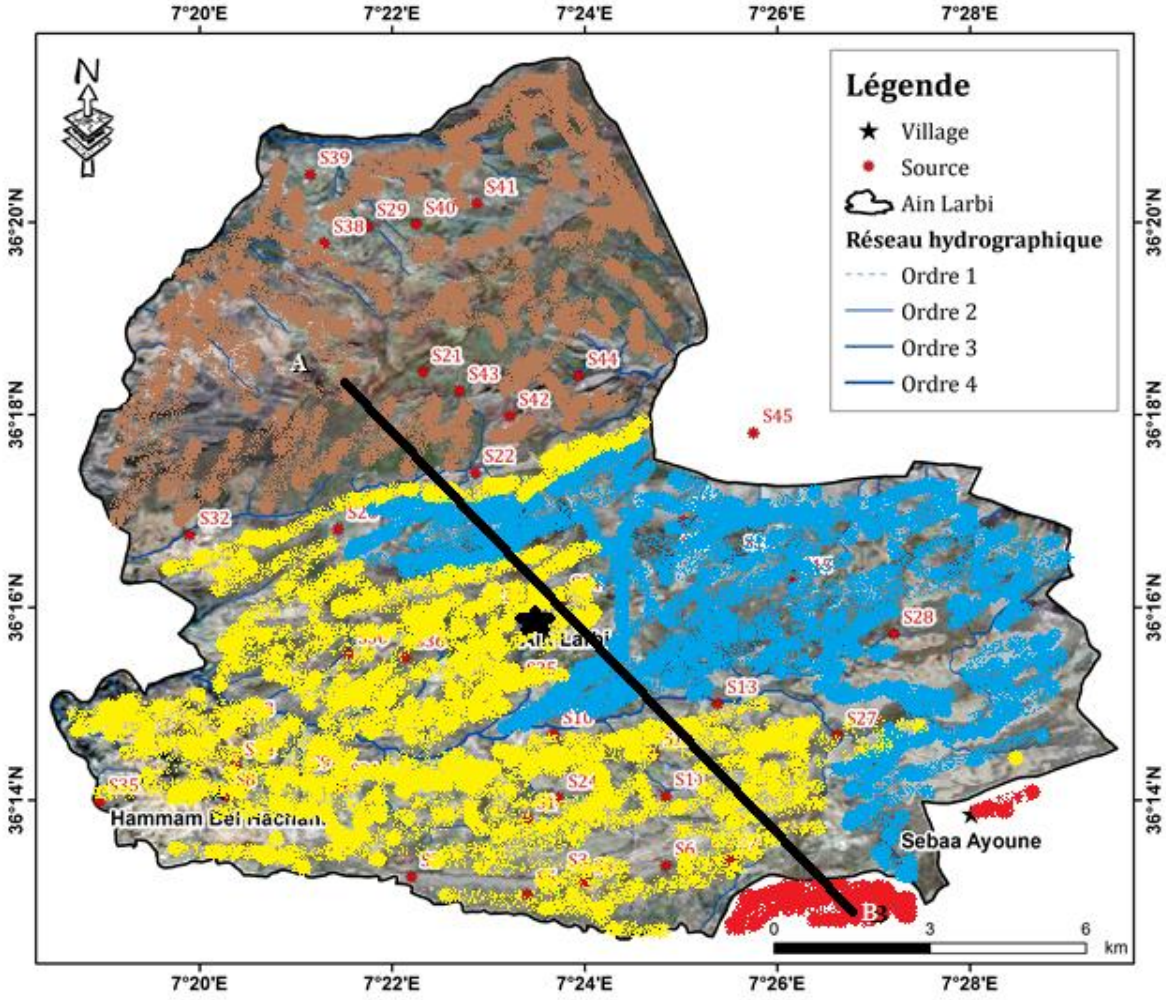


Fig. V.2. *Carte schématique de la répartition des formations géologiques avec emplacement de la coupe hydrogéologique AB*

La coupe hydrogéologique AB ***(Fig.V.3)*** nous a permis, également, de déterminer le niveau statique de la nappe libre ainsi que celui de la nappe profonde.

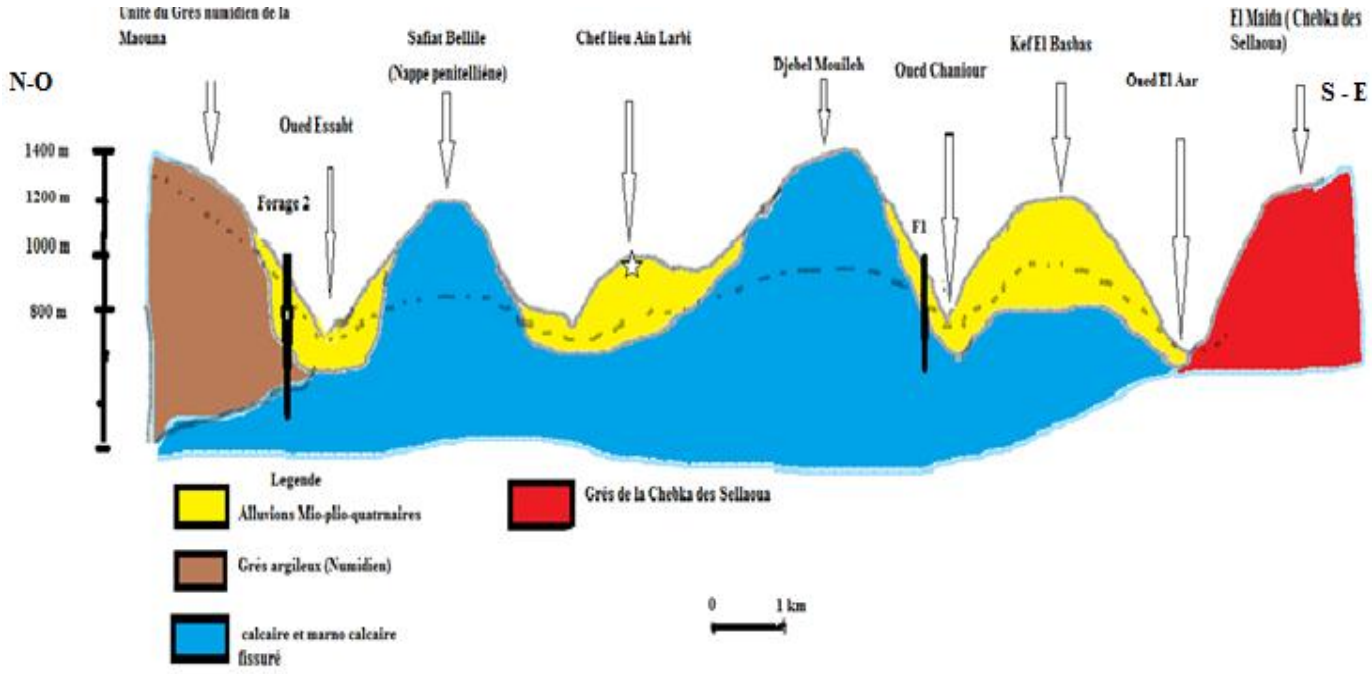


Fig. V.3. *Coupe hydrogéologique schématique dans la région d'Ain Larbi*

V.4.1 Aquifère à nappe libre dans les dépôts du quaternaires :

La nappe possède une faible puissance hétérogène constituée d'argiles sableuses, de sable argileux et débris calcaires ; ce qui lui donne une faible possibilité aquifère, cette nappe et exploitée par les puits domestiques avec un faible débit. Elle occupe la partie Sud e Sud-Ouest de la plaine. Alors qu'au Nord-Ouest de Safiet Bellile, elle est traversée par un forage mécanique profond (F2).

V.4.2 Aquifère à nappe karstique dans les dépôts de l'Eocène :

Elle est constituée de calcaires fissurés et karstiques d'âge éocènes situés aux alentours du village d'Ain Larbi et forme l'ensemble de Djebel Mouileh. C'est la plus importante nappe de la région, où l'extension latéral et verticale du faciès des calcaires dans Djebel Mouileh augmente l'importance de cette nappe ; signalant que lors de l'exécution du forage (F1) la nappe éocène a fourni 17 l /s.

V.4.3 Aquifère à nappe libre dans les formations argilo-gréseuses

Elle est constituée de grés –argileux et conglomératiques parfois sableux. Les grés numidiens d'âge oligo-méocène, est peu perméable d'où le caractère temporaire des régimes de la majorité des sources.

V.4.4 Les sources thermales

La température élevée de ces eaux explique leur origine profonde. La complexité litho-structurale de la région est marquée par l'empilement d'unités allochtones numidiennes et telliennes respectivement à dominantes argilo-gréseuse et marno-carbonatée. Les seules formations supposées autochtones et continues en profondeur sont représentées par le néritique. Ce dernier lorsqu'il affleure à la surface constitue des zones d'alimentation partielle des eaux thermales d'où les débits relativement importants. Les sources émergeant à ce niveau ont montré des fluctuations saisonnières de débits et de températures plus ou moins importantes. Les sources obéissantes à ces caractéristiques sont : Hammam Guerfa, Hammam Belhachani et en degré moindre Ain Feddawi.

V.5 Alimentation des nappes

Il existe une liaison hydraulique entre toutes les nappes existantes dans la région. La nappe phréatique peut alimenter la nappe captive par drainance (faible puissance des formations imperméables) et inversement, les nappes captives peuvent alimenter la nappe libre. Cette alimentation est assurée par un système de failles affectant les formations calcaires fissurées. A titre d'exemple, la source remontante de Ain Ramdani S12 où les eaux remontent à la faveur d'une faille et alimentent les nappes sus- jacentes.

La nappe libre dans les dépôts du quaternaire s'alimente par l'infiltration directe des eaux météoriques ou par remonté des eaux de la nappe karstique.

