

REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



جامعة باجي مختار عنابة



UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR –ANNABA  
BADJI MOKHTAR UNIVERSITY –ANNABA

Année 2025

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie

Laboratoire De Géologie

## THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD  
Option : Hydrogéologie

**Origines et caractérisation des eaux de sources de la région de Ain Larbi  
wilaya de Guelma (Nord-Est Algérie).**

Présentée par :

**Mme ALLOUANI Nora**

<b>Président</b>	DJABRI Larbi	Prof.	Université Badji Mokhtar-Annaba
<b>Directeur de thèse</b>	BENRABAH Samia	Prof.	Université Badji Mokhtar-Annaba
<b>Examineur</b>	SAYED Lamine	Prof.	Université Badji Mokhtar-Annaba
<b>Examineur</b>	BAALI Fathi	Prof.	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi - Tébessa
<b>Examineur</b>	FAHDI Shams Eddin	Prof.	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi - Tébessa

Année 2025/2026

## Remerciements

*Cette thèse vient clore Cinq années d'un travail intense, jalonné de défis, d'apprentissages et de remises en question. Elle marque la fin d'une aventure aussi bien professionnelle que personnelle, qui n'aurait pu aboutir sans le savoir, la bienveillance et le soutien de nombreuses personnes.*

*Il est toujours délicat de trouver les mots justes pour exprimer toute la gratitude que l'on ressent. En quelques lignes, je souhaite remercier sincèrement toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail. J'espère n'oublier personne, et je vais faire de mon mieux pour rendre hommage à chaque soutien, chaque encouragement et chaque geste qui a compté.*

*Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude la plus sincère envers **ALLAH, le Tout-Puissant**, pour m'avoir donné la patience, la force et la persévérance nécessaires à l'achèvement de ce travail. Sa grâce infinie m'a accompagné à chaque étape, m'apportant soutien, sérénité et confiance face aux difficultés rencontrées.*

*À ma famille, mes enfants et mon mari, j'adresse mes remerciements les plus profonds pour leur soutien moral, leur confiance, leur tendresse, leurs encouragements et leur patience tout au long de ce parcours.*

*Au terme de cette étude, je tiens à remercier chaleureusement ma directrice de thèse, **Madame Titi BENRABAH Samia**, pour le savoir et l'expérience qu'elle m'a transmis dans le domaine de l'hydrogéologie. Sa disponibilité durant toutes ces années, sa confiance en moi, ainsi que l'intérêt constant qu'elle a porté à la bonne réalisation de ce travail ont été d'un soutien précieux. J'ai également beaucoup apprécié le plaisir de collaborer avec elle, et je lui adresse ici l'expression de ma plus haute considération.*

*Je remercie très sincèrement les membres du jury pour l'attention portée à mon travail :*

- ***Monsieur DJABRI Larbi**, professeur émérite à l'Institut des Sciences de la Terre de l'Université de Annaba, pour son expertise et ses précieux conseils,*

- *le Professeur FAHDI et le Professeur BAALI, de l'Université de Tébessa, pour avoir accepté d'examiner ma thèse. C'est un grand honneur de bénéficier de leur expertise et de leurs conseils durant cette étape cruciale de mon parcours académique,*
- *Monsieur SAYAD Lamine, professeur à l'Université de Annaba, pour l'honneur qu'il m'a fait en participant au jury en tant qu'examineur.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur BENRAHMOUNE Adel, pour son accueil dans son laboratoire ainsi que pour la confiance et l'aide qu'il m'a accordées.*

*Je suis également reconnaissante envers Monsieur le Président de l'Assemblée Populaire Communale de Aïn El Arbi, RAMDANI Mounir pour son soutien précieux et la mobilisation des moyens humains et matériels — personnel, chauffeur et véhicule — qui ont permis la réalisation des sorties de terrain et pour leur accompagnement et leur collaboration.*

*Je souhaite aussi exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur GHOMERANI Rabai, subdivisionnaire de l'hydraulique de la daïra de Aïn Makhoulf, pour les facilités qu'il m'a offertes, son aide précieuse, ses conseils avisés ainsi que son soutien constant et ses encouragements généreux.*

*Je remercie par ailleurs :*

- *Monsieur BOUGUERRA, enseignant MCA à l'Université de Annaba, pour son appui,*
- *Monsieur Mekkaoui Hafid, pour son aide précieuse dans la réalisation de ce travail de recherche,*
- *Monsieur ADJABI Haitem, pour son aide et sa patience à mon égard.*
- *Le personnel de la Subdivision du Service Agricole (DSA) de Aïn Makhoulf, notamment Madame Salma, pour leur collaboration,*
- *Mes amies Selwa BOUBGUIRA, enseignante à l'Université de Batna, et Rahma KHADRI, pour leur soutien constant,*
- *Monsieur Yahia Yazid, cadre à la Direction DPAT de Guelma, pour la mise à disposition de documents essentiels.*

*Enfin, je souhaite remercier toutes les personnes qui, même si elles ne sont pas citées ici, ont contribué de manière significative à l'avancement de ma recherche. Leur aide, leurs conseils et leur encouragement ont joué un rôle crucial dans le développement de ce travail, et je leur exprime ma profonde reconnaissance.*

## **Dédicace**

### **À ma mère,**

*Pour sa patience, son amour et sa présence indéfectible. Que Dieu lui accorde santé, sérénité et une vie paisible, protégée de tout mal.*

### **À la mémoire de mon père,**

*Présence silencieuse et force inébranlable, tu as été mon guide, mon refuge et mon exemple. Ton amour et tes sacrifices ont façonné la personne que je suis. Que ton âme repose en paix éternelle et que ta lumière continue d'éclairer à jamais mon chemin.*

### **À la mémoire de mes oncles, Abed El Rahman et Abed El Waheb,**

*Dont l'âme demeure une source d'inspiration et de lumière. Leur sagesse et leur bienveillance continuent de guider mes pas. Que leur paix soit éternelle et leur souvenir gravé à jamais dans mon cœur.*

### **À mon époux,**

*Pour ton amour, ta patience et ton soutien infaillible. Tes encouragements constants ont été ma plus grande force tout au long de ce parcours. Merci pour ta compréhension et ta présence rassurante qui ont illuminé mes moments de doute. Cette réussite est autant la tienne que la mienne.*

### **À mes enfants bien-aimés :**

- *À ma chère **Rania** et à son petit trésor **Ghait**, vous êtes mon cœur d'amour et la lumière qui illumine ma vie.*
- *À ma douce **Malek**, mon pilier, ma force tranquille et ma précieuse compagne de route.*
- *À ma tendre **Taqwa**, mon âme et ma petite maman, dont la tendresse et le sens des responsabilités m'émerveillent chaque jour.*
- *À mon précieux **Mouhamed**, ma fierté, ma force et mon plus grand espoir, toi qui représentes le courage et l'avenir.*

### **À ma famille et à mes amis,**

*Pour leur soutien précieux, leur encouragement constant et leur présence fidèle, je dédie également ce travail avec toute ma gratitude et ma reconnaissance.*

## Résumé :

Des échantillons d'eau de sources pérennes (chaudes et froides) ont été collectés au cours de deux campagnes de prélèvements (Janvier, Juillet 2022), pour un total de 20 échantillons, ont été effectuées afin d'étudier la qualité globale des eaux souterraines destinées à l'AEP et l'irrigation.

Une évaluation comparative de la qualité de l'eau potable a été réalisée dans la région d'Ain Larbi à l'aide de l'indice arithmétique pondéré de la qualité de l'eau (WA-WQI).

La représentation des données sur le diagramme de Piper et Schoeller montre que 80 % des échantillons d'eau présentent un faciès bicarbonate de calcium, suivi de 20 % des échantillons présentant un faciès chlorure de calcium. L'application du diagramme Chahda pour les eaux souterraines de Ain Larbi, a permis de voir que la majorité des échantillons se trouvent classer dans le groupe II ( $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{HCO}_3$ ) et à moindre degré dans le groupe I (Ca-Mg-Cl) Pendant le mois de Juillet, contrairement durant le mois de Janvier ; la majorité des échantillons se concentre dans la classe du groupe I.

L'analyse microbiologique a montré que l'eau est de mauvaise qualité bactériologique. Les paramètres de qualité de l'irrigation ont été calculés et discutés en détail, indiquent que la majorité des échantillons d'eau sont considérés comme bons et adaptés à l'irrigation.

L'origine des minéraux est évaluée par l'approche de l'indice de saturation et le diagramme de Gibbs. En outre, le processus de corrélation et le mécanisme d'échange d'ions sont détectés par l'analyse en composantes principales (ACP). Les résultats de l'ACP indiquent que la qualité des eaux souterraines dans la zone d'étude résulte principalement de l'altération météorologique et géochimique de la roche. L'indice de saturation et le diagramme de Gibbs confirment ces résultats. L'IQE-WA a été calculé pour chaque station sur la base des paramètres physicochimiques. Pendant la saison des pluies, trois des cinq classes de l'IQE ont été observées dans la présente étude, à savoir excellent (25 %), bon (70 %) et médiocre (5 %). Pendant la saison sèche, les classes ; excellent (25 %), bon (30 %) et médiocre (45 %) ont été représentées. La situation actuelle montre comment les régimes hydrogéologiques et les interactions eau-roche affectent les concentrations d'ions dans les eaux souterraines. Nos résultats contribuent à l'identification des besoins en eau potable dans la région d'Ain Larbi, favorisant ainsi une gestion durable de l'eau.

**Mots clés :** Sources d'Ain Larbi, processus de minéralisation, composition physico-chimique, qualité de l'eau, WA-WQI

**Summar:**

Water samples from perennial springs (hot and cold) were collected during two sampling campaigns (January, July 2022), for a total of 20 samples, were carried out to study the overall quality of groundwater intended for drinking water supply and irrigation.

A comparative assessment of drinking water quality was carried out in the Ain Larbi region using the weighted arithmetic water quality index (WA-WQI).

Representation of the data on the Piper-Schoeller diagram shows that 80% of water samples have a calcium bicarbonate facies, followed by 20% of samples with a calcium chloride facies. Applying the Chahda diagram to the groundwater at Ain Larbi, we can see that the majority of samples fall into group II (Ca<sup>2+</sup>-HCO<sub>3</sub>) and to a lesser extent group I (Ca-Mg-Cl). During July, in contrast to January, the majority of samples fall into group I class.

Microbiological analysis showed that the water was of poor bacteriological quality. Irrigation quality parameters were calculated and discussed in detail, indicating that the majority of water samples are considered good and suitable for irrigation.

Mineral origin is assessed using the saturation index approach and the Gibbs diagram. In addition, the correlation process and ion exchange mechanism are detected by principal component analysis (PCA). The PCA results indicate that groundwater quality in the study area is primarily the result of meteorological and geochemical weathering of the rock. The saturation index and Gibbs diagram confirm these results. The WQI-WA was calculated for each station on the basis of physicochemical parameters. During the rainy season, three of the five WQI classes were observed in the present study, namely excellent (25%), good (70%) and poor (5%). During the dry season, the classes; excellent (25%), good (30%) and poor (45%) were represented. The current situation shows how hydrogeological regimes and water-rock interactions affect ion concentrations in groundwater. Our results contribute to the identification of drinking water needs in the Ain Larbi region, thus promoting sustainable water management.

**Keywords:** Ain Larbi springs, mineralization process, physico-chemical composition, water quality, WA-WQ

## ملخص:

تم جمع عينات من مياه الينابيع الدائمة (الساخنة والباردة) خلال حملتين لأخذ العينات (يناير، يوليو 2022)، بإجمالي 20 عينة، بهدف دراسة الجودة العامة للمياه الجوفية المخصصة لمياه الشرب (AEP) والري.

تم إجراء تقييم مقارن لجودة مياه الشرب في منطقة عين العربي باستخدام مؤشر الجودة الحسابي المرجح للمياه (WA-WQI).

أظهرت تمثيلات البيانات على مخططي Piper و Schoeller أن 80٪ من عينات المياه تمتلك نمط بيكربونات الكالسيوم، بينما 20٪ منها تُظهر نمط كلوريد الكالسيوم. كما أتاح استخدام مخطط Chahda للمياه الجوفية في عين Larbi تحديد أن معظم العينات تندرج ضمن المجموعة الثانية ( $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ )، بينما تم تصنيف عدد أقل من العينات ضمن المجموعة الأولى (Ca-Mg-Cl). خلال شهر يوليو، على عكس شهر يناير، تركزت معظم العينات ضمن المجموعة الأولى.

أظهرت التحاليل الميكروبيولوجية أن المياه ذات جودة بكتريولوجية سيئة. تم حساب ومناقشة معايير جودة المياه المخصصة للري بالتفصيل، حيث أشارت النتائج إلى أن معظم العينات تُعتبر جيدة ومناسبة للري.

تم تقييم مصدر المعادن باستخدام نهج مؤشر التشبع ومخطط Gibbs بالإضافة إلى ذلك، تم الكشف عن عملية الترابط وآلية تبادل الأيونات من خلال تحليل المكونات الرئيسية (ACP). أشارت نتائج ACP إلى أن جودة المياه الجوفية في منطقة الدراسة ناتجة بشكل رئيسي عن التجوية الجوية والجيوكيميائية للصخور. أكدت كل من مؤشر التشبع ومخطط Gibbs هذه النتائج.

تم حساب IQE-WA لكل محطة بناءً على المعايير الفيزيائية والكيميائية. خلال موسم الأمطار، تم تصنيف جودة المياه إلى ثلاث فئات: ممتازة (25٪)، جيدة (70٪)، ومتوسطة الجودة (5٪). أما خلال الموسم الجاف، فتم توزيع التصنيفات على النحو التالي: ممتازة (25٪)، جيدة (30٪)، ومتوسطة الجودة (45٪).

تعكس هذه الدراسة كيف تؤثر الأنظمة الهيدروجيولوجية والتفاعلات بين المياه والصخور على تراكيز الأيونات في المياه الجوفية. تساهم نتائجنا في تحديد احتياجات مياه الشرب في منطقة عين العربي، مما يساهم في تعزيز الإدارة المستدامة للمياه.

**الكلمات المفتاحية:** ينابيع عين العربي، عمليات التمدن، التركيب الفيزيائي-الكيميائي، جودة المياه، WA-WQI.

## Table des matières

REMERCIEMENTS.....	XIII
SUMMAR: .....	XVII
ملخص : .....	Erreur ! Signet non défini.
TABLE DES MATIÈRES .....	XIX
LISTE DES TABLEAUX :.....	XIII
LISTE DES PHOTOS : .....	2
INTRODUCTION GENERALE .....	4

### Chapitre I : Cadre Général

Partie I.....	3
I.1 Situation Géographique Et Organisation Administrative :.....	3
I.2 Aspect Géomorphologique :.....	4
I.2.1 Topographie :.....	6
I.2.1.1 Carte Hypsométrique :.....	6
I.2.1.2. Carte Des Pentés :.....	7
I.3 Réseau Hydrographique :.....	10
I.4 Contexte Socio-Économique.....	12
I.5 La Population : .....	12
I.6 Le Couvert Végétal :.....	12
I.8 Forêts : .....	17
I.9 L'élevage :.....	17
I.10 Industrie : .....	17
I.11 Potentiel Touristique :.....	17
Conclusion : .....	20
Partie Ii.....	21
I.1 Généralités Sur L'eau Et La Pollution :.....	21
I.2 La Qualité De L'eau :.....	22
I.3 Les Ressource D'eau : .....	22
I.4 Les Type D'eau :.....	23
I.4.1 Les Eaux Souterraines : .....	23
I.4.2 Les Eaux Superficielles : .....	23
I.5 Classification Des Eaux :.....	23
I.5.1. Les Eaux De Consommation : .....	23

<b>I.5.2</b>	<b>Les Eaux Non Destinées À La Consommation :</b>	<b>24</b>
<b>I.6</b>	<b>Pollution Des Eaux :</b>	<b>24</b>
<b>I.7</b>	<b>Les Sources De La Pollution :</b>	<b>25</b>
<b>I.7.1</b>	<b>La Pollution D'origine Domestique Et Urbaine :</b>	<b>25</b>
<b>I.7.2</b>	<b>La Pollution D'origine Agricole :</b>	<b>25</b>
<b>I.7.3</b>	<b>La Pollution D'origine Industrielle :</b>	<b>26</b>
<b>I.7.4</b>	<b>La Pollution Naturelle Ou Accidentelle :</b>	<b>26</b>
<b>I.8</b>	<b>Les Principaux Polluants :</b>	<b>26</b>
<b>I.8.1</b>	<b>La Pollution Biologique :</b>	<b>26</b>
<b>I.8.2</b>	<b>La Pollution Physique :</b>	<b>27</b>
<b>I.8.3</b>	<b>La Pollution Chimique :</b>	<b>28</b>
<b>I.9</b>	<b>L'impact De La Pollution :</b>	<b>29</b>
<b>I.9.1</b>	<b>Sur Le Milieu Naturel :</b>	<b>29</b>
<b>I.9.2</b>	<b>Sur L'économie :</b>	<b>29</b>
<b>I.9.3</b>	<b>Sur La Santé :</b>	<b>29</b>
<b>I.10</b>	<b>Norme De Qualité D'eau :</b>	<b>30</b>
	<b>Conclusion :</b>	<b>31</b>