Au sud, l'alimentation de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire est assurée par l'échange entre cette nappe et celle de l'Eocène. Au Nord, elle est alimentée par la nappe du Campanien – Maestrichtien par l'intermédiaire des failles.

Pour la nappe de l'Eocène qui affleure à l'Est, son alimentation se fait par l'infiltration directe des pluies à travers les fissures. Dans la partie centrale de la plaine, l'alimentation se fait également, par l'infiltration directe des pluies passant à travers le Quaternaire.

L'alimentation de la nappe des grés numidien se fait par l'infiltration directe des pluies par l'intermidiaire des failles et les fissures.

V.6 .Le choix des sources importantes et les zones favorables à l'implantation des captages

Nous avons opté 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 **: (Tableau V.3).**

Tab. V.3. *Inventaire des principales sources de la région d'Ain Larbi avec dénomination et coordonnées*

Nature de formations	N° de la source	Nom de la source	X	Y	NP (m)	T(c°)	Débit (l /s)	Usage	Analyse chimique
Formations karstiques	S2	Ain Hssasni	7,37	36,22	857	14,5	5	AEP+ Irr	
	S12	Ain Ramdani	7,412	36,241	876	15,7	6	AEP+ Irr	Oui
	S13	Aouedj(1)	7,423	36,25	823	17,3	20	AEP	Oui
	S14	Ain Oum Touem	7,396	36,268	900	16,5	12	AEP	Oui
	S26	Ain Elbordj	7.3573	36.2802	775		très important	AEP+Irr	
	S27	Ain Aouedj2	7.4437	36.2446	973		13	AEP	
Alluvions argilo-sableuses	S8	Ain Dalia	7,338	36,234	710	16,1	Très important	AEP	Oui
Thermales	S33	Hammame	7.3394	36.2462	676	58,1		Tourisme	

		Guerfa						(Baignade)	
	S34	Hammame Bel Hachani	7.3395	36.2392	715	60		Tourisme (Baignade)	
	S35	Ain Feddawi	7.316	36.233	648	30		Irr	

AEP : Alimentation en eau potable, **Irr** : Irrigation,

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

V.6.1 Conditions hydrogéologiques des différentes émergences

Le débit important et sa constance saisonnière et annuelle été à la base du classement de ces sources pour une meilleur exploitation et préservation. Le mérite de ces caractéristiques revient aux conditions hydrogéologiques de leurs émergences à savoir :

- la source S2 (Ain Hssasni) ; apparaisse au niveau des alluvions d'habitude médiocres, elle s'émerge à partir d'une nappe libre, au niveau d'un exutoire topographique, avec une petite valeur des courbes de niveau dans le terrain d'étude (**857** m), 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, cette source a probablement pris naissance au niveau des formations marno-calcaire de kef el Besbesse et elle a gardé ses caractéristiques pour réapparaitre au niveau des alluvions à travers une faille probable dans les formations sou jacentes.

- Les source S12, S14 et S26 ; Emergent à des endroits différents mais suivant les mêmes conditions hydrogéologiques relatives, dont elles se ressemblent par leurs situations au piémont du massif calcaire fissuré de Lemouileh (S12 et S14) et de Safiet Bellile (S26), où le circuit

hydrique karstique se trouve intercepté avec les alluvions peu perméables pour donner naissance à ces sources.

- Les sources S13 et S 27 (Aouedj 1 et 2) s'émergent à des endroits différents et aux lits majeurs des cours d'eau (affluents de L'Oued Chaniour d'ordre 1) au sein des formations calcaires de Djebel Lemouileh, où ces lits peuvent être due à des failles locales collectrices de l'ensemble des circuits hydriques inclues dans les formations karstiques.

- La source S8 (Ain Dalia) s'émerge au niveau de la rive Nord de l'Oued El Aar qui s'écoule suivant un contacte anormale qui est le front de charriage entre la Cheb kA des Sellaoua au Sud et la nappe Penitelliène au Nord. La discontinuité lithologique et structurale, l'aspect géomorphologique dépressionnaire et les conditions hydrologiques sont à l'origine de l'apparition de cette source.

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 S33, S34 et S35 (Hammam Guerfa, Hammam Belhachani et Ain Feddawi) ;

Vu leurs caractéristiques thermales ces sources étaient les seul dans la région qui ont été objet de plusieurs études multidisciplinaires (Hydrogéologiques, hydrauliques, socio-économiques et médicales). Nos visites sur terrain étaient complémentaires pour l'ensemble des détails des travaux précédents qui vont être introduites dans ce chapitre, à savoir :

a- S34 (Source du Hammam Belhachani)

- **Situation géographique :**

La source thermale du Hammam Belhachani est située au sud de Guelma, Elle est à 10 Km d' Ain Makhloof et à 10 Km d'Ain El Arbi.

Cette source est située dans une Mechta à 2 Km à droite de la route Ain Makhloof-Ain Arbi.

- **Morphologie et allure des griffons :**

-Source de terrasse ;

-Emergence bien localisée ;

-L'eau sort dans une vasque ;

-Présence des dépôts de tufs et de travertins.

- **Conditions géologiques d'émergence :**

Les sources émergent dans un terrain de travertins et de tufs quaternaires. Ces derniers couvrent des calcaires blancs d'âge Yprésien-Lutétien inférieur.

L'eau chaude sort à travers les fissures de calcaires.

Ces eaux viennent au jour à la faveur d'une faille ou pli-faille marquée par la présence des marnes éocène-crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains éocènes.

Selon l'ANRH d'Annaba, l'aquifère à lequel se rattache notre émergence est situé à plus de 1000m de profondeur.

- **Régime d'écoulement :**

-Débit sortant constant (365 jours) ;

-Débits capté :**(E_1)**0,5 l /s ;

- Débit des fuites : **E_2**,**E_3**, **E_4** : faible (=0,5 l /s.

- **Caractères organoleptique des eaux :**

-**Odeur :** de soufre ;

-**Couleur :** incolore ;

-Dégagement de gaz H_2S.

b- S33 (Sources du Hammam Guerfa)

- **Situation géographique :**

Le Hammam Guerfa est situé à 37 Km au Sud de Guelma, sur la route Ain Mekhlouf- Ain El Arbi.

La source est située à 500 m de la rive gauche de l'Oued Chaniour.

- **Morphologie et allure des griffons :**

-Emergence bien localisée ;

-L'eau sort dans un terrain à grande pente ;

-Présence des anciens griffons et travertins.

- **Conditions géologiques d'émergence :**

La source sort dans des travertins et des tufs hydrothermaux du Quaternaire.

L'émergence vient au jour par une faille ou pli- faille marquée par la présence des marnes éo-crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains éocènes.

Lors des séismes, l'eau sort avec une couleur rouge pendant quelque jour, et ce qui indique que l'émergence se fait à travers une zone active sur des formations tendres (argiles).

Selon l'ANRH d'Annaba, l'aquifère à lequel se rattache notre émergence est situé à plus de 1000m de profondeur.

- **Régime d'écoulement :**

-Débit constant ;

-Nombre de jours d'écoulement : 365 jours ;

-Observation des débits : 1,1 l /s

Caractères organoleptiques des eaux :

- Odeur : hydrogène sulfuré ;

-Couleur : incolore ;

-Dégagement de gaz H_2S.

c – S35 (Source Feddawi)

Liée aux mêmes conditions de l'émergence de Hammam Belhachani, à une distance d'environ 2 km de ce dernier et une altitude inferieure de 40m de différence, ces eaux ont subi un écoulement proche de la surface causant leur refroidissement.

V.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons constaté que la région d'Ain Larbi se situe au niveau d'une zone de broyage entre le sillon de Sellaoua au Sud et la nappe numidienne au Nord, et occupée par les formations de la nappe penitellième, en forme d'une alternance de Horst et Graben, plongeant au Sud, et à l'Ouest cette situation attribue à la région une diversité hydrogéologique à savoir :

- le système karstique au centre et à l'Est, formé de calcaires d'âge Eocène, Campanien – Maistrichien, affecté par des failles, a forte capacités hydrogéologiques.
- Formation alluvionnaires relativement perméables Sud et au Sud-Ouest.
- Formations argilo-gréseuses et conglomératiques de l'unité numidienne d'âge Oligo-méocène

L'interaction entre les différents 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. Et qui offrent des indications précieuses pour d'autres possibilités de captage et de forage.

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 :

Etude hydrochimique

VI.1 Introduction

La valeur des ressources hydriques ne réside pas uniquement dans sa quantité et sa disponibilité mais surtout dans sa qualité dont on sait que les caractéristiques physico-chimiques d'une eau sont très variées, dans une même nappe ; Les principales causes de cette variabilité peuvent être naturelles ou anthropiques , où la nature du sol détermine la composition chimique des eaux souterraines (Noiriel, 2005) et l'eau est constamment en contact avec la roche sur laquelle elle stagne ou circule, ainsi l'équilibre se développe entre la composition de la roche et celle de l'eau. En outre l'action anthropique liée aux différentes activités de l'homme, peut dépasser la limite du changement de la qualité de l'eau pour atteindre sa détérioration.

La dégradation de la qualité de l'eau par la lithologie reste possible, mais pas au même niveau que la contamination d'origine anthropiques. Comme il est le cas dans toute l'Algérie les ressources hydriques dans la région d'Ain Larbi ne sont pas à l'abri de toutes ces influences. Pour mieux visualiser ces processus nous avons mené une étude hydrochimique, qui vise à déterminer la qualité des eaux souterraines dans le territoire communale d'Ain Larbi, dont leur valorisation passe nécessairement par cette étape, pour pouvoir les qualifier comme des eaux potables ou les orienter pour d'autres fins ; tel que l'agriculture, l'industrie.