## **Chapitre II : Cadre Géologique**

	<b>Introduction :</b>	<b>32</b>
<b>II.1</b>	<b>Géologie De L'algérie Du Nord :</b>	<b>32</b>
<b>II.1.1</b>	<b>Le Domaine Interne :</b>	<b>33</b>
<b>II.1.2</b>	<b>Le Domaine Des Flyschs :</b>	<b>34</b>
	<b>Ii.1.2.1 Les Flysch Mauritaniens :</b>	<b>34</b>
	<b>Ii.1.2.2 Les Flysch Massyliens :</b>	<b>34</b>
<b>II.1.3</b>	<b>Le Domaine Externe (Domaine Des Nappes) :</b>	<b>36</b>
	<b>II.1.3.1 Les Unités Ultra Telliennes :</b>	<b>36</b>
	<b>II.1.3.2 La Nappe Ultra-Tellienne Du Djebel Haouara :</b>	<b>36</b>
	<b>II.1.3.3 La Nappe Ultra- Tellienne De Djebel Bou Sbaa :</b>	<b>36</b>
	<b>II.1.3.4 L'ensemble Tellien :</b>	<b>37</b>
	• <b>L'unité Tellienne À Globigérines</b>	<b>37</b>
	• <b>Les Unités Méridionales (À Calcaires À Nummulites)</b>	<b>37</b>
	<b>II 1.3.5 L'avant Pays Allochtone Ou Para Autochtone :</b>	<b>37</b>
	➤ <b>Catégorie Du Nord Oriental :</b>	<b>38</b>
	➤ <b>Catégorie Central :</b>	<b>38</b>

➤ Catégorie Méridional :.....	38
II.2 Géologie Locale : .....	39
II.3 Analyse Litho Stratigraphique De Différentes Unités Structurales :.....	41
II.3.1 Le Primaire : .....	41
II.3.2 Le Trias :.....	41
II.3.3 Formation Du Néocomien :.....	42
II.3.4 Les Formations De L’aptien :.....	42
II.3.5 Les Formations De L’albien : .....	42
II.3.6 Les Formations Du Vraconien :.....	43
II.3.7 Les Formations Du Cénomaniens :.....	43
II.3.8 Les Formations Du Turonien-Coniacien :.....	43
II.3.9 Les Formations Du Santonien : .....	43
II.3.10 Les Formations Du Campanien :.....	43
II.3.11 Les Formations Du Maestrichtien :.....	43
II.3.12 Les Formations Du Paléocène :.....	44
II.3.13 Les Formations De L’ocène Inferieur Et Moyen : .....	44
II.3.14 Les Formations De L’ocène Supérieur Et De L’oligocène : .....	44
II.3.15 Les Flysch Du Numidien : .....	44
II.3.16 Les Formations Du Mio-Pliocène (Continental Lacustre De Guelma) : .....	44
II.3.17 La Mollasse De Guelma :.....	45
II.3.18 Les Formations Du Quaternaire : .....	45
Alluvions Anciennes :.....	45
Dans La Moyenne Terrasse (Salétien).....	45
Alluvions Récentes : .....	45
II.3.19 Les Formations Du Pléistocène :.....	46
II.4 La Tectonique De La Région De Guelma : .....	46
II.4.1 Les Plis :.....	47
II.4.2 Contacts Anormaux : .....	47
II.4.2.1 Les Failles : .....	47
II.4.2.2 Les Chevauchements : .....	47
II.4.2.3 Les Discordances :.....	48
ii.5 Reconstitution Paléogéographique .....	48
Conclusion : .....	49

### Chapitre III : Etude Hydroclimatologique

<b>Introduction :</b> .....	<b>51</b>
<b>III.1 Les Facteurs Climatiques :</b> .....	<b>51</b>
<b>III.1.1 Précipitation :</b> .....	<b>52</b>
<b>III.1.1.1 Précipitations Moyennes Mensuelles</b> .....	<b>53</b>
<b>III.1.1.2 Précipitations Moyennes Saisonnères :</b> .....	<b>53</b>
<b>III.1.1.3 Variations Interannuelles Des Précipitations :</b> .....	<b>54</b>
<b>III.1.1.4 Coefficient Pluviométrique :</b> .....	<b>55</b>
<b>III.1.2 Température :</b> .....	<b>56</b>
<b>III.1.2.1 Variation Des Températures Moyennes Mensuelles :</b> .....	<b>57</b>
<b>III.1.2.2 Variation Des Températures Moyennes Saisonnères :</b> .....	<b>58</b>
<b>III.1.2.3. Variations Annuelles Des Température :</b> .....	<b>58</b>
<b>III.2 Indices Climatiques :</b> .....	<b>59</b>
<b>III.2.1 L'indice D'aridité Annuel De De Martonne :</b> .....	<b>59</b>
<b>III.2.2 Indice D'aridité Mensuel De De Martonne</b> .....	<b>61</b>
<b>III.3 Diagramme Pluviothermique De Gaussen :</b> .....	<b>62</b>
<b>III.4 Climagramme De Louis Emberger :</b> .....	<b>63</b>
<b>III.5. Humidité :</b> .....	<b>65</b>
<b>III.6. Vent :</b> .....	<b>66</b>
<b>III.7 Le Bilan Hydriques De Thornthwaite :</b> .....	<b>66</b>
<b>III.7.1. L'évapotranspiration :</b> .....	<b>67</b>
<b>iii.7.1.1. Evapotranspiration Potentielle (Etp) :</b> .....	<b>67</b>
<b>iii.7.1.2. La Formule De C.W. Thornthwaite :</b> .....	<b>67</b>
<b>III.7.2. L'évapotranspiration Réelle (Etr) :</b> .....	<b>68</b>
<b>III.7.2.1. Formule De Turc :</b> .....	<b>69</b>
<b>III.7.2.2. Formule De Coutagne :</b> .....	<b>69</b>
<b>III.7.2.3. Méthode De C.W. Thornthwaite :</b> .....	<b>70</b>
<b>III.8 Le Bilan Hydrique :</b> .....	<b>71</b>
<b>III.9 :Estimation De La Lamme D'eau Écoulée (Ruissellement) :</b> .....	<b>74</b>
<b>III.10 : Estimation De Lamme D'eau Infiltrée (L'infiltration Efficace) :</b> .....	<b>75</b>
<b>Conclusion :</b> .....	<b>77</b>
<b>Chapitre IV : Cadre Hydrologique Et Hydrogéologique</b>	
<b>Partie Hydrologie</b> .....	<b>79</b>
<b>Introduction :</b> .....	<b>79</b>
<b>IV. 1. Répartition Des Sous-Bassins De La Seybouse :</b> .....	<b>80</b>

IV. 1.1. La Haute Seybouse :	80
IV. 1.2. La Moyenne Seybouse :	81
IV.2. Ressources Hydriques De La Commune D'ain Larbi :	82
IV.2.1 Les Eaux Superficielles :	83
➤ Oued Charef :	83
➤ Oued El Aar :	83
IV.3 Conclusion :	84
Partie Hydrogéologie.....	85
Introduction :	85
IV.1 : Les Systèmes Aquifères Identifiés :	85
➤ La Nappe Alluvionnaire De Guelma (Mio-Plio-Quaternaire) .....	85
➤ La Nappe Des Calcaires Néritiques Et Sénoniens (Héliopolis – Guelaat Bousbaa).....	85
➤ La Nappe Des Calcaires Éocènes (Ras El Agba – Sellaoua Announa ...	86
➤ La Nappe Carbonatée D'ain Larbi – Bou Hachana (Yprésien).....	86
IV. 2 Apports De La Géophysique À L'interprétation Hydrogéologique :	86
IV.2.1 Méthodologie Des Sondages Électriques Verticaux (Sev) :.....	86
IV.2.2 Interprétation Des Coupes Lithologiques D'ain Larbi (Al1, Al2 Et Al3) :	87
IV.2.3 Synthèse Hydrogéologique :	88
IV.2.4 Interprétation Des Coupes Lithologiques De Ras El Maa :	89
IV.2.5 Synthèse Hydrogéologique :	90
IV.3 Les Eaux Souterraines De La Région D'étude :	91
IV.3.1 Inventaire Et Répartition Des Points D'eau :	92
IV.3.1.1. Les Forages :	92
IV.3.1.2 Les Puits :	92
IV.3.1.3 Les Sources :	93
IV.4 Conditions Géologiques D'émergences Des Sources Thermales :	94
Conclusion :	96

## **Chapitre V : qualite des eaux souterraines de la region d'étude**

INTRODUCTION :	97
V.1 Inventaire des points de prélèvements :	99
V.2 : Matériels et méthodes d'analyses :	103
V.3 : Distribution spatiale des paramètres physicochimiques :	104
V.3.1 Paramètres Physiques Mesurés (In Situ) :	104

V.3.1.1 La Conductivité Électrique :	105
V.3.1.2 L'oxygène Dissous :	106
V.3.1.3 Le Potentiel D'hydrogène (Ph) :	107
Vi.3.1.4 La Température (T°) :	108
V.3.1.6 Total Des Sels Dissous (TDS) :	110
V.3.2 Paramètres -Chimiques Mesurés Au Laboratoire :	111
V.3.2.1 Calcium (Ca <sup>+2</sup> ) :	111
V.3.2.2 Magnésium :	112
V.3.2.3 Sodium :	113
V.3.2.4 Potassium :	114
V.3.2.5 Les Bicarbonates (Hco <sup>-3</sup> ) :	115
V.3.2.6 Chlorure :	116
V.3.2.7 Les Sulfates (So4 <sup>2-</sup> ) :	117
VI.3.3. Les Éléments De Pollution :	118
V.3.3. 1 Les Nitrates : No <sup>-3</sup> Ou Azote Nitreux :	119
V.3.3.2 Les Nitrites (No <sup>2-</sup> ) :	120
V.3.3.3 L'ammonium Nh <sup>4+</sup> :	121
V.3.3.4 Phosphate Po4 <sup>-3</sup> :	122
VI.3.4. Bactériologie :	122
V.3.4.1 Coliformes Totaux (Ct) :	124
V.3.4.3 Les Streptocoques Fécaux :	127
V.3.4.4 Clostridium Sulfito-Réducteurs : ASR.	128
V.4 Hydrogéochemie Des Eaux Souterraines :	129
V.4.1 Diagramme De Piper :	130
V.4.2 Diagramme De Schöeller-Berkalof :	132
V.4.3 Diagramme De Chadha :	134
V.5 Les Mécanismes Contrôlant La Chimie Des Eaux Souterraines :	136
V.5.1 Indice De Saturation (Is) :	136
V.5.2 Diagramme De Gibbs :	138
V.5.3 Approche Statistique Pour La Corrélacion Des Minéraux Dans Les Eaux Souterraines :	140
V.5.4 Les Mécanismes D'échanges D'ions :	142
V.6 Indice De La Qualité De L'eau :	144
V.6.1 Historique Des Indices De La Qualité De L'eau :	145
V.6.3 L'indice De Qualité De L'eau Arithmétique Pondérée :	146

V.6.4 Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (Méthodologie) :.....	147
Conclusion : .....	153

### Chapitre VI : Aptitude des eaux à l'irrigation.

Introduction :.....	157
V.1 Aptitude De La Qualité Des Eaux Souterraines À L'irrigation :.....	158
VI.1.1 Conductivite Electrique (Ce) : .....	158
VI.1.2 Total Des Solides Dissous Tds : .....	159
VI.1.3 Le Potentiel D'hydrogène (Ph) : .....	160
VI.1.4 Risque De Sodium (Na%) :.....	161
VI.1.5 Sodium Adsorption Ratio (Sar) (Richards 1954) : .....	164
VI.1.6 Carbonate De Sodium Residuel(Rsc) :.....	166
VI.1.7 Indice de perméabilité (IP) : .....	168
VI.1.8 Magnesium ratio (MR) :.....	170
VI.1.9 Indice De Kelley (Ki) : .....	171
VI.1.10 Salinité potentielle (PS) : .....	172
VI.1. 11 Diagramme de salinité de l'USSL : .....	173
CONCLUSION : .....	177

### Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi

Partie I :                    Importance de la gestion en eau. ....	179
Introduction :.....	179
VII.1 Situation des ressources en eau dans le monde.....	179
VII.1.1 Importance et enjeux autour des ressources en eau .....	179
VII.1.1.1 Les enjeux actuels autour des ressources en eau :.....	179
VII.1.1.2 Situation actuelle de l'eau dans le monde : .....	180
VII.1.1.3 Situation des ressources en eau en Algérie : .....	181
VII.1.2 Une approche nouvelle de la gestion de l'eau :.....	181
VII.1.2.1 Les éléments de la crise :.....	181
VII.1.2.2 Les perspectives ou voies de sortie de crise : .....	182
<b>Partie II</b>	
Gestion des ressources en eau région Ain Larbi : (Bilan et perspectives).....	182
VII.2     Etude Socio-économique : .....	183

<b>VII.2.1</b>	<b>Evolution de la population de la Commune :</b>	<b>184</b>
<b>VII.2.2</b>	<b>Estimation de la population future par zone (Perspective démographique) :</b>	<b>187</b>
<b>VII.2.3</b>	<b>Estimation de l'évaluation des besoins actuelle :</b>	<b>188</b>
	<b>VII.2.3.1</b> Evaluation des besoins domestiques en eau de la population actuelle (2020) :	189
	<b>VII.2.3.2</b> Les besoins actuels en eau Industrielle :	190
	<b>VII.2.3.3</b> Besoins en eau d'irrigation :	191
	<b>VII.2.3.4</b> Estimation des besoins actuels en eau des différentes activités (Equipements) :	191
	<b>VII.2.3.5</b> : Estimation des besoins actuels de l'AEP :	193
<b>VII.2.4</b>	<b>Estimation de la demande actuelle de l'AEP :</b>	<b>193</b>
<b>VII.2.5</b>	<b>Estimation de l'évolution des besoins futurs de l'AEP :</b>	<b>194</b>
	<b>VII.2.5.1</b> Evaluation des besoins domestiques en eau potable de la population (2020-2050) :	194
	<b>VII.2.5.2</b> Estimation des besoins futurs en eau des différentes activités (Equipements) :	195
	<b>VII.2.5.3</b> Estimation des besoins futurs de l'AEP :	195
	<b>V.2.5.4</b> Balance des ressources actuelles pour l'AEP/ demande actuelles estimées (Bilan) :	196
<b>VII.3</b>	<b>Les ressources d'approvisionnement en eau de la commune de Ain Larbi :</b>	<b>197</b>
<b>VII.3.1.</b>	<b>Ressources souterraines :</b>	<b>197</b>
<b>VII.4</b>	<b>Stockage :</b>	<b>198</b>
<b>VII.5</b>	<b>Problématique du secteur :</b>	<b>199</b>
	<b>Conclusions et recommandations</b>	<b>199</b>
	<b>Recommandations :</b>	<b>200</b>
	<b>Conclusion général</b>	<b>203</b>
	<b>Référence Bibliographies.....</b>	<b>207</b>

# Liste Des Figure

## Chapitre I : Cadre Général

Figure I.1 :Situation géographique de la zone d'étude.....	4
Figure I.2 :Situation géographique du bassin versant de la haute Seybouse(Allouani,2023)....	5
Figure I.3 : <i>Carte hypsométrique de la zone d'étude (Allouani N, 2024)</i> .....	6
Figure I.4: Carte des pentes de la zone d'étude (Allouani N, 2024). ....	8
Figure I.5: Répartition des classes de pentes (Km <sup>2</sup> ) et en %.....	10
Figure I.6: Réseau hydrographique de la région d'étude (Alouani N. 2024). ....	11
Figure I.7: <i>Carte d'occupation du sol (Allouani N, 2024)</i> .....	13
Figure I.8 : Carte topographique à l'échelle 1 /50000 de Sedrata n° 99 montrant site de Galaat Bouatfane et ses environs. Source.....	18