Le travail a été réalisé par des mesures in situ, des prélèvements d'échantillons pendant la période de Mars 2022 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

VI.2.1 Mesures in situ

[T (°C), pH, conductivité (µs/cm) et minéralisation].

- Ce sont Quatre paramètres physico-chimiques qui sont mesurés et calculer in situ directement après le prélèvement des échantillons à l'aide d'un Multi paramètre de marque *(HACH USA)*

VI.2.2 Matériel et méthodes

Echantillonnage et points de prélèvement

Nous avons prélevé des échantillons d'eau Selon la méthode traditionnelle.

Nous remplissons les bouteilles à la main sous l'eau et les fermons hermétiquement pour éviter toute interaction.

Nous avons également numéroté et classé les échantillons selon les emplacements.

VI.3 Qualité des eaux souterraines

Nous avons opté à prélever les échantillons à partir de 17 sources pendant la période des hautes eaux, dont leur répartition spatiale, leur importance hydrogéologique et leur intérêt socioéconomique été à l'origine de ce choix.

VI.3.1 Paramètres physiques

Les valeurs des paramètres physiques sont récapitulées dans le tableau **suivant :(Tab.VI.1)**

Tab. VI.1 .*Paramètres physiques de quelques points d'eau dans la région d'Ain Larbi (Mars 2022)*

Nature de formations	N° de la source	Nom de la source	T(c°)	C E (µs/cm)	PH	Débit (l /s)	Analyse chimique
Formations karstiques	S1	Ain Fras	16,1	584	7,03	0,75	Oui
	S2	Ain Hssasni	14,5	206	7,27	5	
	S11	Ain Ouled Berri	15,8	367	7,51	0,3	Oui
	S12	Ain Ramdani	15,7	362	7,45	6	Oui
	S13	Aouedj(1)	17,3	391	7,72	20	Oui
	S14	Ain Oum Touem	16,5	457	7,54	12	Oui
	S15	Ain Bir Youcef	15,8	631	7,5	0,6	Oui
	S17	Ain Nhal	14,6	470	7,47	faible	
	S23	Ain Larbi	16,2	523	7,16		Oui
Alluvions argilo-	S3	Ain Addhar	14,4	544	7,45	0,6	
	S4	Aain Chiaoui	14,9	780	7,5	0,4	

sableuses	S6	Ain El Fadj	13	417	7,9	0,4	
	S7	Ain Nouedre	15,6	535	7,52	0,6	Oui
	S8	Ain Dalia	16,1	542	8,19	Très important	Oui
	S9	Ain Souk	15,1	420	7,8		Oui
Formation argilo- gréseuse	S19	Ain Karma(1) Kaf Sabih	13,1	954	6,54	0,4	
	S22	Ain Nakib Houcine	15,5	524	7,66	0,8	Oui
	S28	Ain Abbas					
Thermales	S33	Hammame Guerfa	58,1	2320	7,8		
	S34	Hammame Bel Hachani	65	2280	8.5		
	S35	Ain Feddawi	30	2286	7.5		

CE : Conductivité électrique

La conductivité électrique

La conductivité liée à la présence des espèces ioniques en solution. Ce paramètre permet de donner une information sur la minéralisation totale de l'eau.

Dans cette étude, les conductivités de l'eau des sources observées varient entre 206 et 2320 µs/cm,

Les teneurs sont très variables, elles varient d'une valeur minimale de 206µs/cm, au point S2 (Ain Hssasni) à une valeur maximale de2320µs/cm, **(Tab.VI.1)** au niveau des eaux Hammam Guerfa (33). Excepté les trois sources thermales, les valeurs sont acceptables pour les normes algériennes et de l'OMS (2800 µs/cm à 20°c).

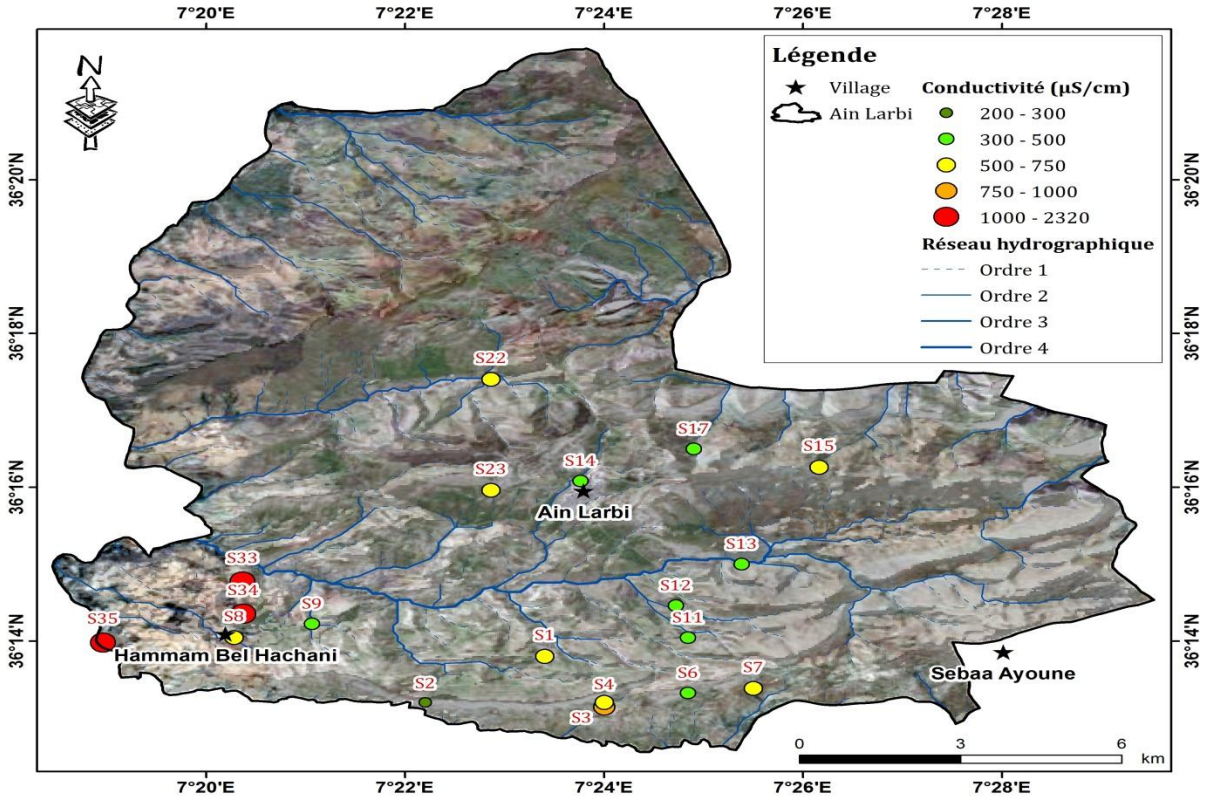


Fig. VI.1. *Carte d'iso conductivité électrique des eaux de sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022)*

La température (T)

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz, ainsi que dans la variation de la valeur du pH.

Si l'aquifère est très profond, les eaux sont influencées par le gradient géothermique.

La température est mesurée directement et simultanément avec la conductivité. La valeur est lue sur l'afficheur du conductimètre. Elle est exprimée en degré Celsius (°C).

Dans cette étude, Les trois sources thermales (S33, S34 et S35) présentent des valeurs très élevées de la température varient de, 30°c à 65°c. **(Tab.VI.1)**

Les températures de l'eau du reste des sources observées varient entre 13°c à 17.5°c ce qui est loin de toute influence hydrothermale.

Il est à noter que la valeur minimale est enregistrée au niveau de la source S6 (13°c), alors que les fortes valeurs sont observées dans d'autres sources avec une valeur maximale de 17.3 (S13).

Le potentiel d'hydrogène pH

Le pH est une mesure de l'activité des ions H+ contenus dans l'eau (pH = -log [H+]).

Le pH des eaux souterraines est généralement compris entre 6,5 et 8,5. Donc s'il est supérieur à (7) l'eau sera basique, s'il est inférieur à (7) l'eau sera acide. Il diminue en présence des teneurs

élevées en matière organique et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est importante.

L'observation des résultats montre que les valeurs de pH mesurées aux différents points varient entre 6.5-7.9, **(Tab.VI.1)**

Il est à noter que les valeurs minimales sont enregistrées au niveau de la source S19 (6.5), les fortes valeurs sont observées dans d'autres sources avec une valeur maximale de 7.9 (S6),

Cette gamme de variation du pH mesurés aux différents points d'eau (entre 6,5 et 7.9) rend ces eaux acceptables pour l'alimentation en eau potable conformément aux normes algériennes.

VI.3.2 Paramètres chimiques (Analyses au laboratoire)

Les éléments chimiques (majeurs, ...), analysés au niveau du Laboratoire de Génie Géologique (LGG) de l'université de Jijel. En référant les méthodes d'analyse des Éléments chimique aux celles décrites par Rodier, à l'instar, Cl, SO4, HCO3, NO3, NO2, NH4, PO4, Mg, Ca+, Na, K.

La fiabilité des résultats a été testée par la formule de la balance ionique, qui a donné des valeurs inférieures à 10 pour l'ensemble des échantillons confirmant ainsi leur fiabilité.

VI.3.2.1 Les éléments majeurs

a. Les Cations

- **Le Calcium (Ca^{2+})**

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

Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO3), soit la dissolution des formations Gypseuses (CaSO4).

Les teneurs sont très variables, elles varient d'une valeur minimale de 89 mg/l au point S9 (Ain souk) à une valeur maximale de 157 mg/l au niveau des eaux d'Ain Bir Youcef (S15). **(Fig.VI.2)**

La teneur en Ca relativement élevée au niveau de la source d'Ain Bir Youcef est due à la nature lithologique carbonatée de la zone d'émergence (Djebel Mouileh), où le lessivage des formations calcaires karstifiées favorisé par l'importante vitesse d'écoulement est le facteur principal de cette augmentation.