## Chapitre II : Cadre Géologique

Figure II. 1:Carte géologique de la région de Guelma (Vila, 1980). ....	33
Figure II. 2: Coupe générale synthétique des Maghrébides de l'Est algérien.....	35
Figure II. 3: Position des nappes de flyschs par apport aux unités de la chaîne Magribides. ....	35
Figure II. 4: Coupe géologique du sous bassin versant Oued Charef (J.M. Villa, 1980). ....	35
Figure II. 5 : Principaux affleurements des séries néritiques Constantinois .....	39
Figure II. 6 : Carte géologique de la région de Guelma (Allouani, N, 2023) .....	41
Figure II. 10 :Carte de fracturation et de sismicité d'après J. M. Vila (CRAAG) de la Wilaya de Guelma. ....	48

## Chapitre III : Etude Hydroclimatologique

Figure III. 1: Précipitations annuelles moyenne dans le Nord-Est de l'Algérie durant la période 1965/1995 (A.N.R.H, 2003) In Mebarki 2009. ....	53
Figure III. 2:Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station de Guelma (1987/2022.) .....	53
Figure III. 3:Précipitations moyennes saisonnières en (%) à la station de Guelma (1987/2022). ....	54
Figure III. 4: Histogramme des précipitations moyennes annuelles (mm) Station de Guelma (1987/2022). ....	55
Figure III. 5 : Variation du coefficient pluviométrique à la station météorologique de Guelma (1987-2022). ....	56
Figure III. 6:Températures moyennes annuelles dans le Nord Est de l'Algérie .....	57
Figure III. 7: Evolution des températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (1987/2022). ....	58
Figure III. 8:Variation de températures annuelles à la station de Guelma (1987-2022). ....	59
Figure III. 9:Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de De Martonne. ....	61
Figure III. 10 :Abaque de l'Indice d'aridité mensuel de DE Martonne. ....	62
Figure III. 11: Diagramme pluviothermique de la station de Guelma (1987/2022).....	63
Figure III. 12: Climagramme de L. Emberger de la station de Guelma. (1987/2022). ....	64
Figure III. 13: Humidité relative mensuelle (%) à la station de Guelma (1987/2022). ....	65
Figure III. 14: Vitesse moyenne des vents à la station de Guelma (1987/2022) .....	66
Figure III. 15: Représentation graphique des éléments du bilan hydrologique de Thornthwaite, station Guelma (1987/2022) hydrologique. ....	74
Figure III. 16: Variation des réserves facilement utilisables, l'excédent et déficit agricole du bilan hydrologique de Thornthwaite de la station Guelma (1987/2022). ....	74
Figure III. 1 : représentation des paramètres du bilan hydrique sur la vue 3D .....	76

## Chapitre IV: Cadre hydrologique et Hydrogéologique.

Figure IV. 1: Localisation de la commune d'Ain Larbi dans les sous-bassins de la Moyenne Seybouse et du Cherf Aval (wilaya de Guelma) .....	80
Figure IV. 2 :Le réseau Hydrographique de la région de Ain Larbi. ....	84
Figure IV. 3: Carte de localisation des coupes hydrogéologiques réalisées dans la région d'étude.....	87
Figure IV. 4: coupe lithologique selon les SEV d'Ain L'arbi (AL1, AL2et AL3).....	87
Figure IV. 5: coupe lithologique selon les SEV d'Ain L'arbi (RM1, RM2 et RM3) . ....	89

## Chapitre V : Qualité Des Eaux Sources De La Région D'étude.

Figure V. 1: Carte de situation des points de prélèvements. ....	100
Figure V. 2: Carte de Conductivité électrique (Janvier, Juillet 2022).....	106
Figure V. 3: Carte de Répartition d'OD (Janvier, Juillet 2022). ....	107
Figure V. 4: Carte de Répartition de pH (Janvier, Juillet 2022). ....	108
Figure V. 5: Carte de Répartition de Température (Janvier, Juillet 2022). ....	109
Figure V. 6: Carte de Concentration de $Ca^{2+}$ (Janvier, Juillet 2022).....	112
Figure V. 7: Carte de répartition de Concentration de $Mg^{2+}$ (Janvier, Juillet 2022). ....	113
Figure V. 8 : Carte de répartition des Sodium (Janvier, Juillet 2022).....	114
Figure V. 9: carte de répartition de $K^+$ (Janvier, Juillet 2022). ....	115
Figure V. 10 : carte de répartition des concentrations en $HCO_3^{-1}$ (Janvier, Juillet 2022). ....	116
Figure V. 11: Carte de répartition de $Cl^{-}$ (Janvier, Juillet 2022). ....	117
Figure V. 12: Carte de répartition de $SO_4^{2-}$ (Janvier, Juillet 2022).....	118
Figure V. 13: Carte de répartition de $NO_3^{-}$ (Janvier, Juillet 2022). ....	119
Figure V. 14: Carte de répartition de $NO_2^{-}$ (Janvier, Juillet 2022). ....	120
Figure V. 15: carte de répartition des concentrations en $NH_4^{+}$ .....	121
Figure V. 16: Carte de répartition de $PO_4^{-3}$ (Janvier, Juillet 2022). ....	122
Figure V. 17: Evolution du nombre des coliformes totaux dans les sources de la région ....	126
Figure V. 18: Evolution du nombre des coliformes fécaux dans les sources de la région d'étude (Janvier – juillet 2022). ....	127
Figure V. 19: Représentation des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper .....	132
Figure V. 20: Représentation des analyses chimiques des eaux de sources sur le diagramme .....	133
Figure V. 21: Représentation des analyses chimiques des eaux de sources sur le diagramme Schöeller-Berkalof (Juillet. 2022).....	134
Figure V. 22 :Représentation des échantillons d'eau sur le diagramme de Chadha .....	136
Figure V. 23: Changement de l'indice de saturation dans les minéraux carbonatés et évaporitiques (janvier .Juillet 2022). ....	138
Figure V. 24: Diagramme de Gibbs présentant les mécanismes contrôlant la chimie des eaux souterraines.....	139
Figure V. 25: Projection des variables et des individus sur le plan factoriel F1/F2 (janvier 2022). ....	142

Figure V. 26: Valeurs des indices d'échange CAI (1) et CAI (2) (juillet, janvier 2022). .....	144
Figure V. 27: Valeur de l'indice de qualité arithmétique pondérée des eaux de sources, .....	150
Figure V. 28: indice de qualité de l'eau (IQE) (janvier 2022). .....	151
Figure V. 29: indice de qualité de l'eau (IQE) (Juiellet 2022).....	153

**Chapitre VI : Aptitude Des Eaux A L'irrigation.**

<i>Figure VI. 1: Hystogramme de TDS.....</i>	<i>160</i>
<i>Figure VI. 2: Diagramme de Wilcox dans la zone d'étude.....</i>	<i>163</i>
<i>Figure VI. 3 : Distrubition spatiale du risque de Na %.....</i>	<i>163</i>
<i>Figure VI. 4 : sodium adsorption ratio (SAR) (Richards 1954) .....</i>	<i>165</i>
<i>Figure VI. 5 : Distrubition spatiale du SAR.....</i>	<i>166</i>
<i>Figure VI. 6: Classification de la qualité de l'eau d'irrigation basée sur l'IP.....</i>	<i>169</i>
<i>Figure VI. 7: Distrubition spatiale de l'Indice de perméabilité (IP).....</i>	<i>170</i>
<i>Figure VI. 8: Distrubition spatiale de l'Indice de Kelly (KR).....</i>	<i>172</i>
<i>Figure VI. 9: Distrubition spatiale de la Salinité potentielle (PS).....</i>	<i>173</i>
<i>Figure VI. 10: representation graphique (Diagramme USSL) des échantillons d'eau de source (2021/2022).....</i>	<i>174</i>

**Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi**

Figure VII. 1: Répartition de la population de la wilaya de Guelma. ....	183
Figure VII. 2: Répartition géographique de la population de Ain Larbi (2020) RGPH. ....	185
Figure VII.3: Graphe de l'évolution de la population 1994/2020 dans la commune .....	187
Figure VII. 4: Estimation de la population de Ain Larbi aux différents horizons.(2020-2050) .....	188
Figure VII. 5: Besoins futurs en eau domestiques des populations de la zone d'étude(2020-2050).....	195
Figure VII. 6 :bilan offre/demande(2020-2050). ....	196

## Liste des Tableaux :

### Chapitre I : Cadre Général.

Tableau I.1 :Sous bassins versants de la Seybouse. ....	6
Tableau I.2: Répartition par tranches d'altitudes de la superficie du bassin versant de la moyenne Seybouse. ....	7
Tableau I.3: Classes des pentes dans Le bassin versant de la moyenne Seybouse .....	8
Tableau I.4: Répartition des types de végétation par classes de superficie.....	13
Tableau I.5: Répartition générale des terres Agricoles (DSA Ain Makhloof 2011-2012). ....	14
Tableau I.6 :Répartition des terres agricoles et valeurs de production (DSA Ain Makhloof.2023). ....	15
Tableau I.7: Répartitions des cultures céréalières (DSA Ain Makhloof 2023). ....	15
Tableau I.8: Répartition des Cultures maraîchères (DSA Ain Makhloof 2023). ....	15
Tableau I.9 : Normes d'eau acceptable pour la consommation humaine.(WBO2011). ....	30

### Chapitre III : Etude Hydro Climatologique.

Tableau III. 1: Coordonnées et période d'observation de la station pluviométrique de Guelma (LATIFLS 2018) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau III. 2 :Répartition moyenne saisonnière des précipitations (mm) à la station de Guelma (1987/2022). ....	53
Tableau III. 3: températures moyennes mensuelles (°C) à la Station de Guelma (1987/2022). ....	57
Tableau III. 4: Répartition saisonnière des températures moyennes à la station de Guelma (1987/2022). ....	58
Tableau III. 5:variation de la température moyenne annuelle sur une période de 36 ans .....	58
Tableau III. 6 : Type de climat selon la valeur de l'indice de De Martonne.....	60
Tableau III. 7:Résultats du calcul de l'Indice d'aridité. (MARTONNE).....	60
Tableau III. 8:Indices d'aridité mensuels (IDM).....	62
Tableau III. 9:Quotient pluvio-thermique de Louis Emberge.....	64
Tableau III. 10:Moyennes mensuelles de l'humidité relative en % (1987/2022). ....	65
Tableau III. 11: Vent Moyen enregistré à la station de Guelma (1987/2022).....	66
Tableau III. 12 :Résultats de l'ETP obtenus par la formule de « THORNTHWAITE » (Station des Guelma, 1987-2022). ....	68
Tableau III. 13:Résultat du calcul de l'ETR par la méthode de Turc .....	69
Tableau III. 14 : Résultat du calcul de l'ETR par Méthode de Coutagne .....	70
Tableau III. 15: Résultats du calcul de l'ETR selon Turc, Coutagne et Thornthwaite. ....	71
Tableau III. 16 :Le bilan hydrologique selon la méthode de C.W Thornthwaite.....	72
Tableau III. 17:Le ruissellent par la formule de Tisxeront Berkaloff. ....	75
Tableau III. 18:Bilan hydrologique (en mm) de la station de Guelma.....	76

## Chapitre IV : Cadre Hydrogéologique.

Tableau IV. 1 :Répartition de la superficie de la commune d'Aïn Larbi par rapport aux sous-bassins de la Moyenne Seybouse et du Cherf Aval. ....	80
Tableau IV. 2: Inventaire des puits d'Ain Larbi. ....	92
Tableau IV. 3: Inventaire des sources d'Ain Larbi. ....	93

## Chapitre V : Qualite des eaux souterraines de la région d'étude

Tableau V. 1: Localisation des points de prélèvements. ....	99
Tableau V. 2: Echelle du Potentiel d'Hydrogène (Rodier 2009). ....	107
L'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température ( <b>Monod, 1989</b> ) et d'après le tableau (V. 3) , indique que les eaux de la région étudiée sont de bonne qualité pour l'alimentation en eaux potable. ....	109
Tableau V. 4: Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température(Monod, 1989).....	109
Tableau V. 5 : Grille de classement de la TDS pour les eaux de boisson (Jean-Lue. Potelon). ....	110
Tableau V. 6 :Tableau des données statistiques des paramètres bactériologiques.....	124
Tableau V. 7: Résultat de l'indice de saturation dans les minéraux carbonatés et évaporitiques (janvier 2022). ....	137
Tableau V. 8:Matrice de corrélation inter-éléments.....	141
Tableau V. 9: Classification de l'eau selon le l'indice d'échange de base ICA (1).....	143
Tableau V. 10 :Paramètres de qualité de l'eau, ses unités et limites admissibles.....	146
Tableau V. 11: Evolution de la qualité de l'eau selon L'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée. ....	148
Tableau V. 12 :Exemple de calcul de l'indice de qualité de l'eau pour la source S1, (les échantillons de la campagne Juillet 2022).....	148
Tableau V. 13 ci-dessus, la même procédure a été suivie pour calculer le reste des indices pour l'ensemble des sources, durant la période janvier et juillet 2022.....	149
Tableau V. 14 :Les valeurs globales de L'IQW de ( Janvier 2022).....	149
Tableau V. 15:Les valeurs globales de L'IQW ( Juillet 2022) ....	151

## Chapitre VI : Aptitude des eaux à l'irrigation.

Tableau VII.1. Il ressort que les conductivités électriques appartiennent aux classes (C2 et C3), ce qui traduit qu'elles sont aptes pour l'irrigation. Merabet (2010) Présente une classification détaillée avec les classes suivantes : ....	159
Tableau VI. 2:Grille de classement des TDS des eaux de la région de Ain Larbi.....	160
Tableau VI. 3 :classification des eaux selon leur pH (C.I.E, 2005). ....	161
Tableau VI. 4: Classification des eaux d'irrigation selon le Na (%) (DONNEN 1964) .....	162
Tableau VI. 5 :Classification de l'eau d'irrigation en fonction des valeurs du SAR. ....	164
Tableau VI. 6: Classification de l'eau pour le RSC. ....	167
Tableau VI. 7:Classification de l'eau pour le PI. ....	168
Tableau VI. 8: Classification de l'eau pour le MH. ....	170
Tableau VI. 9:Classification de l'eau pour le KR. ....	171

Tableau VI. 10:Classification de l'eau selon la Salinité Potentielle. ....	172
Tableau VI. 11 :Irrigation water suitability.....	175

### **Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi.**

Tableau VII. 1 :Disponibilité en eau douce – Ressources en eau renouvelables internes (RERI). ....	180
Tableau VII. 2 :Evolution de la population de la commune A.L de 1994 à 2012.....	185
Tableau VII. 3 : Population de la commune d'Ain Larbi 2020.....	186
Tableau VII. 4 : Evolution de la population 1994/2020 dans la commune de Ain Larbi. ....	186
Tableau VII. 5: Evolution de la population future de la commune de Ain Larbi 2020-2050.	188
Tableau VII. 6 : Besoins en eau domestiques actuels dans la zone d'étude (2020).....	190
Tableau VII. 7: Les équipements de la commune de Ain Larbi.....	192
Tableau VII. 8 : Besoins actuels des équipements en eau.....	192
Tableau VII. 9 : Estimation des besoins actuels de l'AEP.....	193
Tableau VII. 10: Balance demande actuelle en AEP- Offre actuelle.....	194
Tableau VII. 11: Besoins en eau domestiques futurs des populations de la zone d'étude. ....	194
Tableau VII. 12 : Besoins futurs estimés des équipements en eau- méthode algébrique.....	195
Tableau VII. 13 : Estimation des besoins futurs de l'AEP : .....	195
Tableau VII. 14 : Balance demande actuelle en AEP- Offre actuelle.....	197
Tableau VII. 15 : Répartition des points d'eau AEP à travers la Commune de Ain Larbi ....	197
Tableau VII. 16 : Caractéristiques des stations de pompage (commune d'Ain Larbi, .....	197
Tableau VII. 17 : Caractéristiques des réservoirs de la Commune de Ain Labi .....	198

### Liste des Photos :

Photo 1 : cimetière mégalithique .....	19
Photo .2 : Monuments funéraires (cimetière mégalithique).....	19
Photo.3 :Hamam Guerfa.....	19
Photo.4: Hamamm Belhachen.....	20
Photo.5 :Hamam Guerfa.....	95
Photo.6 :Hamam Belhacheni.....	95
Photo.7: Source Nakib Houcine (S5).....	105
Photo 8: Source Kef Bakhouche (S4). ....	105
Photo.9:Source Ain Babouche(S20).....	105
Photo.10 : Source Ain Djmai (S2).....	106
Photo.11: Source Ain Fras (S1).....	106
Photo.12: Source Ain lebnie (S10).....	102
Photo.13:Source Ain Guebel El Karma 1(S3).....	124
Photo.14: Source Ain Guebel El Karma 2 (S16) .....	102
Photo .15: Hamam Guerfa, S19 (Réservoirs et conduite de transfère). ....	103
Photo.16: Source Hammam Belhachani (S8).....	103

**LISTE DES ABREVIATIONS**

**ABH: Agence de Bassin Hydrographique**

**ACP : Analyse des composantes principales**

**AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture.**

**AEI : Alimentation en Eau d'Industrielle.**

**AEP : Alimentation en Eau Potable.**

**ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques**

**DREW : Direction des ressources en eau de la Wilaya**

**DSA : Direction des Services Agricoles.**

**ETP : l'évapotranspiration potentielle**

**ETR ; l'évapotranspiration réelle**

**GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat**

**GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.**

**SAU : Superficie Agricole Utile**

**SAUT : Superficie Agricole Utile Totale**

**SAT : Superficie Agricole Totale**

**SAU : Surface Agricole Utile.**

### INTRODUCTION GENERALE

Une eau saine est nécessaire à la vie, à l'hygiène et à la prévention des maladies d'origine hydrique. Elle constitue aussi le patrimoine d'une nation. L'eau est une préoccupation constante de toutes les époques et de tous les lieux (**Gartet *et al.*, 2001**).

Les ressources naturelles en eau sont constituées d'eaux souterraines et superficielles. Elles sont préservées pour être destinées à la consommation humaine, l'agriculture ou l'industrie (**Guessoum *et al.*, 2014**).

Une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exemptée d'élément chimique et/ou biologique susceptible, à plus ou moins long terme de nuire à la santé des individus. Par conséquent, et en fonction des caractéristiques de l'eau brute destinée à la production d'eau potable, la mise en place des traitements spécifiques s'avère le plus souvent nécessaire afin de répondre aux exigences réglementaires établies par les organismes de la santé publique (**John et Donald, 2010**).

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés et l'utilisation intensive des engrais chimiques en agriculture. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités (**Reggam *et al.*, 2015**).

En Algérie, l'exploitation des ressources d'eau est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigation et en industrie (**Mohammedi *et al.*, 2015**).

Les maladies à transmission hydrique (MTH), sont à l'origine de la mortalité élevée des populations des pays en voie de développement. L'eau contaminée par les microorganismes est une source d'infections très importante (**Madigan et Martink, 2007**).

La qualité des eaux souterraines peut parfois se détériorer et devenir polluée en raison de divers facteurs externes. Dans les endroits secs et semi-arides comme la région de Guelma.

l'importante augmentation démographique et le changement climatique ont entraîné une consommation excessive d'eau souterraine (pour l'irrigation et AEP )

Dans un contexte marqué par une demande croissante en ressources hydriques, la commune d'Aïn Larbi est confrontée à la question de la disponibilité et surtout de la qualité des eaux souterraines. Ces ressources, indispensables à la fois pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation agricole, peuvent être affectées par divers facteurs naturels et anthropiques susceptibles d'altérer leurs caractéristiques. Dès lors, l'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la commune d'Aïn Larbi, afin de déterminer leur conformité

aux normes de potabilité et leur aptitude à l'usage agricole, tout en apportant des éléments utiles pour une gestion durable de la ressource.

- La thèse est organisée en sept chapitres, débutée par une introduction générale et clôturée par une conclusion :
- **Le premier chapitre** est structuré en deux parties complémentaires. La première est consacrée à la présentation de la zone d'étude, à travers ses caractéristiques socio-économiques, géographiques et géomorphologiques, ainsi que la couverture végétale, les activités industrielles et agricoles, sans omettre le potentiel touristique. La seconde partie aborde les généralités relatives à l'eau et aux phénomènes de pollution.
- **Le deuxième chapitre** aborde les aspects géologiques régionaux, locaux, structuraux et tectoniques, en se basant principalement sur la synthèse des travaux préalablement effectués dans la région de Guelma.
- **Le troisième chapitre** se consacre à l'analyse des paramètres climatiques en vue d'établir le bilan hydrique, d'estimer la recharge en eau de la nappe.
- **Le quatrième chapitre** présente l'étude hydrologique et hydrogéologique de la région. Il traite, d'une part, des eaux superficielles et, d'autre part, de l'identification des principaux aquifères à l'aide de sondages électriques verticaux (SEV).
- **Le Cinquième chapitre** présente l'étude hydrochimique des eaux de la nappe carbonatée d'Aïn Larbi. Il aborde la qualité physico-chimique et microbiologique, l'évaluation des indices de qualité des eaux (IWQ), ainsi que les mécanismes de contrôle de la composition des eaux souterraines, illustrés par une représentation cartographique.
- **Le Sixième chapitre** aborde l'aptitude des eaux à l'irrigation, en traitant les indices de qualité des eaux à l'irrigation avec des différentes représentations graphiques et cartographiques.
- **Le Septième chapitre** présente la gestion des ressources en eau : il permet l'estimation de la ressource en eau, les besoins en eau et les outils de gestion, l'évolution des besoins en eau et les techniques de gestion proposés.

### **En conclusion,**

En conclusion, cette thèse se clôture par une synthèse générale des résultats obtenus, accompagnée de recommandations issues des conclusions tirées au cours de l'étude.

## **Chapitre I : Cadre Général**

### Partie I.

#### I.1 Situation géographique et organisation administrative :

La commune de Ain Arbi, est une partie intégrante du bassin versant de l'Oued Seybouse. Faisant partie du sous bassins Charef aval, est l'une des plus anciennes commune appelé Gounoud (d'après un compositeur français Charles Gounoud). Elle est devenue une commune de la daïra d'Ain Makhloof depuis le découpage administratif de 1994 d'un, d'une superficie de 167.5 Km<sup>2</sup>, et une population de 9616 habitants soit une densité de 57.4 habitants par Km<sup>2</sup> selon le dernier recensement du 2022.

Elle se situe au Nord - Est algérien, entre les longitudes : (7° 18'0" ; 7° 30'0") Est et les latitudes 36° 12' 0" ; 36° 22' 0" 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. (Fig.II.1) Faisant partie des hautes plaines constantinoises, le territoire communal s'allonge suivant une direction Sud-Nord, entre les monts de la Mahouna 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 :

- Les communes de Ben Djarah et Belkheir au Nord.
- Les communes de khezara, Bouhachana et Ain Sandel à l'Est.
- Les communes d'Ain Makhloof et de Sellaoua Announa à l'Ouest.
- La Wilaya de Souk Ahras et la commune de Ain SOLTANE Au Sud.

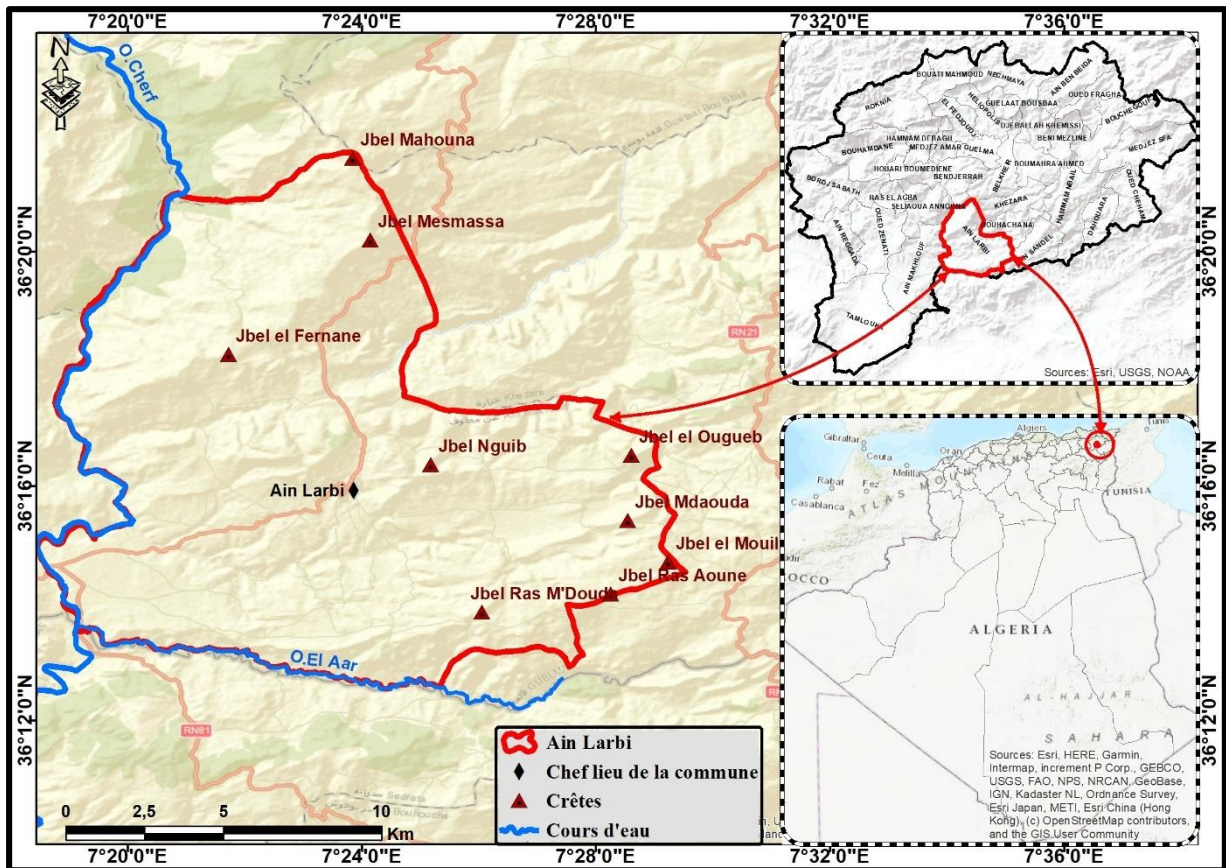


Figure I.1 : Situation géographique de la zone d'étude.

## I.2 Aspect Géomorphologique :

L'importance de la topographie apparaît 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 de sédiments pendant le Miocène et le Quaternaire, affecté d'un ensemble de chaînes 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 (inférieures 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 :** elle est caractérisée par un remarquable développement des formations marneuses, gréseuses et marno-calcaires, avec des sommets arrondis parfois plats ou raides.

Le bassin versant de l'Oued Seybouse se situe dans le Nord-Est du territoire national, l'Oued Seybouse est le principal cours d'eau, il draine un vaste bassin versant de 6471 km<sup>2</sup>. Il apparait dans les hautes plaines des Heractas et de Sellaoua et se termine dans la plaine côtière d'Annaba pour se jeter dans la Méditerranée. La confluence d'Oued Charef et Oued Bouhamdane donne la naissance d'Oued Seybouse au niveau de Medjez Amar.

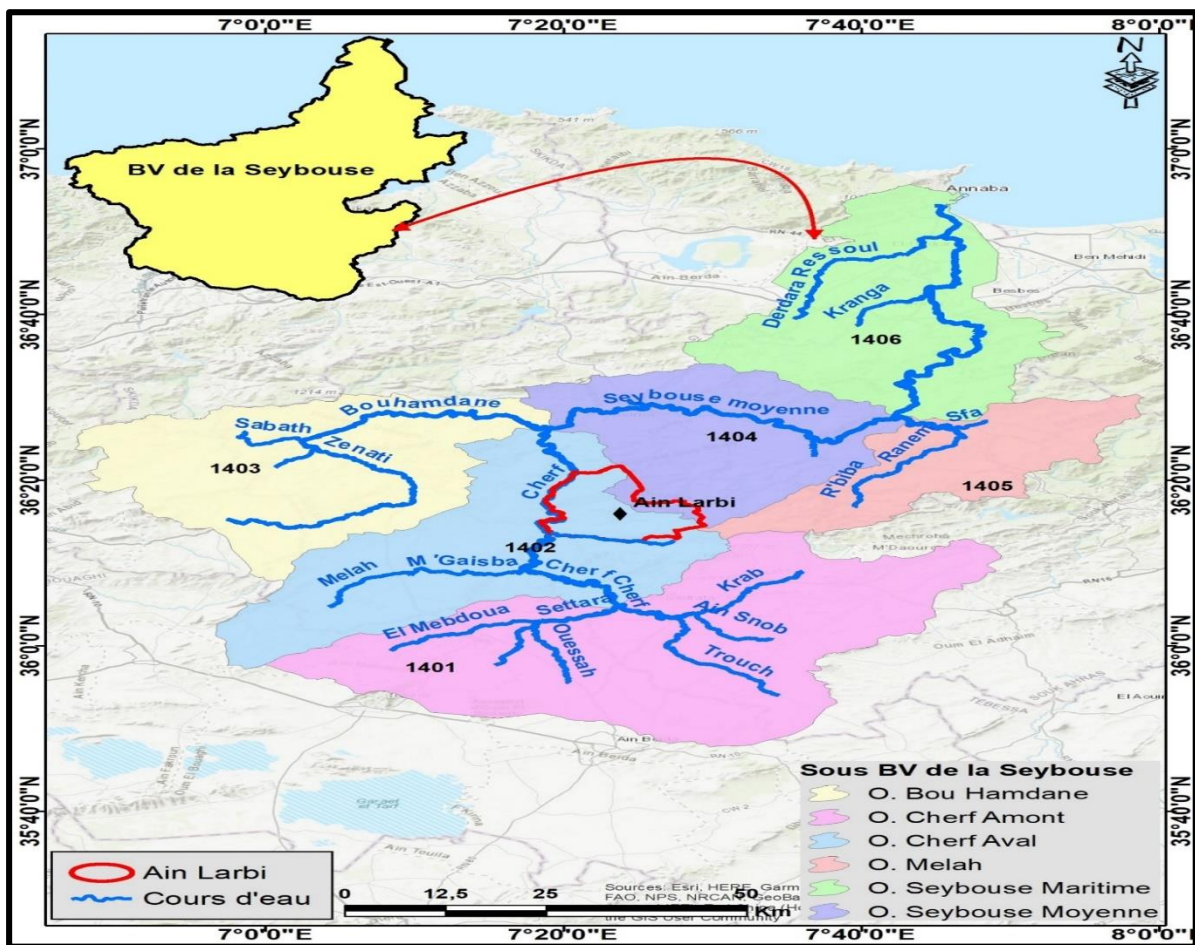


Figure I.2 : Situation géographique du bassin versant de la haute Seybouse (Allouani, 2023).

Sur le plan administratif, le bassin versant de la Seybouse touche soixante-huit communes sur sept wilayas du Nord-Est du pays (Annaba, Guelma, El-Tarf, Souk Ahras, Constantine, Oum El-Bouaghi, et Skikda), dont deux principales agglomérations ; Annaba et Guelma (figure I.2). Ce bassin s'allonge dans la direction Sud-Nord sur 243 Km de longueur et sur 26,6 Km de largeur, son altitude est comprise entre 0 m et 1620 m, il est découpé en six sous bassins versants répartis de façon inégale sur la haute, la moyenne et la base Seybouse (tableau I.1).

Tableau I.1 :Sous bassins versants de la Seybouse.

Région	Code	Nom	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Périmètre [km]
Haute Seybouse	14-01	O. Charef amont	1734	259
	14-02	O. Charef aval	1197	224
	14-03	O. Bouhamdane	1105	203
Moyenne Seybouse	14-04	O. Seybouse moyenne	820	157
	14-05	O. Melah	553	169
Basse Seybouse	14-06	O. Seybouse maritime	1062	200

Le bassin versant de la Seybouse présente un réseau hydrographique de plus de 4000 km, la longueur totale de l’oued Seybouse est de 138 km. Ce cours d’eau coule sur une pente relativement faible (1,9 ‰), il aboutit à la mer méditerranéenne dans le golfe de Bône (Annaba) après avoir suivi des directions diverses.

### I.2.1 Topographie :

#### I.2.1.1 Carte Hypsométrique :

Le relief joue un rôle fondamental dans le comportement hydrologique d’un bassin versant. Il a une forte influence sur le régime d’écoulement, car la pente du bassin influe fortement sur le ruissellement, l’infiltration, l’évaporation, etc. La carte hypsométrique est une représentation cartographique qui met en relief les variations d’altitude d’un terrain donné et fournit une vue synthétique de la pente du bassin.