Tandis que l'excès du Ca à la source d'Ain Souk est lié probablement à la nature stagnante de la plaine où le temps de contacte eau – roche est important.

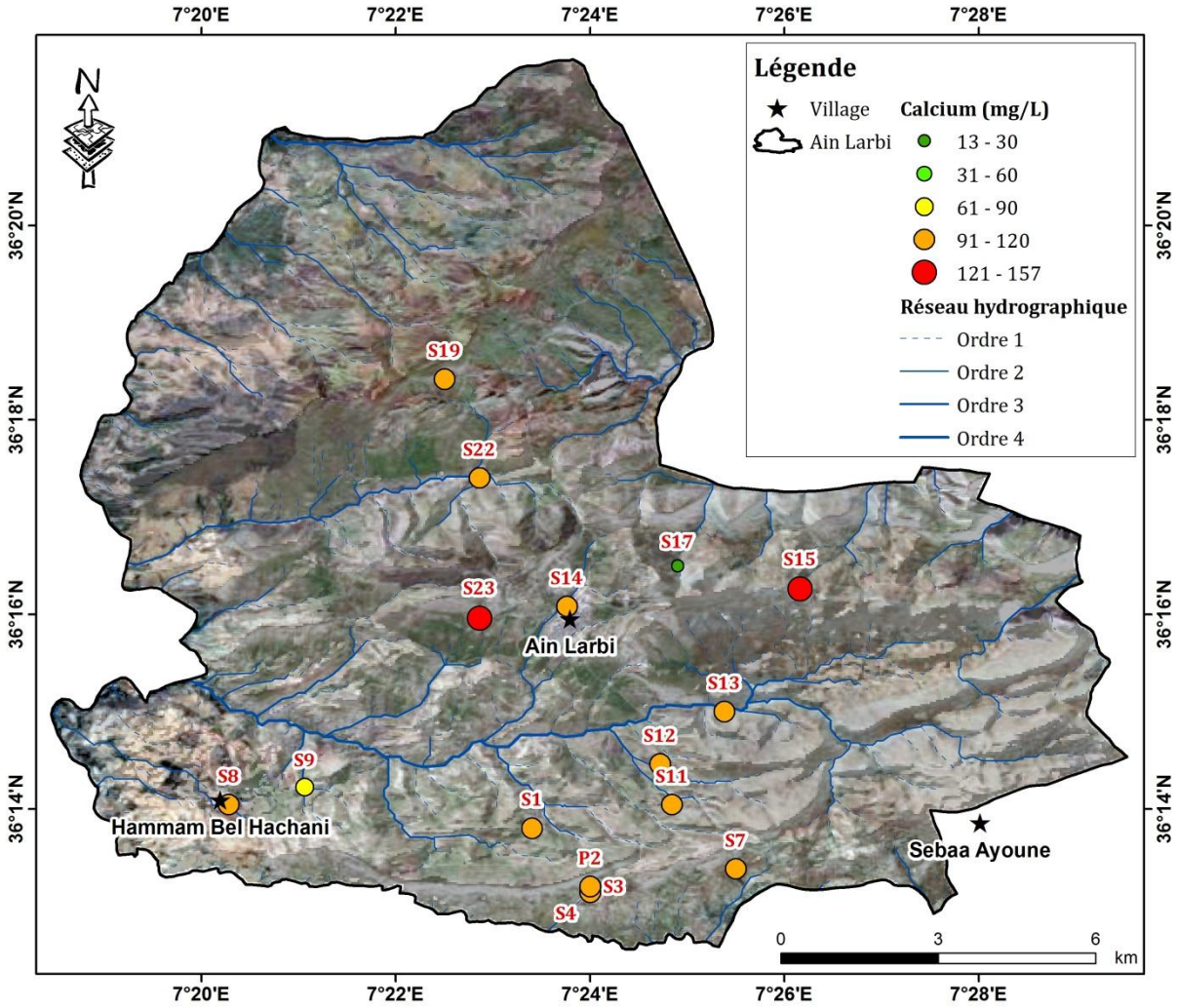


Fig VI.2. *Carte d'iso- teneurs en Calcium des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022)*

Les valeurs sont acceptables pour la norme algérienne et de l'OMS (200 mg /l).

- **Le Magnésium (Mg2+)**

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium. Car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

La plupart des sources présentent des valeurs importantes allant jusqu'à 85.5 mg/l enregistrés à la source S17 (Ain Enhal). ***(Fig.VI.3)***

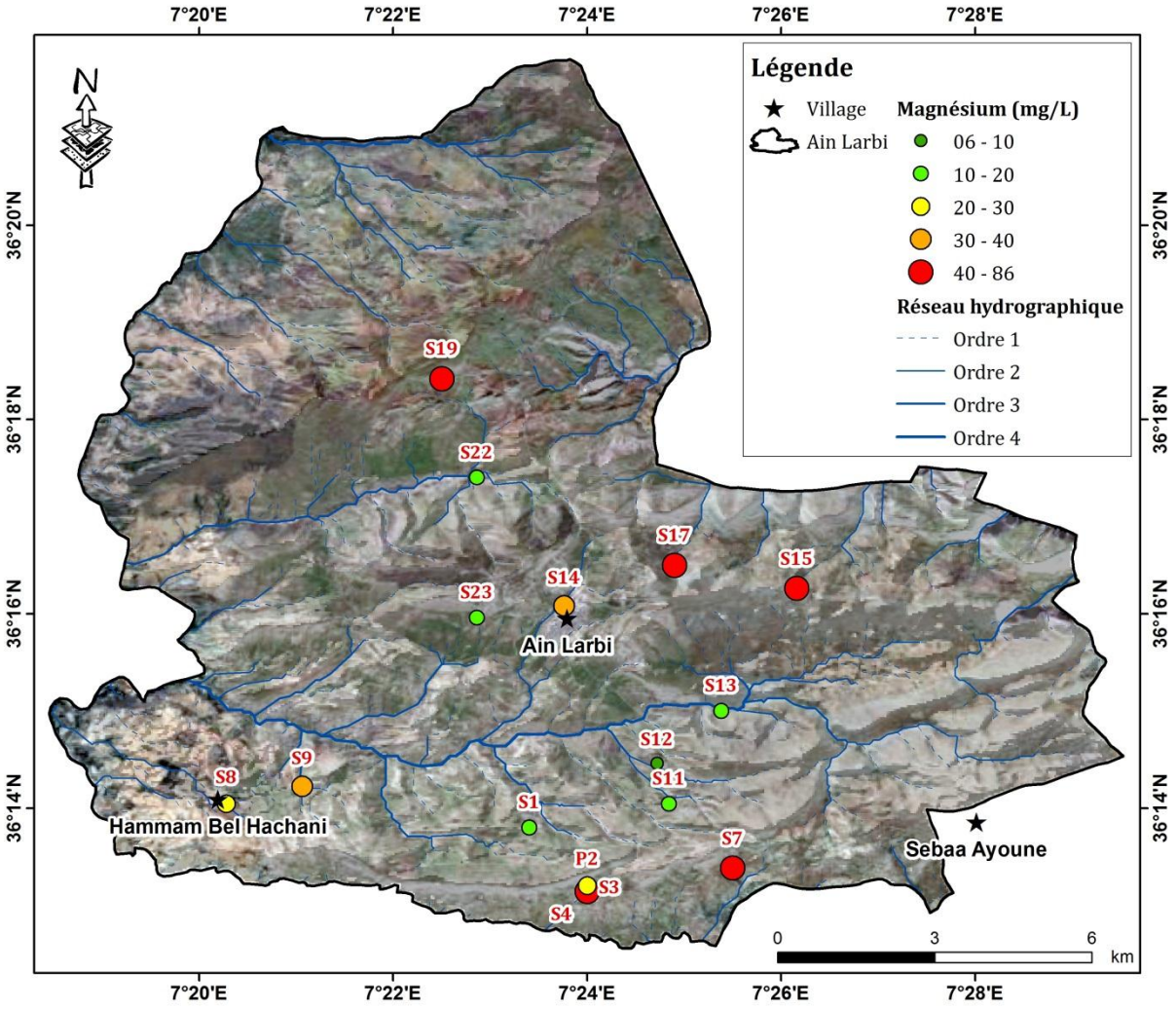


Fig VI.3. *Carte d'égale teneur en Magnésium des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022)*

Les eaux des sources de la partie orientale du terrain sont influencées par la dissolution des formations Dolomitiques dans la région.

Les affleurements gypsifères à la rive Nord E kef El Besbas sont à l'origine de l'augmentation des concentrations en Magnésium.

- **Le Potassium (k+) et Sodium (Na+)**

Le potassium (K+) est assez abondant sur la terre, mais peu fréquent dans les eaux. Il est facilement adsorbé. Les sources principales de potassium sont les roches cristallines,

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 concentrations des deux éléments (Na+ et K+) ont été mesurées au niveau de laboratoire du département de la chimie, à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme.

Les teneurs sont très variables, le minimum de NA+ et K+ respectivement de 6 mg/l et 0.2 mg /L est enregistré dans les sources S19 et S3 S6 S11 S14 S17. ***(Fig.VI.4)***

Alors que le maximum est de 58.1 mg/let 8.2 au niveau du S19. Donc les valeurs sont acceptables.