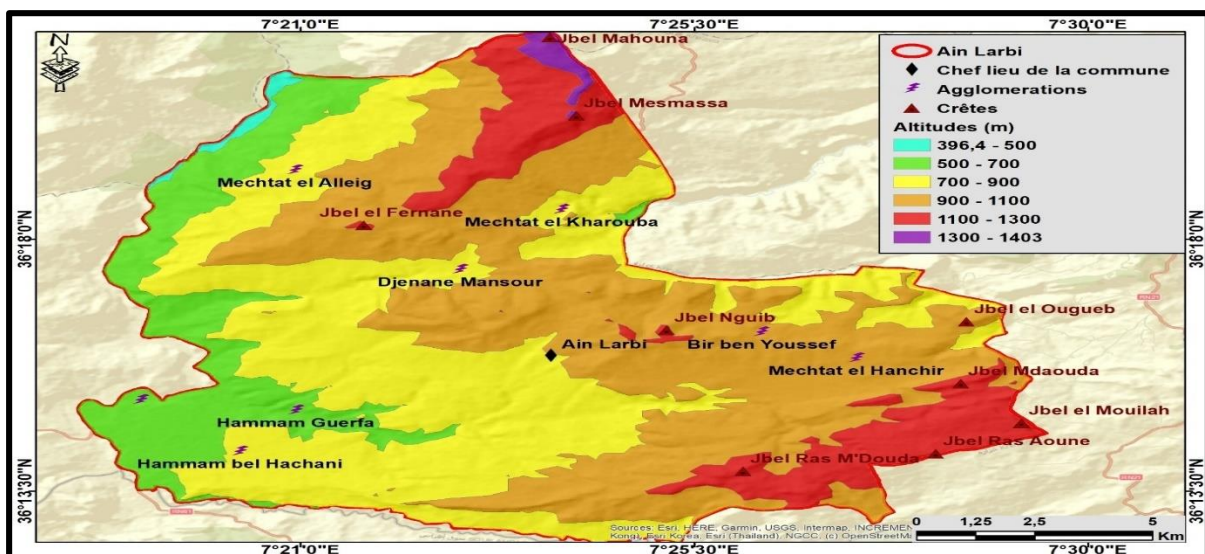


Figure I.3 : Carte hypsométrique de la zone d’étude (Allouani N, 2024).

Le tableau suivant représente les résultats de la répartition de la surface totale du bassin sur les différentes tranches d'altitude.

*Tableau I.2: Répartition par tranches d'altitudes de la superficie du bassin versant de la moyenne Seybouse.*

<b>Classes des altitudes en (m)</b>	<b>Superficie partielle (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie partielle (%)</b>
396,4 - 500	0,84	0,50
500 - 700	20,96	12,55
700 - 900	60,75	36,38
900 - 1100	65,11	38,99
1100 - 1300	18,25	10,93
1300 - 1403	1,08	0,65
	167,01	100,00

L'analyse de la répartition des altitudes montre une forte dominance des **altitudes moyennes**, comprises entre **700 m et 1100 m**, qui couvrent à elles seules **75,37 %** de la superficie totale de la zone d'étude. Cela suggère que le relief de la région est principalement constitué de plateaux ou de collines modérées, offrant une topographie relativement régulière.

Les **zones de basse altitude** (inférieures à 700 m) sont peu représentées, avec seulement **13,05 %** de la surface totale. Elles sont concentrées dans des zones localisées, probablement des vallées ou des fonds de cuvette.

Quant aux **zones de haute altitude** (supérieures à 1100 m), elles ne représentent que **11,58 %** du territoire. Ces parties en élévation sont probablement associées à des reliefs plus escarpés ou montagneux, mais elles restent marginales en surface.

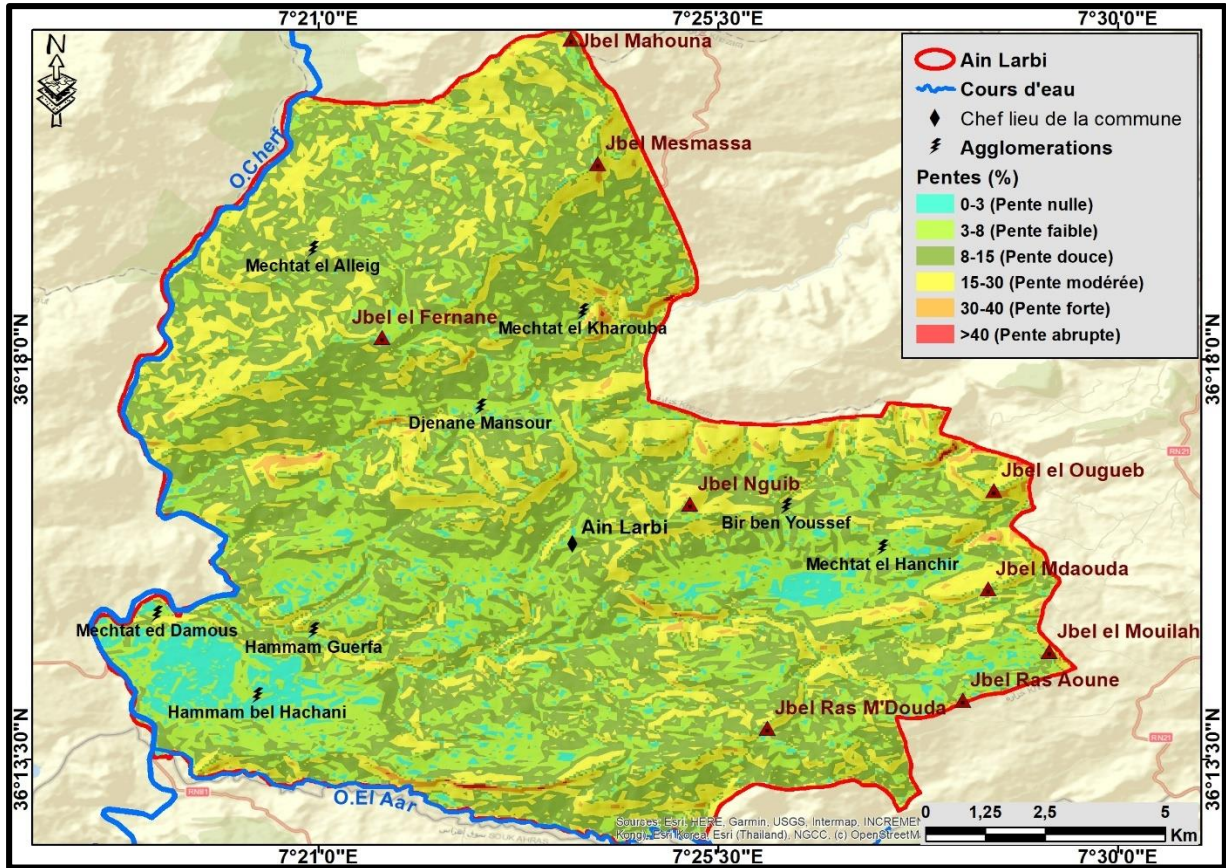
Le territoire étudié présente un relief intermédiaire dominant, propice à diverses activités humaines (agriculture, urbanisation...), tout en comportant quelques zones à très faible ou très forte altitude, peu étendues.

### **I.2.1.2. Carte Des Pentés :**

La pente topographique est un paramètre capital dans tout travail d'aménagement, Montrant l'inclinaison du terrain (en degrés ou pourcentage), indépendamment de l'altitude. Elle sert a

## Chapitre I : Cadre Général

identifier les zones abruptes (risques d'érosion, instabilité) ou douces (construction, agriculture). (Abbassi, 2004). La carte des pentes de la zone d'étude a été générée à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) en utilisant un système d'information géographique (ArcGIS). Une classification des pentes a ensuite été appliquée (figure I.3).



*Figure I. 4: Carte des pentes de la zone d'étude (Allouani N, 2024).*

La carte des pentes établie fait ressortir Cinq (06) classes de pentes représentées dans le tableau ci- dessous (Tableau 3).

*Tableau I.3: Classes des pentes dans Le bassin versant de la moyenne Seybouse*

Classes des pentes (%)	Superficie (km2)	Superficie (%)
0-3	9,18	5,48
3-8	45,11	26,93
8-15	72,34	43,19
15-30	37,87	22,61
30-40	2,87	1,71

>40	0,14	0,08
<b>Totale</b>	<b>167,50</b>	<b>100,00</b>

La classification des pentes de la région d'étude révèle une prédominance des terrains à pentes modérées.

➤ **Classe des pentes faibles à modérée (entre 3 et 15 %) :**

Représentent ensemble près de 70 % de la superficie totale, soit 117,45 km<sup>2</sup>. Ces zones se révèlent particulièrement propices à l'agriculture, notamment pluviale, ainsi qu'à l'urbanisation, sous réserve de mesures d'aménagement adaptées.

➤ **Classe des pentes fortes à extrêmes (>15 %) :**

Ces terrains présentant des pentes supérieures à 15 % (soit 24,4 % de la superficie) constituent des zones plus contraignantes, notamment en matière de stabilité des sols et de gestion des eaux de ruissellement. Ces secteurs nécessitent des interventions spécifiques, telles que le terrassement, le reboisement ou encore la mise en place d'ouvrages anti-érosifs.

➤ **Les pentes très faibles (0–3 %, soit 5,48 %) :**

Sont rares mais constituent des secteurs de choix pour les infrastructures et équipements lourds, grâce à leur topographie quasi plane.

Globalement, la morphologie du terrain indique un relief relativement modéré, favorable à un développement équilibré du territoire, à condition de tenir compte des risques liés à l'érosion dans les zones les plus pentues.

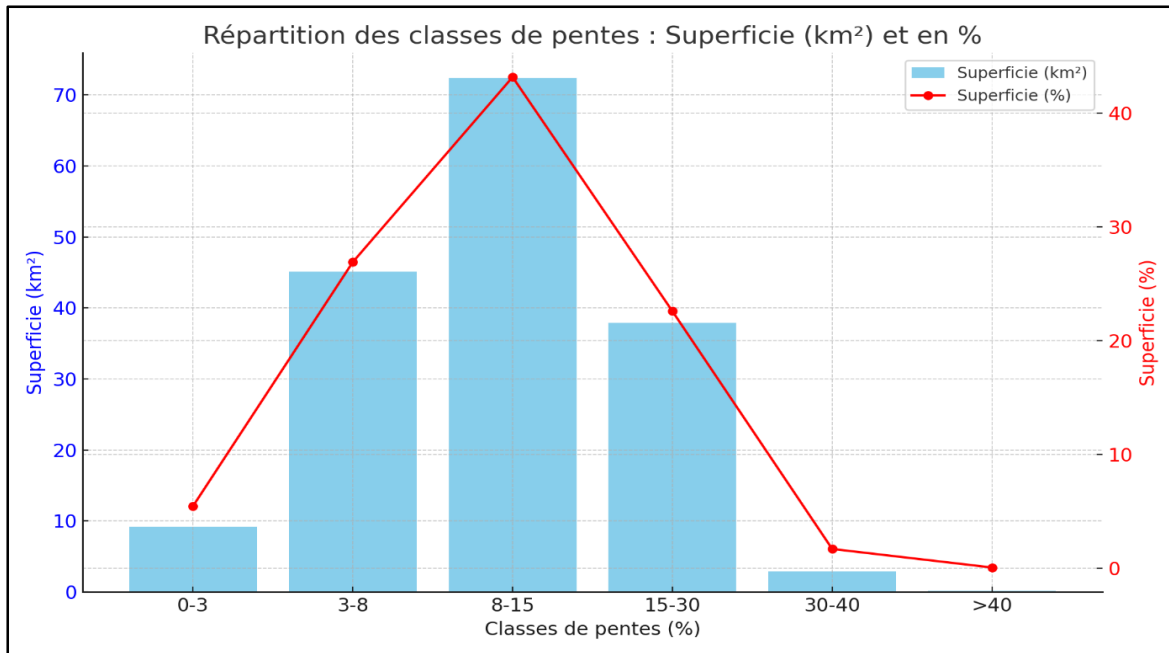


Figure I.5: Répartition des classes de pentes (Km<sup>2</sup>) et en %.

### I.3 Réseau hydrographique :

Le bassin d'oued Charef, identifié par le code (14.01 - 14.02), se trouve dans la section nord-Est du territoire algérien. C'est la zone qui borde trois wilayas : Souk Ahras (41), Guelma (24) et Oum El Bouaghi (04).

Ce bassin, qui fait partie du bassin versant de la Seybouse, présente une forme triangulaire couvrant une superficie de 2900 km<sup>2</sup> et un périmètre de 57 km (Bouhala, 2012). L'Oued Charef présente une apparence allongée présentant un indice de compacité de 1,27, ce qui correspond à un rectangle mesurant 70,9 km en longueur et 24,1 km en largeur.

**L'Oued Charef**, présente la limite Ouest du territoire communale qui draine presque la totalité de la région d'étude grâce à un chevelu hydrographique dense caractérisé par les principaux affluents suivants :

- **Oued Chaniour** : orienté Sud-Est – Nord-Ouest, il draine pratiquement tout le secteur Sud du territoire de la commune. L'important débit et l'écoulement constant sont dus à la présence de sources karstiques majeures et au massif calcaire tectonisé et karstifié (Djebel Mouilah et Ras Elma). Son intersection avec l'Oued Charef se déroule au niveau d'El Magroune.

- **Oued El Aar** : Marquant la limite sud de la commune d'Ain Larbi, elle prend sa source au niveau des monts d'El Mayda. Son régime constant et son débit considérable lui confèrent une

importance certaine en matière d'irrigation. Il se débouche dans l'Oued Charef au niveau d'Ouldjet Lakmar.

- **Oued Essabet** : S'écoulant à travers le centre du site examiné, son point de départ étant la ligne de partage des eaux près de la source Nakib Houcine, alimenté par quelques sources restreintes mais à flux constant, son profil longitudinal brusque amplifie son pouvoir d'érosion causant ainsi diverses manifestations de glissement de terrain sur ses rives.

- **Chaabet El Harhar** : Délimite la partie Nord-Ouest du territoire, c'est l'un des cours d'eau à débit constant qui provient des monts de la Maouna. Son importance hydraulique est réduite en raison de sa pente prononcée, de sa longueur modeste et de son emplacement montagneux.

- **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 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 Djediène et Chaabet Lediab.

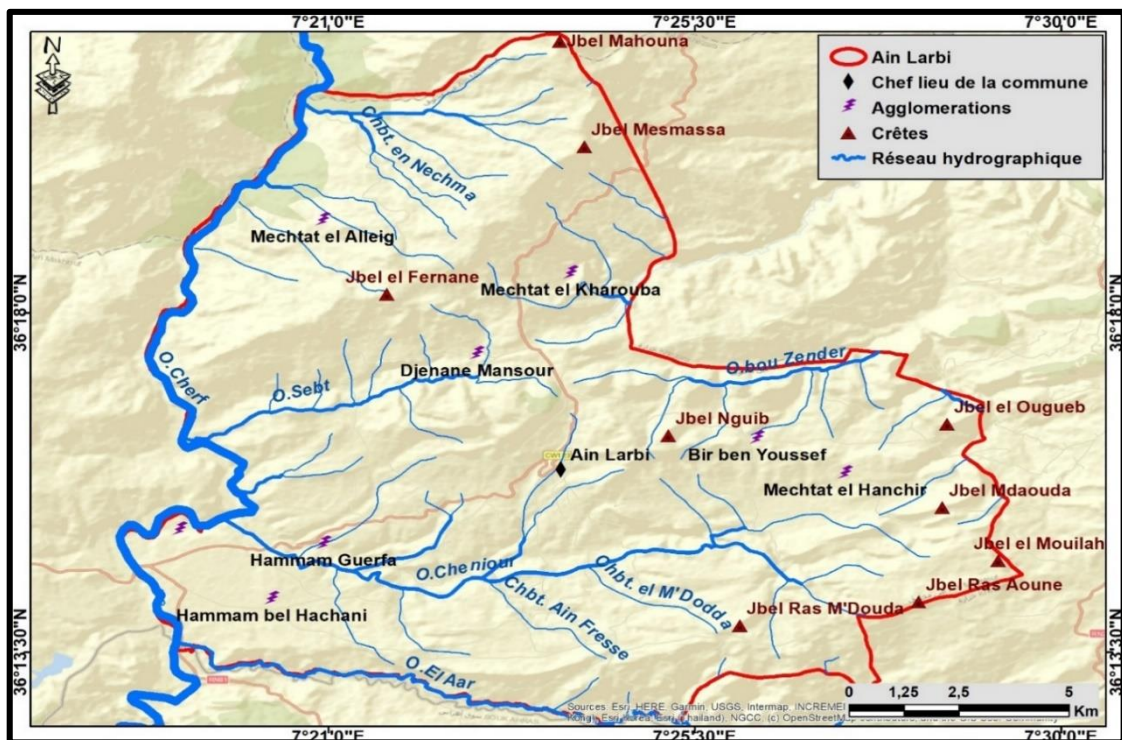


Figure I.6: Réseau hydrographique de la région d'étude (Alouani N. 2024).