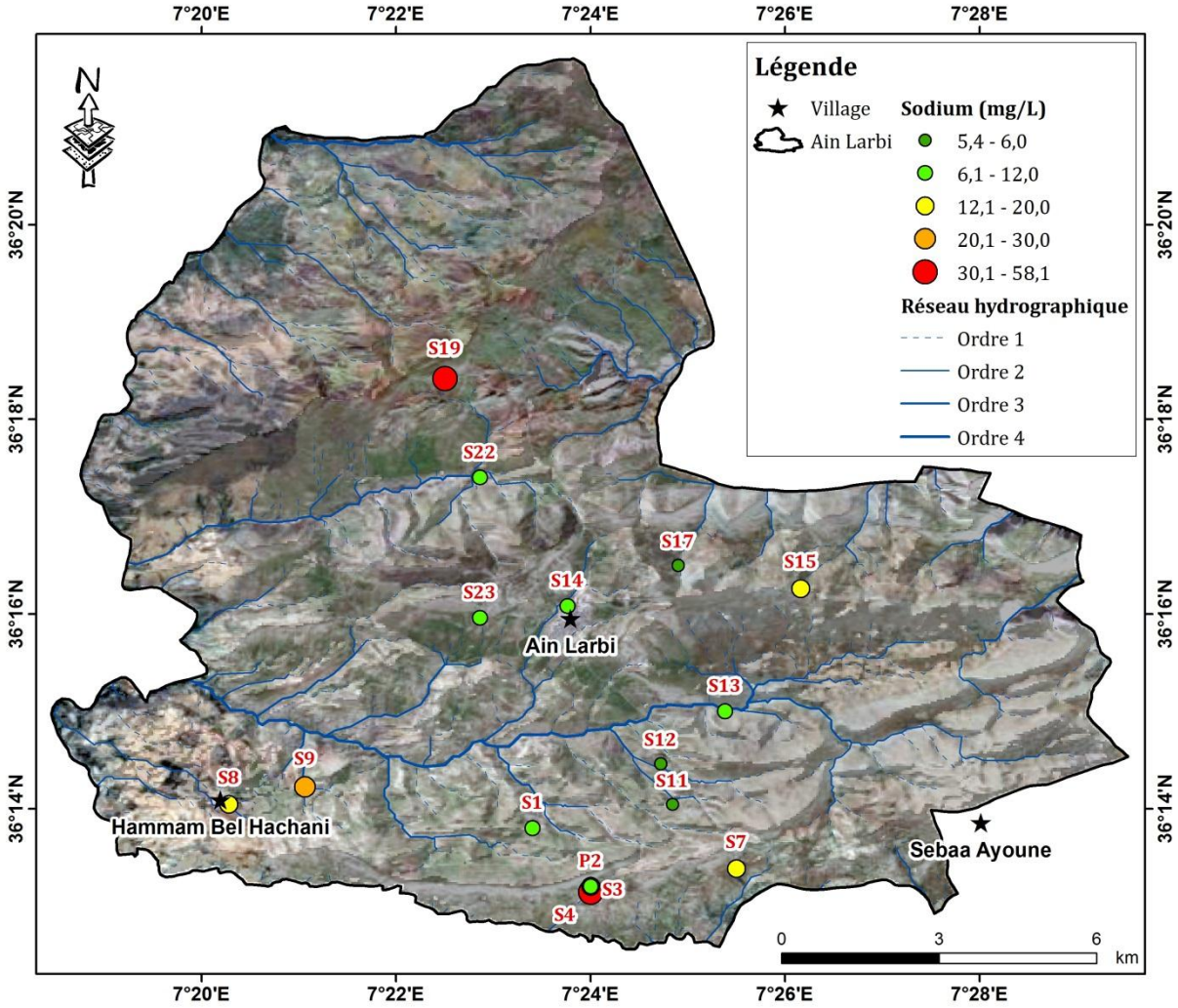


Fig. VI.4. *Carte d'égale teneur en Sodium des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022)*

b. Les Anions

- **Les Chlorures (Cl -)**

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations évaporitiques (salifères) et à l'effet de la salinité marine, ou la contamination par des eaux usées. Leur présence en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses.

Les valeurs obtenues oscillent entre 15.975 mg/l (S 11, Ain Ouled Berri) et 175.725 mg/l (S19, Ain Karma) ***(Fig.VI.5),*** cette dernière se situe à l'aval immédiat de l'agglomération de Kef Sbihi

où la contamination directe par les eaux usées est fort probable. Suite à l'enquête sur terrain menée par nous-même cette source est fréquemment exploitée dans les différents usages (AEP, irrigation et abreuvement des animaux…), donc l'urgence d'effectuer des mesures préventives pour la suppression des sources de cette contamination est sérieusement signalée.

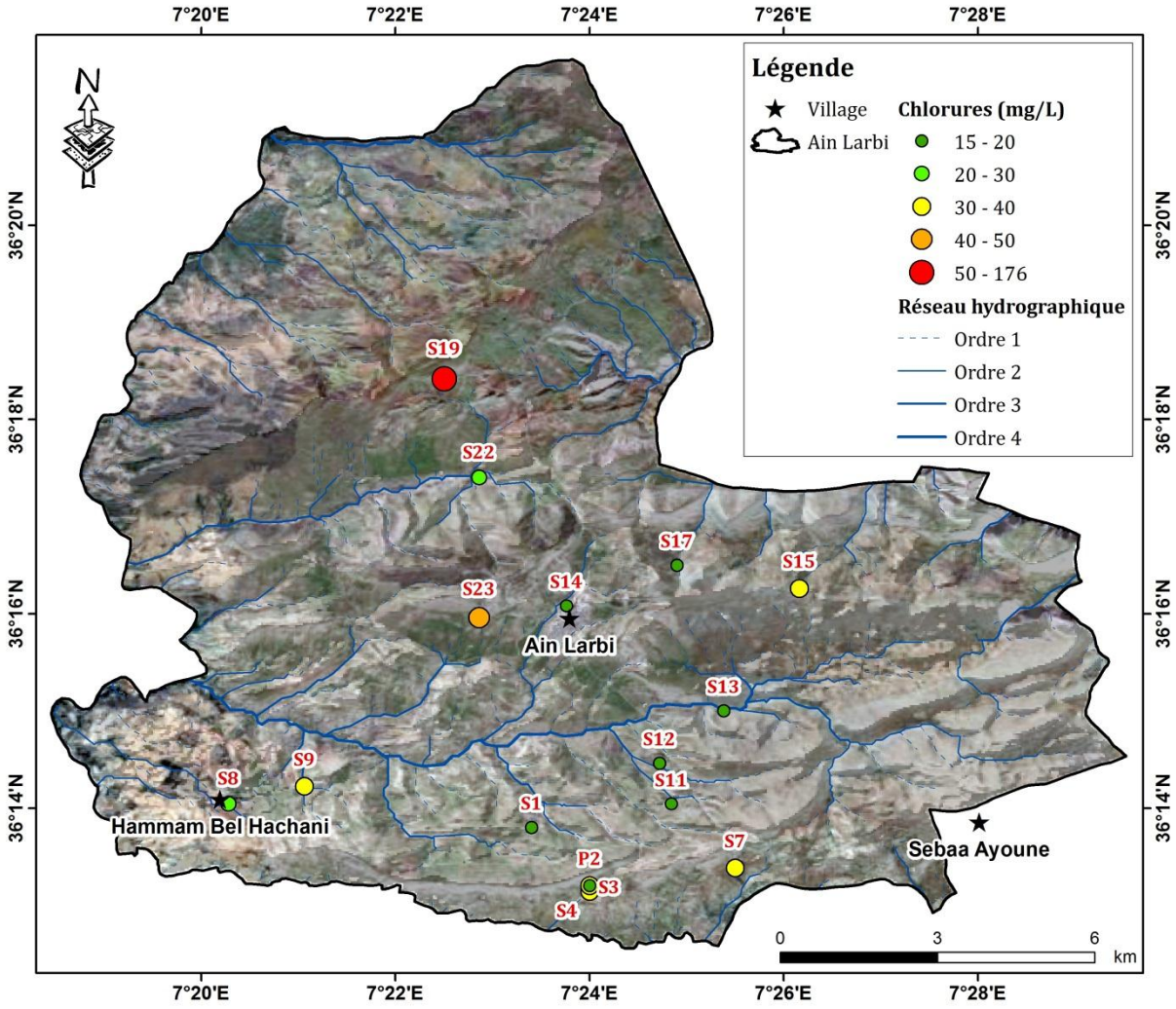


Fig VI.5. *Carte d'égale teneur en Chlorures des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022)*

L'ensemble des valeurs mesurées sont inférieurs à la norme algérienne (500 mg /l).

- **Les Sulfates (SO4 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. Elles se présentent à des faibles concentrations dans les eaux des sources, avec une valeur minimale de 0.9 mg/l à la source S17 (Ain Enhal) et une valeur maximale de l'ordre 133.24 elle est observée au niveau de S19 (Ain karma1) .

Les concentrations relativement élevées aux sources S15 et S22 sont dues à la nature évaporitique des formations, La faible concentration du SO_4 dans la source S17 (malgré sa situation dans le même contexte lithologique que S15 et S22) est liée probablement à la dilution par des importantes apports hydriques, favorisées par la situation topographique de cette source.