### **I.4 Contexte socio-économique**

La commune de Ain Labri est l'une des plus anciennes communes de Guelma, où sont passées de nombreuses civilisations 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.

### **I.5 La population :**

Selon les statistiques disponibles, la population de la commune d'Aïn Larbi était estimée à 7 580 habitants en 2008, dont 82 % résidaient au chef-lieu de la commune. En 2011, cette population est passée à 7976 habitants, puis à 8168 habitants en 2012. Une croissance significative a été observée au cours de la dernière décennie, atteignant **9 616** habitants en 2022, soit une augmentation de 1 348 personnes par rapport à 2012. La densité moyenne de la population est estimée à 45 habitants par km<sup>2</sup>, avec un taux de croissance démographique annuel d'environ 3,4 %.

### **I.6 Le couvert végétal :**

Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Dans la zone d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts.

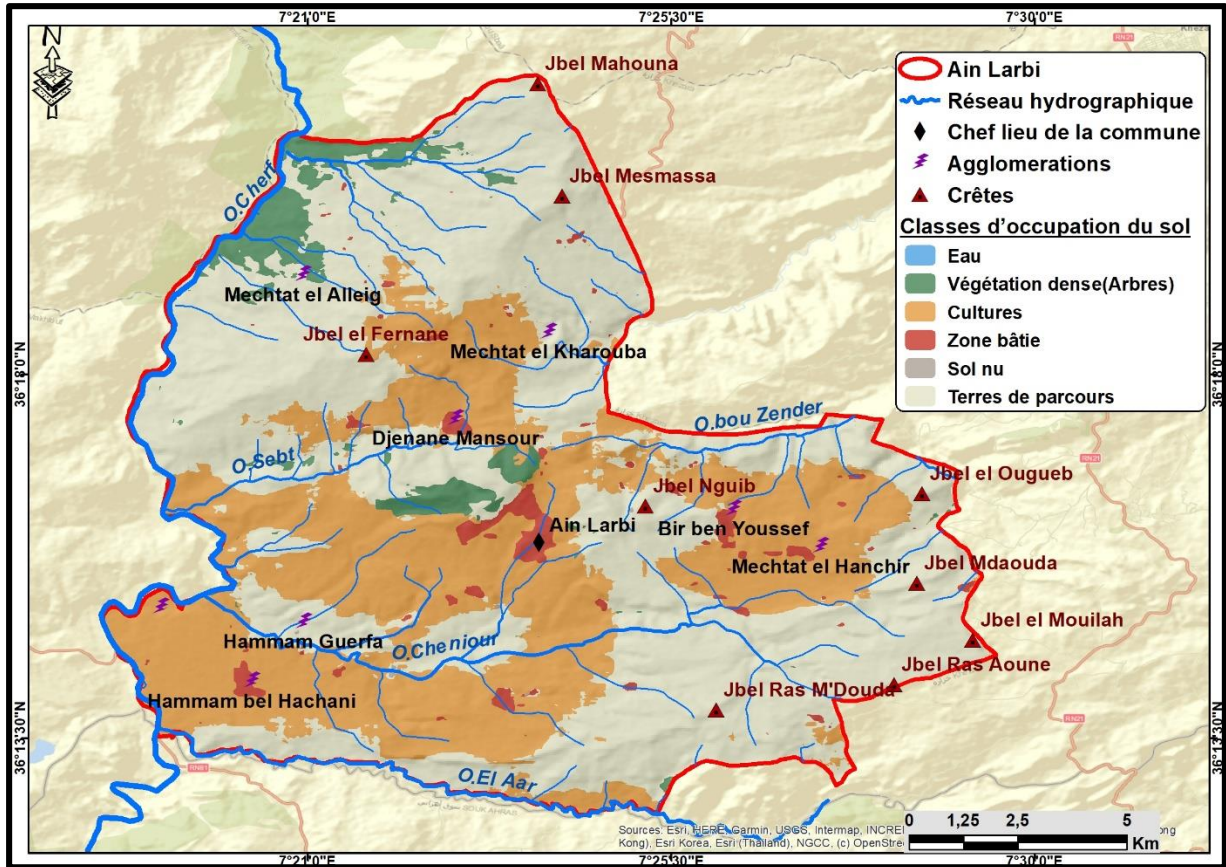


Figure I.7: Carte d'occupation du sol (Allouani N, 2024).

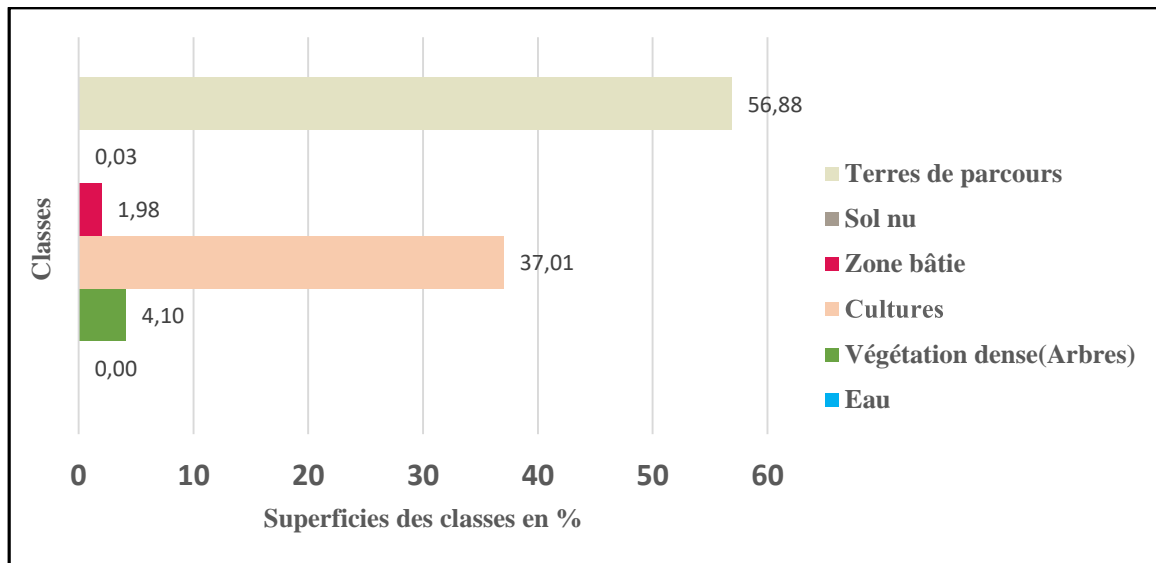
A partir de la carte d'occupation du sol (figure 8) nous pouvons déterminer la superficie occupée par chaque type de végétation ; les résultats sont représentés dans le tableau.

Tableau I.4: Répartition des types de végétation par classes de superficie.

Classes	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	Surface (ha)
Eau	0,002	0,00	0,17
Végétation dense (Arbres)	6,85	4,10	684,66
Cultures	61,82	37,01	6182,29
Zone bâtie	3,31	1,98	331,04
Sol nu	0,06	0,03	5,76
Terres de parcours	95,02	56,88	9501,82
<b>Totale</b>	<b>167,06</b>	<b>100,00</b>	<b>16705,75</b>

Le territoire **est** essentiellement rural, dominé par les terres de parcours (56,88 %) et les zones de cultures (37,01 %). La végétation arborée **reste secondaire** (4,10 %), et l'urbanisation est

très faible (1,98 %), tandis que l'eau et les sols nus sont quasi inexistants, ce qui pourrait indiquer un climat semi-aride ou une bonne couverture générale du sol.



### I.7 Le domaine Agricole :

L'agriculture joue un rôle très important dans l'économie de la région, elle occupe la première place au sein des activités de la population rurale représentée par les cultures maraîchères et fourragères, pratiquées aux abords des sources et des oueds, les cultures industrielles saisonnières ; melon, pastèques, pomme de terre, tomates, haricots verts et poivrons, qui demandent un volume très important d'eau pour l'irrigation, ainsi que l'élevage de volailles et de bétails et l'apiculture. Les pratiques culturales recensées figurent dans le tableau ci-dessous (Tab.1)

Tableau I.5: Répartition générale des terres agricoles (DSA Ain Makhloof 2011-2012).

Commune	Superficie Totale Agricole			Forêts (Ha)	Superficies non destinées à l'agriculture	Superficie Totale de la commune (Ha)
	Superficie agricole Utile, SAU(Ha)	Pâturages (Ha)	Terre improductives (Ha)			
	Irriguées	Non Irriguées				
	250	8356	700	349	4650	2445
						16750

## Chapitre I : Cadre Général

%	51.37	4.17	2.083	27.76	14.60	100%
---	-------	------	-------	-------	-------	------

*Source : DSA Ain Makhloof.*

*Tableau I.6 : Répartition des terres agricoles et valeurs de production (DSA Ain Makhloof, 2023).*

Type	Les Céréales		Les Fourrages		Maraichages		Arbres Fruitier		Prairie	Jachères
	Superficie	Prod. (quint)	Sup.	Prod. (quint)	Sup.	Prod.(quint)	Sup.	Prod.(quint)		
<b>Ha</b>	<b>4495</b>	<b>90224</b>	<b>500</b>	<b>15000</b>	<b>190</b>	<b>69260</b>	<b>137.29</b>	<b>4785</b>	<b>20</b>	<b>2700</b>

La céréaliculture est parmi les grandes cultures qui ont connu une nette dominance dans la région de Ain Arbi. On notera que la production céréalière est de 90224 quintos, avec un rendement de 20.07 qn/Ha sur une superficie de 4495 Ha, cultivées principalement dans les plaines et les bassins. (Tab I.) :

*Tableau I.7: Répartitions des cultures céréalières (DSA Ain Makhloof 2023).*

Types	Superficies (Ha)	Rendements (qn/Ha)	Production (qn)
<b>Blé dur</b>	3600	19.18	69048
<b>Blé tendre</b>	300	21.02	6307
<b>Orge</b>	595	25	14875
<b>Totale</b>	4495	20.07	90224

Les cultures maraîchères ont connu une nette augmentation, liée non aux potentialités agronomiques de la région mais surtout à la forte demande du marché local. Les cultures maraîchères les plus réparties sont : pomme de terre, tomates, ail, courgette, piment vert, aubergine salade haricot vert, pastèques...etc. sur une surface 69 Ha et une production de 7590

*Tableau I.8: Répartition des Cultures maraîchères (DSA Ain Makhloof 2023).*

Types	Superficies cultivées (Ha)	Productions (qn)
Tomate	18	800

## Chapitre I : Cadre Général

Poivrerons	24	2560
Courgettes	02	360
Melons jaunes	10	3000
Ails	15	870
Totale	69	7590

L'arboriculture fruitier Occupe une superficie de 137.29 Ha, elle représentée par de nombreux types telle que ; les olives, abricots ; pruneaux, l'arboriculture est classée en troisième place après les céréales et la culture fourragères.

*Tableau I. 9 : Répartition de l'arboriculture fruitier (DSA Ain Makhloof 2023).*

Types d'arbres	Superficies (Ha)	Rendements (qi/Ha)	Productions (qn)
Amandes	34.55	37	740
Pommes	05	20	100
Poires	08.78	20	176
Abricots	20.96	64	1347
Olives	23	16	192
Pêches	07	70	490
Prunes	27.25	60	1635
Totales	126.54	/	4680

Les pâturages occupent une petite superficie de 700 Ha destiné au pâturage du bétail de la région avec 4.2 % de la superficie totale, elles se situent au Sud et au centre de la commune.

La culture des fourrages occupe également une part des terres agricoles, estimée à 500 Ha, destinée à soutenir l'élevage bovin, notamment les veaux avec deux variétés ; l'orge vert et la canne naturelles. D'après ces résultats, on constate que la production agricole de la commune de Ain Arbi, reflète l'existence d'un système agricole axé sur les céréales, les fourrages, les maraichages, les oliviers et les arbres fruitiers.

### **I.8 Forêts :**

Le domaine forestier de la commune est surtout représenté dans la région de la Mahouna au lieu-dit : Kef-El-Fernanejn. Celui-ci occupe une superficie de 5640 Ha soit environ 27.76 % du territoire totale de la commune. Quatre types d'occupation du sous bassin Charef seront abordés :

#### **Série des chênes liège :**

Couvrent une superficie de 80 Ha au Nord dont 10 Ha domaniale et 70 Ha sous forme de terres de (Arch). (Source service des forêts Ain Larbi)

**Autres essences :** sont surtout les Oléastres (olivier sauvage) ; le chêne vert, le colycolome épineux.... Donc c'est toute une forme de maquis clairs et de broussailles.

**Reboisements forestier et fourrager :** dont 70% Pain Alep, 20 % cyprès et 10% acacia et 50% Frene, Févier d'amérique.

### **I.9 L'élevage :**

De par sa vocation agricole, l'élevage constitue une activité très importante à Ain Larbi. En effet des cheptels recensés attestent de l'importance accordée à ce type d'activité souvent complémentaire.

### **I.10 Industrie :**

La commune de Ain Larbi par sa vocation agricole en premier lieu, qu'on peut l'exploité dans le secteur agroalimentaire, à noter aussi l'absence totale d'unités industrielles exceptées les quelques installations comme, fabrique de parpaing etc.

### **I.11 Potentiel touristique :**

La commune de Ain Larbi, qui fait partie des hautes plaines constantinoises, se situe au Nord–Est Algérien, elle appartient à la wilaya de Guelma, et se caractérise par un relief montagneux affecté par des plaines et un réseau hydrographique relativement dense constitué de Cinq 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.

Suite à sa situation géographique privilégiée et les conditions climatiques favorables, la région bénéficie de sites archéologiques tels que : la citadelle Bouhadfane, cimetière mégalithique dans la région de Chaniour qui fait partie de l'époque historique depuis l'aube de l'histoire, elle est classifiée,

la commune renferme aussi un potentiel touristique indéniable grâce à ces sources thermales ; hammam Belhachani et Guerfa, à la faveur de ces sources, elle offre à ses visiteurs la possibilité d'une cure thermale bénéfique contre de nombreuses maladies en raison de la composition chimique de ces eaux et leur teneur en sels minéraux (eaux bicarbonatées, sulfatées, calciques, chlorurées et oligo-métalliques) sont indiquées, selon les spécialistes, pour le traitement de plusieurs maladies, notamment les affections cutanées, respiratoires, Maladies cardiovasculaires, maladies métaboliques et en Rhumatologie, séquelle de traumatisme ostéo-articulaires / neurologie.

De ce fait, cette région donne à ses visiteurs l'opportunité de découvrir une nature vierge et de plonger dans l'histoire lointaine d'anciennes populations et civilisations.



**Figure I.8 : Carte topographique à l'échelle 1 /50000 de Sedrata n° 99 montrant site de Gealaat Bouatfane et ses environs. (Source: The funerary landscape in the site of Guelaat Bou Atfane during Antiquity, Mourad Zerarka, Boudraa Fatma Zohra,2024**



*Photo 1 : cimetière mégalithique*



*Photo .2 : Monuments funéraires (cimetière mégalithique)*



*Photo.3 :Hammam Guerfa..*



*Photo.4: Hamamm Belhachen.*

### **Conclusion :**

Située dans les hautes plaines constantinoises, la commune d'Ain Larbi se trouve au Nord-Est algérien, dans la wilaya de Guelma.

Elle se distingue par son relief montagneux, marqué par des plaines, et son réseau hydrographique relativement dense, composé de cinq principaux cours d'eau, offrant de nombreuses possibilités d'exploitation pour différents usages de l'eau. Le climat subhumide a encouragé l'expansion d'un couvert forestier dense avec une région à forte activité agricole.

Les perspectives économiques de la région sont encourageantes, compte tenu de la diversité de sa richesse naturelle.

Le secteur du tourisme est aujourd'hui considéré comme l'un des principaux secteurs et le principal pilier de l'économie dans de nombreux pays en raison de son rôle économique qui profite aux pays et contribue au développement économique.

La municipalité d'Ain Larbi a un bon potentiel touristique grâce à ses atouts touristiques, en particulier les sources thermales, ainsi que sa zone naturelle de qualité, de sorte que l'aspect touristique devrait être développé conformément aux orientations du plan directeur de développement du tourisme, qui décrit comment développer les activités touristiques et ses équipements de base.

Dans ce contexte, la direction du tourisme a proposé une zone d'expansion touristique (ZET) dans la zone de Hammam Guerfa et Hammam Belhachani, distante d'environ 1 km, délimitée par la route nationale 123 au Nord et à l'Est l'oued Chaniour, d'une superficie estimée à 35 ou 40 hectares.

La géographie de la région se caractérise par un relief très diversifié offrant des sites et des paysages naturels d'une beauté exceptionnelle et d'une richesse naturelle inestimable par la multitude des espèces végétales et animales qui peuvent être exploités (conformément à la loi n° 03 – 03 du 17 février 2003 relative aux zones d'expansion et sites touristiques). Il s'agit de promouvoir une impulsion dans le cadre d'un tourisme de montagne qu'il faut accompagner par la création d'infrastructures touristiques telles que les hôtels, les espaces de loisirs, les aires de jeux, les terrains de camping ...etc.

Les résultats précédents mettent en évidence un système agricole principalement axé sur les cultures de céréales, fourrages, légumineuses, oliviers et arbres fruitiers. Toutefois, cette orientation n'exclut pas l'essor d'autres types de cultures, notamment les légumes et certaines légumineuses, favorisé par la qualité et la fertilité des sols. Étant donné la place centrale qu'occupe l'agriculture dans la commune, il est essentiel de valoriser ce secteur en mobilisant l'ensemble des ressources disponibles — matérielles, humaines et scientifiques. À cet effet, les autorités doivent élaborer une politique agricole adaptée pour soutenir et renforcer son développement.

En raison de la nature essentiellement montagneuse de la municipalité, les forêts occupent une part importante de la superficie, où les forêts couvrent une superficie estimée à 4650 hectares, soit 27,76% de la superficie totale, qui est estimée à 16750 hectares, où les forêts constituent un secteur important qui peut être exploité dans plusieurs domaines, notamment le tourisme, l'agriculture, l'agro-industrie.

## **Partie II**

### **I.1 Généralités sur l'eau et la pollution :**

L'eau est un élément essentiel à la vie, il représente un pourcentage très important dans la constitution de tous les êtres vivants (Gerard, 1999).

En raison de son utilisation intensive, de sa fragilité et de sa sensibilité à divers polluants industriels et naturels, l'eau est considérée comme l'une des ressources les plus précieuses au monde. La pollution des eaux souterraines est due à la contamination des nappes, ce qui nécessite de définir les causes.

Sachant que l'eau acquiert ses différentes propriétés chimiques du milieu qu'elle contient. Les eaux souterraines sont considérées comme de qualité supérieure aux eaux de surface, car elles sont mieux protégées de la pollution anthropique.

### **I.2 La qualité de l'eau :**

C'est un terme utilisé pour exprimer l'aptitude de l'eau pour soutenir divers usages ou processus (Bartram et Ballance 1996). La qualité de l'eau peut évaluer à l'aide de diverses techniques. La sélection de la méthode ou les techniques d'évaluation dépendent de l'objectif pour lequel la qualité de l'eau est analysée (Miloš 2013).

Des normes chimiques, physiques et biologiques adaptées à chaque objectif spécifique ont été créées. Par exemple, la réglementation de l'eau potable diffère de celle qui s'applique à l'industrie et à l'agriculture (Claude 2015).

A cause de la complexité des facteurs naturels et humains qui affectent la qualité de l'eau et du choix des paramètres décrivant l'état qualitatif de l'eau, il est relativement difficile de fournir une définition simple de la qualité de l'eau (Miloš 2013).

Selon ces facteurs, la qualité de l'eau est définie comme :

- Ensemble de concentrations, spéciations et partitions physiques de substances inorganiques ou organiques ;
- Composition et état de l'organisme aquatique dans l'eau ;
- Description des variations temporelles et spatiales dues à des facteurs externes. (Chapman 2003).

Ces dernières années, la qualité des eaux est devenue une opération majeure et obligatoire, afin de protéger l'environnement et la santé des êtres vivant où l'exploiter pour la consommation humaine ou l'utilisation industrielle.

### **I.3 Les ressource d'eau :**

Les réserves disponibles en eau naturelle sont constituées des eaux souterraines (nappe souterraines), des eaux terrestres (barrages, lacs, rivières), des eaux de surface et des eaux de mer.

### **I.4 Les type d'eau :**

#### **I.4.1 Les eaux souterraines :**

Les eaux qui ne sont ni ré-évaporées, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrant dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes (Merouani et Bouguedah, 2013).

#### **I.4.2 Les eaux superficielles :**

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents, elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux puis de rivière. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (mers, océans, étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages), caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile (Sari, 2014).

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de **97.4%** du volume d'eau existant actuellement sur notre planète (Salghi, 2009).

### **I.5 Classification des eaux :**

Les eaux sont classées en plusieurs volets :

#### **I.5.1. Les eaux de consommation :**

➤ Eaux des réseaux d'adduction publique (Robinets) : Elles doivent être potables, elles proviennent de captages des eaux superficielles (cours d'eau, barrage) ou de celui des nappes ou des sources souterraines (Eaux en général mieux protégées). Avant leur distribution, ces eaux subissent plusieurs traitements épurateurs (filtration, floculation, décantation et désinfection).

➤ Les eaux de captage individuel (Puits) : Ces captages des sources ou gisements souterrains sont destinées à l'alimentation d'une maison, un hameau ou une industrie, principalement en zone rurale non desservie, par l'eau de distribution. Cette eau ne subit aucun traitement avant utilisation.

➤ Les eaux embouteillées : (Eaux de source prenables, eaux minérales naturelles), ces

eaux doivent provenir des nappes souterraines naturellement protégées et mises à l'abri de toute souillure. Ces eaux ne subissent pas de traitements désinfectants, elles sont mises en bouteilles dans des conditions d'hygiène bien précises.

### **I.5.2 Les eaux non destinées à la consommation :**

- Les eaux industrielles : Qu'elles soient utilisées pour la préparation ou l'entretien (lavage), les utilisateurs doivent s'assurer qu'elles répondent à des critères bactériologiques précis car elles peuvent véhiculer des germes dangereux pour la santé.
- Les eaux usées industrielles ou domestiques : Doivent être correctement traitées pour éviter les contaminations de l'environnement (usines de traitement).
- Les eaux destinées à des activités d'aquaculture : Soit en eaux de mer, soit en eaux douces doivent présenter une qualité bactériologique satisfaisante.
- Il existe aussi des eaux médicales, des eaux dites stériles et des eaux pour hémodialyse (Mouffok, 2016) Mouffok F., (2016). Contrôle bactériologique des eaux, Présentation des activités de l'Institut Pasteur.03-04-05 p.

### **I.6 Pollution des eaux :**

C'est tout changement qui se produit dans l'eau avec la présence des éléments étrangers qui rend ce milieu impropre à l'usage auquel il est destiné. Nous pouvons résumer ces changements en variations, biologique, chimique et même physique (Lenntech 2022) :

- Dangers sur la santé humaine,
- Détérioration de la qualité de l'eau liée à son utilisation dans des activités agricoles, industrielles et souvent économiques (Chapman 2003).

La pollution de l'eau est toute modification physique, chimique, ou biologique du corps de l'eau qui a un effet néfaste sur les organismes qui la consomment. La pollution de l'eau peut également rendre l'eau impropre à l'usage auquel elle est destinée (Lenntech 2022).

La pollution de l'eau peut provoquer :

- Risques pour la santé humaine.
- entraver les activités marines, y compris la pêche,
- La détérioration de la qualité de l'eau associée à son utilisation dans des activités agricoles, industrielles et souvent économiques (Chapman 2003).

La pollution est généralement diffuse sous forme permanente ou ponctuelle ; nous pouvons avoir de la pollution permanente diffuse de plusieurs sources (Chapman 2003).

L'effet de la pollution est lié à la quantité et la durée de présence du polluant dans le milieu (Mike 1914) ; la pollution chronique est plus insidieuse et nuisible. Moins excitante, elle peut passer inaperçue (contamination par les nitrates d'origine agricole et contamination aux hydrocarbures par des sols pollués) (Lenntech 2022).

La pollution de l'eau décrit généralement l'introduction ou la présence des substances nocives ou inacceptables dans l'ampleur suffisante pour modifier les indices de qualité de l'eau naturelle (Nsikak, 2008).

Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles. La pollution de l'eau est peut-être observée à différents niveaux dont on cite :

- Les nappes ou les sources d'eaux par suite d'infiltration d'eaux usées (Fosses septiques, latrines) ;
- Les eaux de surface : les fleuves, les rivières et les oueds ;
- Les canalisations et les réseaux d'alimentations en eau (Bouziani, 2000).

### **I.7 Les sources de la pollution :**

La pollution des eaux provient essentiellement des activités urbaine (activités domestiques, eaux d'égout, eaux de cuisine...), industrielle (chimie-pharmacie, pétrochimie, raffinage...) et agricoles (engrais, pesticides) (Henaut, 2011).

#### **I.7.1 La Pollution d'origine domestique et urbaine :**

Elle provient des habitations et elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par la présence des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux, et détergents. Elle peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau ainsi que du développement de l'eutrophisation dans les rivières.

#### **I.7.2 La pollution d'origine agricole :**

Les engrais sont principalement utilisés pour nourrir les plantes avec des éléments bénéfiques, notamment l'azote, le phosphore et le potassium, afin de stimuler la production (Davidson et al. 1987). L'utilisation excessive et incontrôlée de pesticides et d'engrais a une grave influence sur les ressources d'eaux souterraines et de surface (Chapman 2003). Lorsque l'eau interagit avec un sol de surface riche en éléments nutritifs et en pesticides, elle peut s'infiltrer dans le haut du profil du sol et se retrouver dans le sous-sol, qui contient des concentrations plus élevées de nitrates, de pesticides et d'autres contaminants (Davidson et al. 1987).

Le régime et la qualité des eaux sont fortement influencés par les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage (Faurie *et al.*, 2003).

### **I.7.3 La pollution d'origine industrielle :**

Elle peut avoir diverses origines. Les réservoirs de stockage de déchets, de lavage ou d'eau traitée pour les industries minières, métallurgiques ou chimiques sont des exemples de ceux qui sont érigés immédiatement sur le sol sans aucune précaution de sécurité. Le stockage ou le transit de matières premières et de déchets provenant de complexes chimiques, de raffineries, de papeteries et de l'industrie alimentaire peut également entraîner une pollution chronique ou accidentelle. Ce polluant a les caractéristiques suivantes :

- Graisses et matières organiques (industries agro-alimentaires),
- Des hydrocarbures (raffineries),
- Des métaux (traitement de surface métallurgique),
- Divers produits chimiques (industries chimiques),
- Des eaux chaudes (circuits de refroidissement),
- Matières radioactives (centrales nucléaires) (Touhari 2015).

### **I.7.4 La pollution naturelle ou accidentelle :**

Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de la pollution (éruption volcanique, inondation...etc).

## **I.8 Les principaux polluants :**

Les principaux polluants des eaux se divisent en quatre groupes : les polluants biologiques, les polluants chimiques, les polluants organiques toxiques et les polluants radioactifs .

### **I.8.1 La pollution biologique :**

Un grand nombre des micro-organismes peuvent proliférer dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces micro-organismes (Bennana, 2013). Ils sont peu nombreux dans les eaux de nappe du fait des conditions habituellement anaérobies et des faibles quantités de nutriments disponibles. Le transfert de matière organique dans la nappe favorise leur prolifération (Kankou, 2004).

On distingue deux catégories de pollution de nature biologique : les micro-organismes

et la matière organique.

➤ Les micro-organismes :

Les micro-organismes comprennent par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales ; on distingue alors la flore entérique normale et les micro-organismes pathogènes (Boutin *et al.*, 2009).

Cette pollution soulève dans la plupart des cas d'hygiène publique et d'épidémiologie car ces rejets non traités contiennent des micro-organismes pathogènes viables qui sont alors transportés par les eaux et disséminés sur leurs parcours (Madoui et Sahraoui, 2011).

Il existe trois grandes classes d'organismes pathogènes, (Brouillett *et al.*, 2003) soit :

- Les bactéries : Les eaux polluées peuvent contenir des très nombreuses bactéries pathogènes. La plupart de ces pathogènes sont d'origine fécale car ils sont plus connus et facile à rechercher et à dénombrer, et leur transmission dite oro-fécale (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, ...etc) (Bennana., 2013).

- Les virus : Les virus constituent l'entité biologique la plus abondante dans les écosystèmes aquatiques (Schwartzbrod, 2003).

Leur présence dans l'eau est liée à une élimination humaine par les selles, plus rarement par les urines. On connaît plus de 100 types des virus pathogènes regroupés sous le nom des virus entériques, ils appartiennent à plusieurs familles et genres (*Hépatite A*, *Norovirus*, *Rotavirus* ...etc) (Bouziani, 2000). Ces virus entériques sont retrouvés dans les eaux usées avant de contaminer le milieu naturel (Gantzer *et al.*, 1998).

- Les parasites : Les parasites sont généralement véhiculés dans l'eau sous forme : des oeufs, des kystes ou des vers. Ils ne sont pas détruits par la chloration et par les autres méthodes de désinfection chimique mais peuvent être éliminés mécaniquement à l'aide d'une bonne filtration de l'eau de boisson (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*...etc) (Bouziani, 2000).

➤ **La matière organique :**

La présence de matière organique naturelle est une caractéristique fondamentale. Les principaux composés organiques polluants sont : des lipides, des glucides, des savons, des détergents, des huiles minérales et des débris cellulosiques, auxquels s'ajoute leur produit de décomposition (Rabia et Djamaa, 2014).

### **I.8.2 La pollution physique :**

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels

que la température, la présence des particules en suspension et le changement qui affecte l'effet réfractaire de l'eau. Même les rejets d'eau chaude des centrales nucléaires ou thermiques dans le milieu marin constituent aujourd'hui la préoccupation majeure des nombreux pays (Djilani, 2006).

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive (Mizi, 2006).

### **I.8.3 La pollution chimique :**

L'arsenic, les nitrates, les substances radioactives, les métabolites, les solvants et les produits chimiques qui se développent à la suite de la décomposition des déchets naturels ne sont que quelques-uns des nombreux produits chimiques de la nature et de l'industrie qui peuvent polluer l'eau. On pense que de nombreuses autres causes, y compris la pollution par les hydrocarbures provenant des déversements de pétrole brut et les déchets chimiques des usines chimiques, contribuent à la contamination chimique de l'eau. Ces substances chimiques sont nocives pour les poissons et autres organismes aquatiques lorsqu'elles sont utilisées dans les milieux aquatiques. Les polluants chimiques peuvent être largement classés en produits chimiques persistants (à décomposition lente) et non persistants (dégradables).

Les polluants non persistants comprennent les déchets domestiques, les engrais et certaines catégories de déchets industriels. Ces substances polluantes peuvent être décomposées en molécules simples non polluantes ou en composés tels que le CO<sub>2</sub> et l'azote par des processus chimiques ou biologiques. Les polluants chimiques persistants courants comprennent certains pesticides (comme la dieldrine, l'heptachlore et le DDT), les produits pétroliers, les biphényles polychlorés (PCB), les chlorophénols, les dioxines, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les radionucléides et les métaux lourds.

Les pesticides utilisés pour débarrasser les insectes (insecticides) et les nuisibles herbes (herbicides) sont un autre type de produit chimique toxique. Certains de ces produits chimiques sont biodégradables et peuvent rapidement se décomposer en des formes inoffensives ou moins nocives, tandis que d'autres ne sont pas biodégradables et peuvent persister dans l'environnement pendant une longue période. Des matériaux comme les détergents et les huiles flottent et gâchent l'apparence d'un plan d'eau, en plus d'être toxiques, de nombreux polluants chimiques ont des odeurs désagréables (Philander 2008).

La pollution chimique est due à l'introduction d'un (ou plusieurs) élément indésirable dans la composition chimique de l'eau initialement destinée à un usage bien précis (Djilani,2006).

Cette pollution chimique affecte tout le cycle de l'eau, depuis la pluie jusqu'aux eaux souterraines par exemple : 7,8 % des eaux souterraines dépassent 40 mg de nitrates contre 1,6% pour les eaux de surface (Henaut, 2011).

On distingue selon la nature de la pollution chimique :

- Les éléments chimiques minéraux ;
- Les métaux lourds (Henaut, 2011).

### **I.9 L'impact de la pollution :**

#### **I.9.1 Sur le milieu naturel :**

Les modifications de la température et de pH, perturbent le développement normal de la faune et de la flore. Le rejet de matière organique entraîne une surconsommation d'oxygène par les microorganismes et en prive d'autant les poissons. Les matières en suspension conduisent aussi au colmatage des branchies des poissons, les rejets d'azote et de phosphore favorisent l'eutrophisation des lacs. Ceci conduit à la modification de l'équilibre des écosystèmes Moletta, 2002).