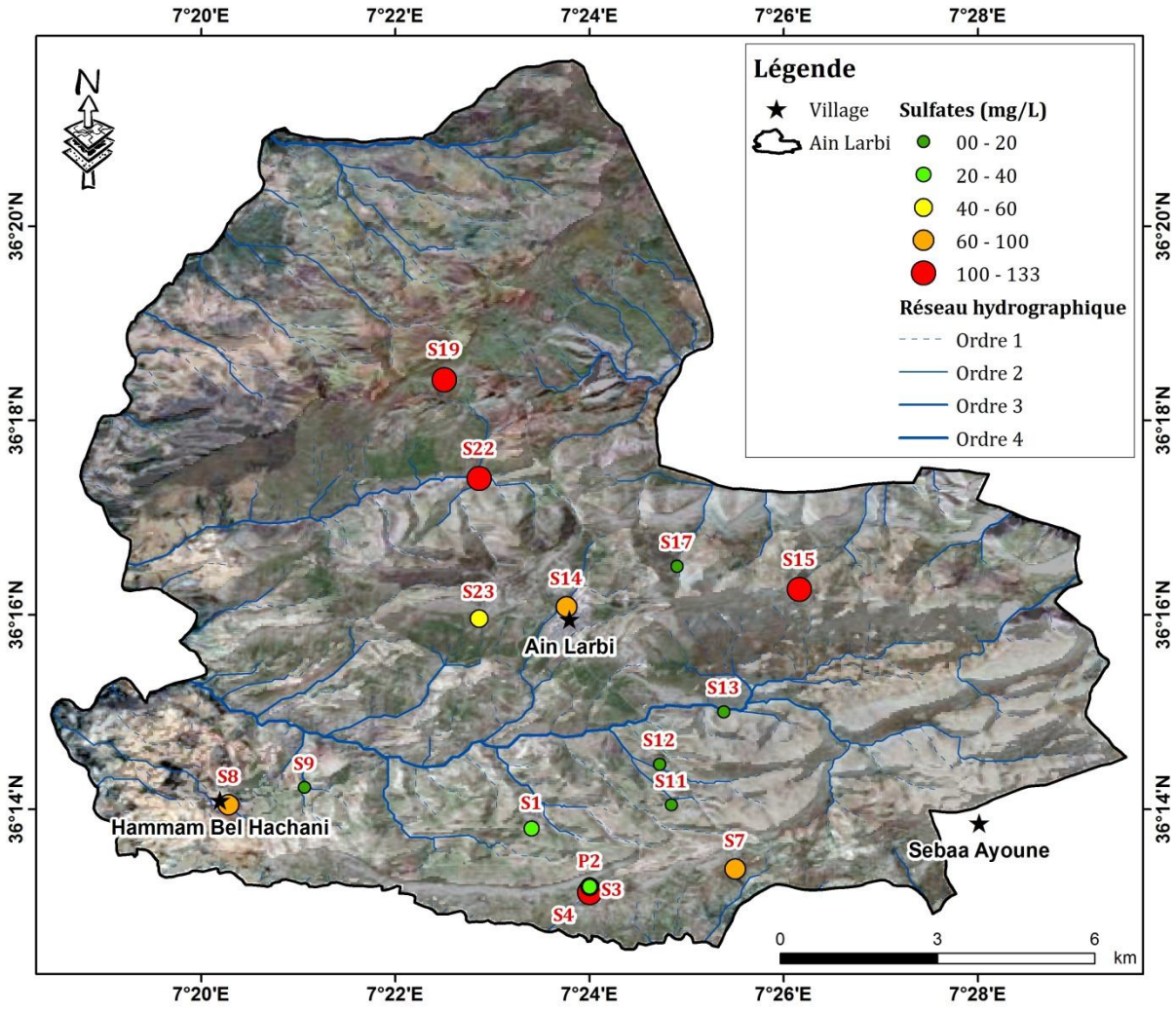


Fig VI.6. *Carte d'égale teneur en Sulfates des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022)*

Cet élément est en dessous des normes algériennes (250 mg/l).

- **Les Bicarbonates (HCO3 -)**

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations gypsifères et carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique.

Les teneurs sont très variables, elles varient d'une valeur minimale de 19.2mg/l à la source S7 (Ain Nouèdre) et un maximal de 152.5 mg/l à S6(Ain El Fedj). ***(Fig.VI.7.)***

Les sources qui représentent des teneurs élevées en bicarbonates ; prennent leur origine, en profondeur, à partir des formations calcaires du crétacé et du Jurassique.

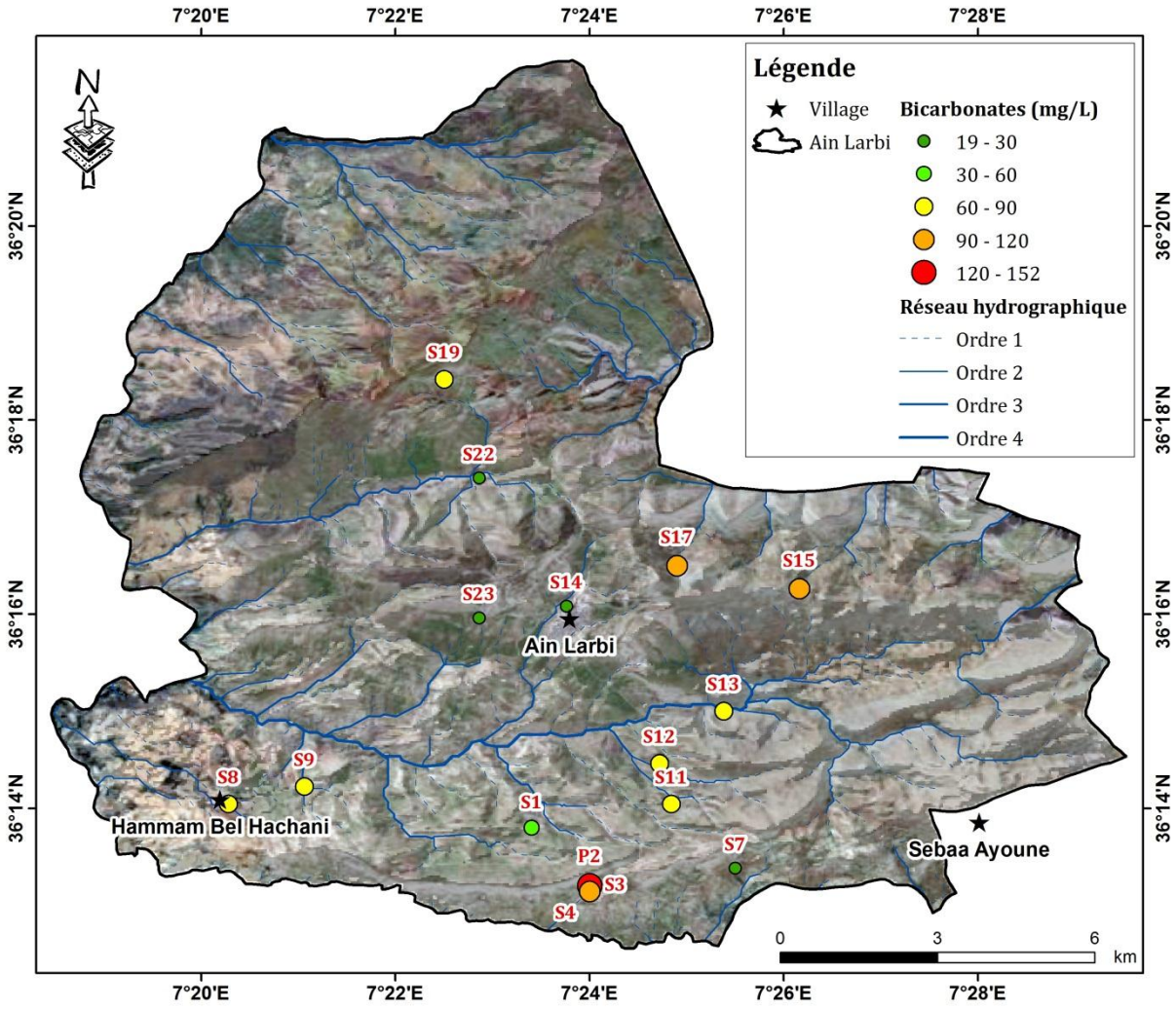


Fig VI.7. *Carte d'égale teneur en Bicarbonates des eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi (Mars2022)*

VI.3.2.2 Les éléments indicateurs de la pollution urbaine :

- **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

Des valeurs très faibles indiquant l'absence d'une pollution d'origine urbaine.

- **Les nitrates (NO3 -)**

Ils 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 (Djemai, 2013).

Les concentrations moyennes en nitrates, au niveau des eaux des sources sont inférieures à la norme des eaux (acceptables 50 mg/l).

- **Ammonium (NH4 +)**

C'est la forme d'azote la plus toxique.

Des valeurs très faibles indiquant l'absence d'une pollution d'origine urbaine.

- **Le phosphate (PO43-)** :

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les lacs ou les rivières.

Absence totalement de phosphate dans les sources d'étude.

VI.3.2.3 Les formules ioniques et faciès chimique :

La formule ionique est obtenue en classant de gauche à droite par ordre décroissant les quantités en réaction pour cent du groupe des anions puis celui des cations.

Les résultats de cette opération ont révélé que la région d'Ain Larbi est caractérisée par un cocktail des faciès chimiques comme suite :

- 9 échantillons : Chlorurés sulfatées calciques
- 5 échantillons : Bicarbonatés calciques
- 1 échantillon : Chloruré sodique

VI.4 Représentation graphique des analyses chimiques

Pour bien visualiser les résultats des tests chimiques effectués sur les eaux souterraines des sources de la région d'Ain Larbi, la représentation Piper s'est avérée utile.

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 la dominance 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.

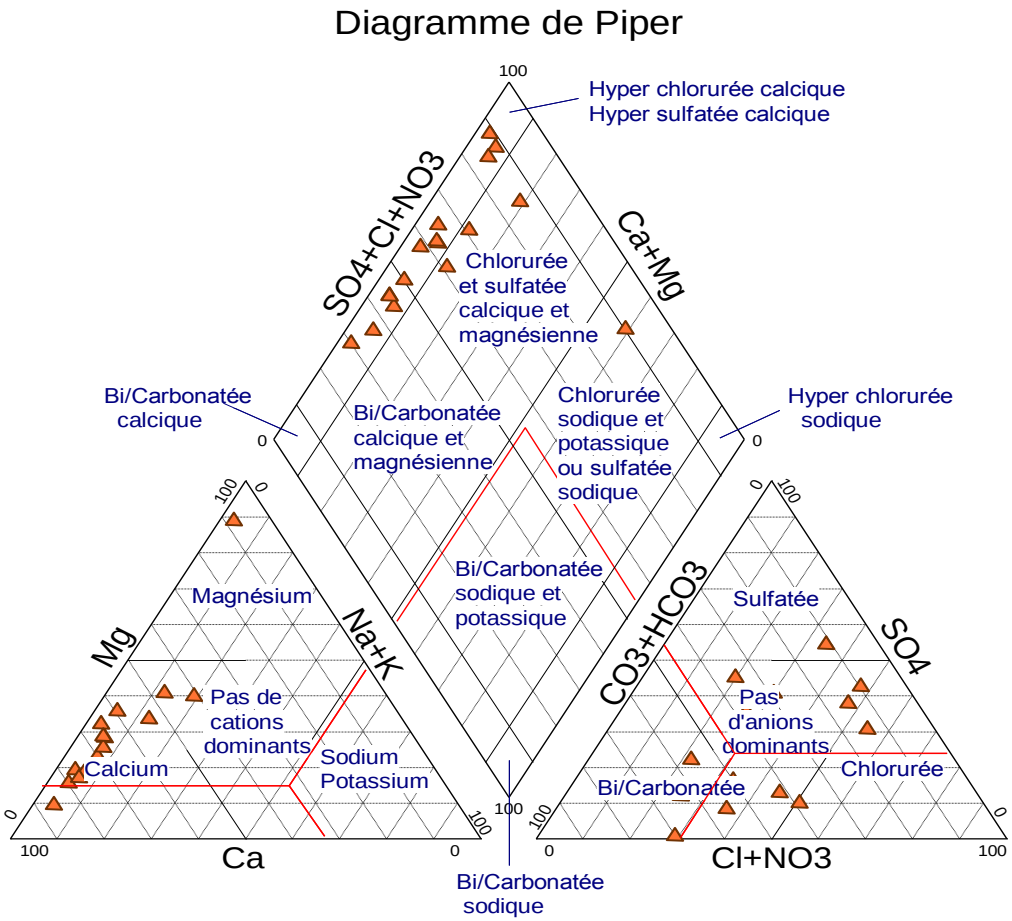


Fig VI.8. *Diagramme de piper appliqué aux eaux de quelques sources de la région d'Ain Larbi*

La représentation des concentrations des points d'eau sur le diagramme de Piper, nous a permis de définir trois familles de faciès chimique:

Chlorurée calcique.

Bicarbonaté calcique.

Chlorurée sodique **(Fig.VI.7)**

VI.5 Conclusion :

L'objectif principal de notre étude hydrochimique porte sur la caractérisation de la qualité des eaux de sources de la commune d'Ain Larbi dans le but de leur valorisation, préservation et meilleure exploitation. Passant par les trois fameuses sources thermales de la région (Hammam Guerfa, Bel Hachani et Ain Feddaoui) qui présentent des caractéristiques : thermiques, hydrogéologiques, hydrochimiques et socio-économiques très spécifiques, qui ont été l'objet de plusieurs anciennes études et qui méritaient encours de l'être,

, les eaux souterraines de la commune d'Ain Larbi à travers les eaux de sources, possèdent une température moyenne qui oscille entre 13 °C et 17.5 °C, le pH des eaux varie d'alcalin en hautes eaux à neutre.

Les valeurs de la conductivité électrique indiquent que les sources possèdent une minéralisation moyenne et douce.

Leurs teneurs en ions sont liées aux conditions lithologiques (lessivage et échange de base), géomorphologiques (stagnation), hydrodynamiques (vitesse d'écoulement et alimentation) et anthropiques (pratiques agricoles et rejets urbains) et restent dans les normes de potabilité algériennes, avec quelques légères réserves d'ordre locale.

Les principaux faciès chimiques sont liés à la lithologie et reflètent fidèlement leur origine (Chloruré calcique. Bicarbonaté calcique, Chloruré sodique)

. Les zones Est et Sud offrent des conditions d'échange avec le milieu extérieur,

Contrairement à la zone Nord, caractérisée par la présence d'une couche de couverture qui Limite l'échange avec le milieu extérieur.

Etant donné que la plaine sud – ouest de la commune d'Ain Larbi est une zone agricole par excellence, et que les traces de pollution par les engrais chimiques agricoles sont absentes, Nous devons apprécier et encourager les pratiques agricoles mécaniques pour garder cette virginité naturelle.et préserver ce patrimoine nationale prometteur.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a été menée dans le but de contribuer à ; l'évaluation, la valorisation et la préservation des ressources hydriques souterraines dans la région d'Ain Larbi, suite à La sècheresse qui perdure depuis plus de deux décennies a eu des répercussions négatives sur cette ressource, face aux perspectives agricoles locales soutenues par l'étendue et la fertilité des terres agricoles, d'où l'intérêt d'une bonne connaissance du fonctionnement des aquifères locaux et le recours à une gestion appropriée. Etant donné que les sources présentent la manifestation naturelle de ces aquifères, la méthodologie appliquée dans le traitement de ce sujet s'articule sur l'étude quantitative et qualitative de ces dernières, qui présentent une multitude de types, selon leurs caractéristiques et leurs conditions d'emergencies. La description de la zone d'étude montre que la commune d'Ain Larbi se situe au Nord-Est algérien, elle fait partie du domaine externe de la chaîne des Maghrébides en forme d'une alternance de horst et de graben liée aux contactes anormaux entre les différentes unités structurales à savoir ; la nappe numidienne à dominance argilo - gréseuse au Nord, l'unité penitellième formée de calcaire marneux et dolomitique au milieu et à l'Est et l'unité des Sellaoua au Sud. Le remplissage alluvionnaire mio-plio-quaternaire occupe la partie Sud et Sud –Ouest du territoire.

Le climat continental semi-aride qui domine dans la région est caractérisée par deux saisons :

Un Eté sèche et chaude et un Hiver pluvieux et froid. Les températures moyennes oscillent entre 9.86°C durant le mois de Février et 27.87°C pendant le mois d'Août. Elle reçoit une précipitation moyenne de 484.37 mm dont 46.02 mm sont ruisselés et 13.93 mm infiltrés.

Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite, fait ressortir une évapotranspiration réelle de 424,42 mm engendrant un déficit agricole de 482,75 mm.

La complexité géologique et structurale a engendré une diversité hydrogéologique à savoir :

- le système karstique au centre et à l'Est, formé de calcaires, affecté par des failles, a forte capacités hydrogéologiques.

- Formation alluvionnaires relativement perméables Sud et au Sud-Ouest.

- Formations argilo-gréseuses et conglomératiques de l'unité numidienne.

L'interaction entre les différents 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. Et qui offrent des indications précieuses pour d'autres possibilités de captage et de forage.

L'émergence des trois sources thermales est liée à des processus hydrogéologiques et structuraux très complexes.

L'étude hydrochimique a révélé que les sources thermales de la région (Hammam Guerfa, Bel Hachani et Ain Feddaoui) présentent des caractéristiques : thermiques, hydrogéologiques, hydrochimiques et socio-économiques très spécifiques, où leur origine plutonique est liée à la complexité structurale de la région.

Les valeurs de la conductivité électrique de l'ensemble des sources indiquent une minéralisation moyenne et douce.

Leurs teneurs en ions sont liées aux conditions lithologiques (lessivage et échange de base), géomorphologiques (stagnation) , hydrodynamiques (vitesse d'écoulement et alimentation) et anthropiques (pratiques agricoles et rejets urbains) et restent dans les normes de potabilité algériennes , avec quelques légères réserves d'ordre locale.

Les principaux faciès chimiques sont liés à la lithologie et reflètent fidèlement leur origine (Chloruré calcique. Bicarbonaté calcique, Chloruré sodique).

A l'issue de ce travail on constate que la problématique de déséquilibre entre les ressources et les perspectives, est liée à la gestion aléatoire et pas à la disponibilité.

Recommandations

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 :

- Etant donné que la plaine sud – ouest de la commune d'Ain Larbi est une zone agricole par excellence, et que les traces de pollution par les engrais chimiques agricoles sont absents, Nous devons apprécier et encourager les pratiques agricoles mécaniques pour garder cette virginité naturelle.et préserver ce patrimoine nationale prometteur.

- La réalisation des aires de stockage volumineux à la faveur des sources pérennes et à grand débit.

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

- Maîtriser le stockage et l'utilisation des matières organiques résultant de l'élevage animal.

- Mener des études pluridisciplinaires pour une meilleure exploitation des eaux hydrothermales de la région.

- La nécessité d'une étude agronomique pour le choix des plantes à cultiver.

- La possibilité de L'implantation de nouveaux forages aux niveaux des zones à grande productivité ((Oued Chaniour et Oued Essabet).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Alfaro, c. M, Wallace, M (1994). Link. Springer .com origine and classification of Springs and historial review with current application.

Arfib, B. (2010). Les sources karstiques.

Bouhala, AR Chefrour (2012). Inventaire des plantes mellifères dans la région d Jijel.

Bouillin, (1977).Géologie Alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia (Algérie). Thèse Doctorat, science naturelle. Paris (France).

Brian, K. (1919). Classification of Springs : The Journal of Geology 27(7) (oct-nov1919).

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 algérienne. Thèse de doctorat, Université de Franche Comte.

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,

Delga (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131. Alger.

Fetter, (2001). Applied Hydrogeology: Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall.

Kresic, N. (2010). Types and Cassifications of Spring dans N. Kresic et Z. Stevanovic (eds.),

Groundwater Hydrology of Springs Elsevier Burlington.

Manga, M. (2001). Using springs to study groundwater flow and active geology processes

Annual Review of Earth and Planetary Sciences 29.

Meinzer, (1923). Classification of springs bassedon discharge.

Raoult (1974) : J. F (1974) géologie du centre de la chaîne numidique (nord du constantinois, Algérie). Thèse sciences, Paris (France), Mém. Soc Géol. Fr. nouv. Série, n°121. 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.

Vila (1980) : la chaine alpine Algérie Orientale des confins ALGERO - TUNISIENS– thèse, université Pierre et Marie-Curie Paris 665 p.

Vila, M. (1977). Analyse fonctionnelle et analyse morpho technique.

Sabrina C. (2012) Hydrogéochimie des sources associées aux eskers de l'abitibi, québec, département des génies civil. Université de montréal.

Springer, A. E. et L. E. Stevens (2009). Spheres of discharge of springs : Hydrogeology Journal.

- Shoeller, H. (1955) in Castany, G (1977). Géochimie des eause souterraine, écoulement de l'eau souterraine dans système aquifère.

-

Annexes

***-annexe1** : Précipitations moyenne mensuelle de la station d'Ain Makhloof (1986-2020)*

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août
P (mm)	25.98	45.18	56.85	62.42	56.5	53.7	54.05	48.15	41.76	21.4	6.7	11.68

annexe 2.Températures moyenne mensuelle de la station d'Ain Makhloof (1986-2020)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août
T (C°)	24.26	20.05	14.63	11.23	10	9.86	11.84	14.65	18.65	23.52	27.07	27.87

Annexe.3.Précipitations annuelles en (mm) et Coefficients pluviométriques dans la station d'Ain Makhloof (1986-2020)

Année hydrologique	**Pluie annuelle (mm)**	**CP station Ain Makhloof**	**Observation**
1985/1986	719.5	1.48	AE
1986/1987	391.5	0.80	AD
1987/1988	431.5	0.88	AD
1988/1989	447.8	0.92	AD
1989/1990	663.7	1.36	AE
1990/1991	627	1.29	AE
1991/1992	670.7	1.38	AE
1992/1993	389	0.80	AD
1993/1994	500.4	1.03	AE
1994/1995	270.1	0.55	AD
1995/1996	112.3	0.23	AD

1996/1997	534.8	1.10	AE
1997/1998	1163	2.39	AE
1998/1999	587.3	1.20	AE
1999/2000	359.9	0.74	AD
2000/2001	222.5	0.45	AD
2001/2002	502	1.03	AE
2002/2003	562	1.15	AE
2003/2004	502.1	1.03	AE
2004/2005	456.8	0.94	AD
2005/2006	488.9	1.00	AE
2006/2007	414.5	0.85	AD
2007/2008	631.1	1.29	AE
2008/2009	490.8	1.01	AE
2009/2010	824.6	1.69	AE
2010/2011	635.4	1.30	AE
2011/2012	458.05	0.94	AD
2012/2013	227	0.46	AD
2013/2014	444	0.91	AD
2014/2015	429.5	0.88	AD
2015/2016	314	0.64	AD
2016/2017	226.5	0.46	AD
2017/2018	427	0.87	AD

2018/2019	449	0.92	AD
2019/2020	418.5	0.86	AD

Annexe.4.Estimation de l'Infiltration en (mm)

Paramètres	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
valeurs	484.37	424.42	46.02	13.93

Annexe. 5..1Inventaire des puits d'Ain Larbi

N° du point d'eau	nom du point d'eau	X	Y	NP
P1	Nakhla	7,39	36,22	960
P2	Touil Abd Elhamid	7,4	36,22	955
P3	Rebai Said	7,447	36,228	1140
P4	Sammoudi Ammar	7.4067	36.2898	920
P5	Derouiche Brahim	7.3172	36.2450	640

Annexe .6.Inventaire des sources de la commune d'Ain Larbi (Avril 2022)

Nature de formations	N° de la source	Nom de la source	X	Y	NP (m)	T(c°)	C E (µs/cm)	PH	Salinité	Débit (l /s)	Analyse chimique
Formations karstiques	S1	Ain Fras	7,39	36,23	837	16,1	584	7,03	0,07	0,75	Oui
	S2	Ain Hssasni	7,37	36,22	857	14,5	206	7,27	0,05	5	
	S11	Ain Ouled Berri	7,414	36,234	944	15,8	367	7,51	0,05	0,3	Oui
	S12	Ain Ramdani	7,412	36,241	876	15,7	362	7,45	0,05	6	Oui
	S13	Aouedj(1)	7,423	36,25	823	17,3	391	7,72	0,05	20	Oui

	S14	Ain Oum Touem	7,396	36,268	900	16,5	457	7,54	0,06	12	Oui
	S15	Ain Bir Youcef	7,436	36,271	972	15,8	631	7,5	0,09	0,6	Oui
	S16	Ain Essghar	7,426	36,275	970						
	S17	Ain Nhal	7,415	36,275	990	14,6	470	7,47	0,06	faible	
	S18	Ain Lehlig	7.4171	36.2813	916						
	S23	Ain Larbi	7,381	36,266	901	16,2	523	7,16	0,07		Oui
	S26	Ain Elbordj	7.3573	36.2802	775					très important	
	S27	Ain Aouedj2	7.4437	36.2446	973					13	
	S45	Ain Ben Youb	7.4292	36.2815	883						
Alluvions argilo-sableuses	S3	Ain Addhar	7,4	36,22	1029	14,4	544	7,45	0,06	0,6	
	S4	Aain Chiaoui	7,4	36,219	950	14,9	780	7,5	0,1	0,4	
	S5	Ain Djenane	7,39	36,217	910						
	S6	Ain El Fadj	7,414	36,222	1061	13	417	7,9	0,05	0,4	
	S7	Ain Nouedre	7,425	36,223	1031	15,6	535	7,52	0,06	0,6	Oui
	S8	Ain Dalia	7,338	36,234	710	16,1	542	8,19	0,07	Très important	Oui
	S9	Ain Souk	7,351	36,237	714	15,1	420	7,8	0,06		Oui
	S10	Ain Djemel	7.3946	36.2447	741						

	S24	Ain Oum Hani	7.3955	36.2337	851						
	S25	Ain Barka	7.3882	36.2562	777						
	S36	Ain Araima	7.369	36.258	774						
Formation argilo- greseuse	S19	Ain Karma(1) Kaf Sabih	7,375	36,0307	1072	13,1	954	6,54	0,014	0,4	
	S20	Ain Ammar	7.3665	36.378	1060						
	S21	Ain Karmet Zkoukou	7.3721	36.3074	1070						
	S22	Ain Nakib Houcine	7,381	36,29	884	15,5	524	7,66	0,07	0,8	Oui
	S28	Ain Abbas	7.4535	36.2621	948						
	S29	Ain Nezzar	7.3624	36.3326	781						
	S30	Ain Kati	7.3591	36.2886	811						
	S31	Ain Maâlem	7.3576	36.235	777						
	S32	Ain Rebbahi	7.3319	36.2792	620						
	S37	Ain Kafi	7.3683	36.3316	847						
	S38	Madjen El Bordj	7.3549	36.3297	787						
	S39	Ain Sidi Abd El Hafid	7.3525	36.3416	617						
	S40	Ain Guelmi	7.3708	36.3330	877						
	S41	Ain Siaaoui	7.3813	36.3366	1040						

	S42	Ain El Hofra	7.3270	36.2998	718						
	S43	Ain SAndouk	7.3783	36.3042	977						
	S44	Ain Ftouh	7.3989	36.3068	860						
Thermales	S33	Hammame Guerfa	7.3394	36.2462	676	58,1	2320	7,8			
	S34	Hammame Bel Hachani	7.3395	36.2392	715	60	2280	8.5			
	S35	Ain Feddawi	7.316	36.233	648	30	2286	7.5			

CE : Conductivité électrique **NP** : Niveau piézométrique

Annexe.7.Paramètres physiques de quelques points d'eau dans la région d'Ain Larbi (Mars 2022)

Nature de formations	N° de la source	Nom de la source	T(c°)	C E (µs/cm)	PH	Débit (l /s)	Analyse chimique
Formations karstiques	S1	Ain Fras	16,1	584	7,03	0,75	Oui
	S2	Ain Hssasni	14,5	206	7,27	5	
	S11	Ain Ouled Berri	15,8	367	7,51	0,3	Oui
	S12	Ain Ramdani	15,7	362	7,45	6	Oui
	S13	Aouedj(1)	17,3	391	7,72	20	Oui
	S14	Ain Oum Touem	16,5	457	7,54	12	Oui
	S15	Ain Bir Youcef	15,8	631	7,5	0,6	Oui
	S17	Ain Nhal	14,6	470	7,47	faible	
	S23	Ain Larbi	16,2	523	7,16		Oui

Alluvions argilo-sableuses	S3	Ain Addhar	14,4	544	7,45	0,6	
	S4	Aain Chiaoui	14,9	780	7,5	0,4	
	S6	Ain El Fadj	13	417	7,9	0,4	
	S7	Ain Nouedre	15,6	535	7,52	0,6	Oui
	S8	Ain Dalia	16,1	542	8,19	Très important	Oui
	S9	Ain Souk	15,1	420	7,8		Oui
Formation argilo- gréseuse	S19	Ain Karma(1) Kaf Sabih	13,1	954	6,54	0,4	
	S22	Ain Nakib Houcine	15,5	524	7,66	0,8	Oui
	S28	Ain Abbas					
Thermales	S33	Hammame Guerfa	58,1	2320	7,8		
	S34	Hammame Bel Hachani	65	2280	8.5		
	S35	Ain Feddawi	30	2286	7.5		

CE : Conductivité électrique