#### **I.9.2 Sur l'économie :**

Il faut se rendre compte que dépolluer reste encore actuellement une activité de riches.

Personne ne peut nier la nécessité de prendre en compte notre environnement.

La prolifération d'algues qui viennent dans certaines périodes de l'année s'échouer et pourrir sur les côtes conduit à des nuisances qui perturbent fortement l'activité touristique de ces régions. Cette prolifération est attribuée aux rejets des polluants azotés et phosphorés. Le maintien de l'activité touristique implique l'élimination de ces nuisances. Ceci représente un coût et un manque à gagner important (Moletta, 2002). Moletta R., (2002).

#### **I.9.3 Sur la santé :**

Les maladies liées à la présence des éléments pathogènes ou des molécules toxiques sont très répandues :

- Paludisme (un million de décès par an, 100 à 150 millions des cas annuels dont 90 % en Afrique, et 300 millions des porteurs des parasites) ;
- Filaires (maladie due à un ver injecté par des moustiques sous les climats chauds et humides) ;
- Le choléra, dû aux vibrions cholériques présent dans les eaux souillées ;
- L'hépatite A (due à un virus présent aussi dans les eaux polluées) ;

- Et les autres comme les dysenteries d'origines parasitaires, bactériennes et virales aux conséquences qui peuvent être très grave chez le jeune enfant.

Les métaux lourds comme le Mercure, le Plomb, le Cadmium, le Cuivre... présentent la particularité de se concentrer dans la chaîne biologique. Ils ne sont pas dégradables, leur présence est donc rémanente. Ils conduisent à des pathologies diverses en fonction de leurs natures, pathologies qui peuvent être très graves, voir mortelles (Moletta, 2002).

### I.10 Norme de qualité d'eau :

La Norme de qualité d'eau est un référentiel qui a été établi conformément à une réglementation ou un référentiel supérieur. Comparez les situations des eaux aux seuils pour séparer les paramètres inacceptables des paramètres acceptables. La plupart des pays ont établi leurs propres normes pour l'eau potable, l'irrigation et les autres utilisations de l'eau. Les normes de l'OMS font partie des recommandations mondiales reconnues pour le calibre de l'eau potable (WHO 2011) (Tableau I.1). L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture a également élaboré des lignes directrices recommandées pour l'irrigation.

Tableau I.9 : Normes d'eau acceptable pour la consommation humaine.(WBO2011).

Paramètre	Unités	Norme algérienne (2011)	Norme d'OMS (2011)
T	(°C)	25	-
Ph	-	6.5-9	8.5
CE	µs/cm	2800	1500
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	200	75
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	150	100
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	-	300
Cl <sup>-</sup>	mg/l	500	250
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	400	250
TH	mg/l	200	500
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50	50
Na <sup>+</sup>	mg/l	200	200
K <sup>+</sup>	mg/l	12	12
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0.2	3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0.5	1.5

### **Conclusion :**

L'eau souterraine absorbe divers composés chimiques qui modifient ses caractéristiques au fur et à mesure de son déplacement.

Il est impératif d'agir pour éviter la pollution, étant donné qu'il est extrêmement complexe d'éliminer totalement la contamination à laquelle sont soumises les eaux souterraines.

Le premier aspect est la surveillance régulière de la qualité des eaux souterraines.

Dans ce chapitre, notre attention est portée sur les divers types de pollution aquatique, leurs sources et l'état général de la qualité de l'eau.

Cette étude a révélé une contamination bactériologique des eaux souterraines plus une contamination par l'ammonium figurant dans la source S1 seulement.

## **Chapitre II : Cadre Géologique**

### **Introduction :**

Plusieurs auteurs ont contribué de manière significative par leurs recherches sur les études géologiques de la région de Guelma. *Darest de la Chavane. J.C (1909, 1910)*, a mené une étude sur les terrains tertiaires de la région et a réalisé deux relevés géologiques : la feuille de Guelma et la feuille de Gounod (Ain Larbi), Mahouna actuellement Abdi.

Suite à cette période, de nombreux géologues tel que *Durand Delga (1955)* qui s'est focalisé sur la chaîne alpine en Algérie orientale et a établi les écailles de Gounod (Ain Larbi) d'affinités sud-autochtones, ces formations sont signalées par *Kiken. M (1961)* sous l'appellation de nappe épi-tellienne dans « les traits essentiels de la géologie de l'Algérie » touchant la partie occidentale de Guelma.

Ensuite *Raoult. J. F. (1974)* a fait à partir du centre de la chaîne numidienne des levés géologiques touchant la partie occidentale de Guelma. *Vila J.M (1966, 1980)* a effectué des travaux sur toutes les zones telliennes, depuis le méridien de Bejaïa jusqu'aux confins Algéro-tunisiens. Dans sa thèse, il offre une vue d'ensemble du massif de la Mahouna.

*Lahondère. J. C. (1987)* englobe entièrement les feuilles d'Ain Regada, Bouhachana, Mahouna, et de Bouchegouf. Finalement,

*Chouabbi. A.M (1987)* a mené des recherches sur la partie Sud de la région de Guelma (Hammam N'Bails).

### **II.1 Géologie de l'Algérie du Nord :**

La région de Guelma fait partie de la chaîne des Maghrébides d'Algérie orientale (la chaîne alpine d'Afrique du Nord) (cf., fig. 1). Cette chaîne fait partie de l'orogène alpin périméditerranéen (Durand Delga, 1969), d'âge Tertiaire. Elle s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km, depuis le sud de l'Espagne (Andalousie) jusqu'à la Calabre (Italie) et englobe notamment ; le Rif marocain, l'Atlas littoral d'Algérie (Kabylie et Tell), de Tunisie (Kroumirie-Nefza) et enfin la Sicile Calabre (Italie). (Lahondère, 1987, Chouabbi, 1987).

Située entre la plaque africaine au sud et la plaque d'Eurasie au nord, cette chaîne est marquée par un empilement tectonique de nappes. Son avant pays est complexe, il comporte : des bassins d'avant chaîne, des zones peu déformées (hauts plateaux), un autre édifice orogénique : Le système atlasique (Atlas saharien, Aurès), et plus au Sud, la plate-forme saharienne stable. Du Nord au Sud, la chaîne des Maghrébides est constituée de trois ensembles principaux :

- Le domaine interne.
- Le domaine des flyschs.
- Le domaine externe.

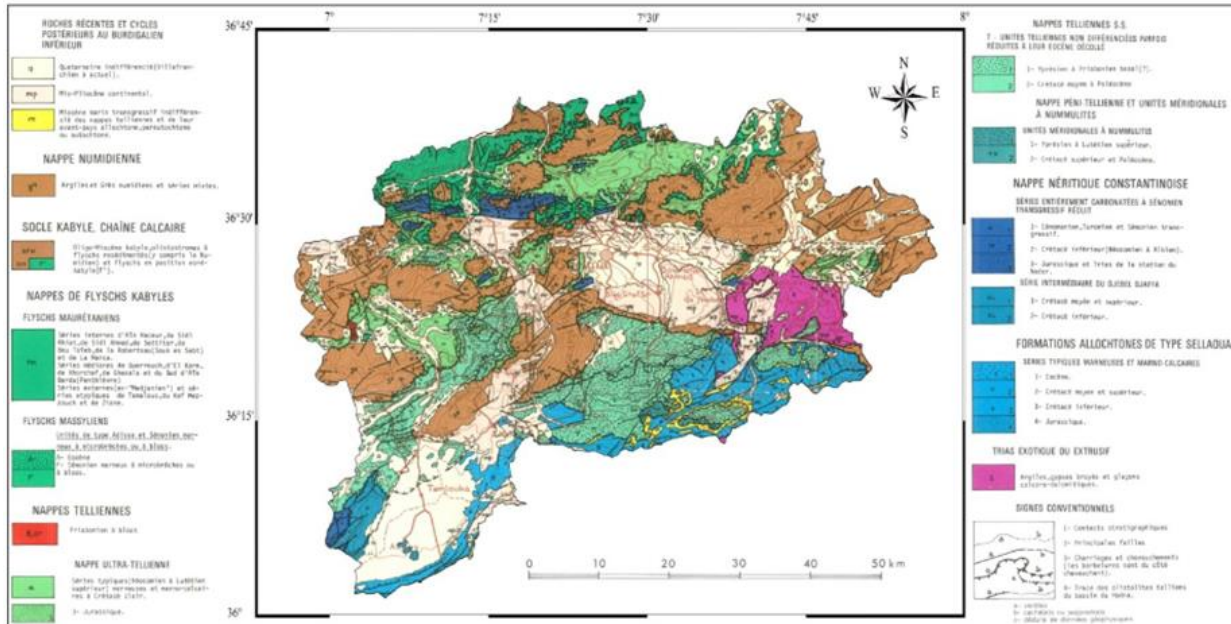


Figure II. 1: Carte géologique de la région de Guelma (Vila, 1980).

### II.1.1 Le domaine interne :

Celui-ci est composé de terrains cristallophylliens anciens de diverses origines (socle kabyle) surmontés d'un paléozoïque peu réactif.

Plusieurs penseurs reconnaissent qu'au départ, les divers massifs internes de la chaîne des Maghrébides (zones internes bético-rifaines, Kabylie, massif péloritain de Sicile, socle calabrais) initialement étaient regroupés en un seul bloc, appelé l'AlKaPeCa (Bouillin. J. P. 1986). Cet ensemble, probablement émergé pendant une partie du Mésozoïque et jusqu'à l'Oligocène, était bordé au sud par une marge continentale Jurassique et crétacée dont les tronçons Rifains, kabyles et péloritains de la chaîne calcaire Maghrébides sont les témoins.

Les zones internes n'apparaissent que dans la Kabylie, elles sont formées par un matériel continental d'origine interne, elles sont représentées par deux formations :

Le socle Kabyle C'est un ensemble de terrains plissés métamorphosés et souvent granitisés. La dorsale Kabyle ou chaîne calcaire C'est une zone étroite et discontinue. Elle est caractérisée par des faciès carbonatés et par un style tectonique en écaillés qui sont chevauchées par le socle Kabyle (Durand Delga M ; 1969, Raoult J F ; 1974 et Vila J M ; 1980).

### II.1.2 Le domaine des flyschs :

C'est un domaine constitué de formations sédimentaires détritiques terrigènes, composées d'un empilement de turbidités (J.P Bouillin, 1986). Ces formations flyschoides sont donc déposés dans un bassin de nature au moins partiellement océanique.

Il est composé d'une série de nappes à matériau détritique, qui sont externes à la dorsale (Raoult. J. F. 1974). Ces dépôts sont de type flysch, du Crétacé inférieur à l'Oligo-Miocène. Le bassin des flysch se distingue du Nord au Sud par :

Les flysch maurétaniens et les flysch massyliens, différents les uns des autres par leur position primitive et par leur alimentation. L'ensemble est surmonté par le Numidien d'âge Oligocène à Burdigalien inférieur. Il inclut la trilogie suivante :

- Des argiles varicolores à tubotomaculum dites « sous-numidiennes ».
- Des bancs gréseux épais à grains hétérogènes dont certains de taille centimétrique.
- Des argiles, marnes et silexite « supra-numidiennes » ; localement à Hammam Meskoutine il y a des grés grossiers à dragées de quartz qui terminent la série.

Généralement le numidien en Algérie est charrié sur les nappes telliennes et sur les flyschs, parfois en raboutage basal ; il est localement renversé et surmonté par des formations carbonatées récentes comme au Djebel Mahouna (Vila J.M 1980). Il s'agit d'un groupe de flyschs plus récent, constitués de niveaux gréseux d'âge Oligocène supérieur-Burdigalien inférieur.

#### II.1.2.1 Les flysch Mauritaniens :

Au sein du domaine des flysch, ils occupent une position relativement interne. La composition de ces flysch avec les séries de la dorsale des Maghrébides a permis de placer les dépôts des flysch mauritaniens au pied de cette dernière. Ils sont composés d'alternances de bancs argileux, calcaires et gréseux.

#### II.1.2.2 Les flysch Massyliens :

Occupent une position externe dans le domaine des flyschs et comportent une série péliquoartzitique d'âge Crétacé inférieur surmontée par une série péliquo-micro-bréchiqque d'âge Crétacé supérieur (J F Raoult ; 1969).

Ces flyschs reposent anormalement à la fois sur les zones internes et sur les zones externes (J F Raoult ; 1969).

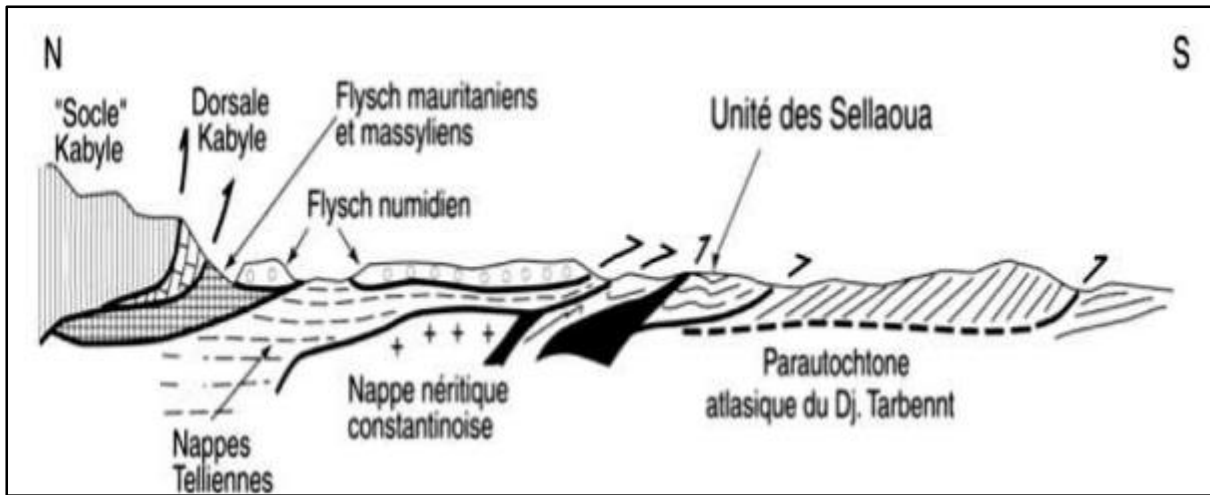


Figure II. 2: Coupe générale synthétique des Maghrébides de l'Est algérien (Région du Constantinois) (Peybernès et al., 2002) En Noir : le Trias.

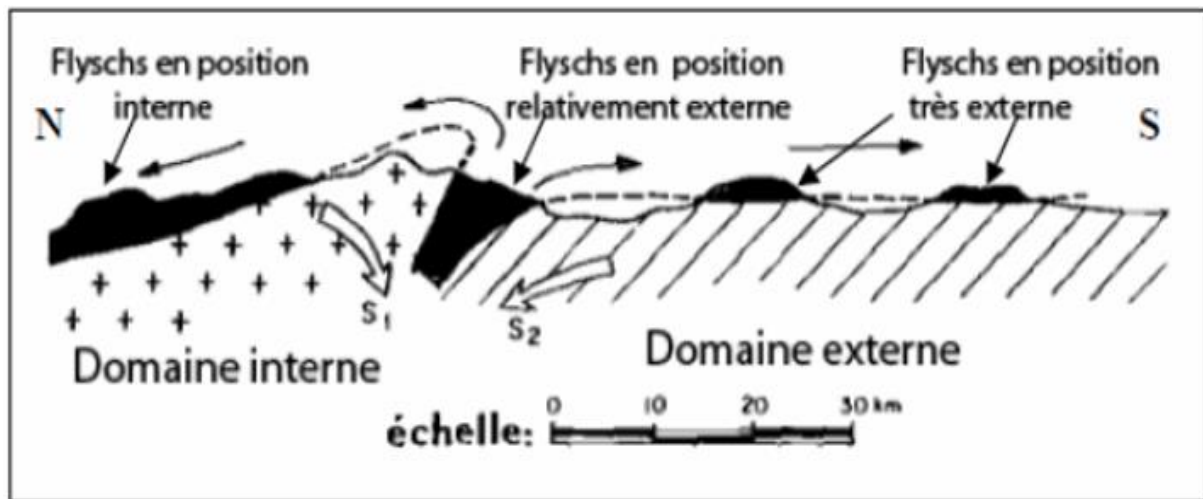


Figure II. 3: Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne Magribides.

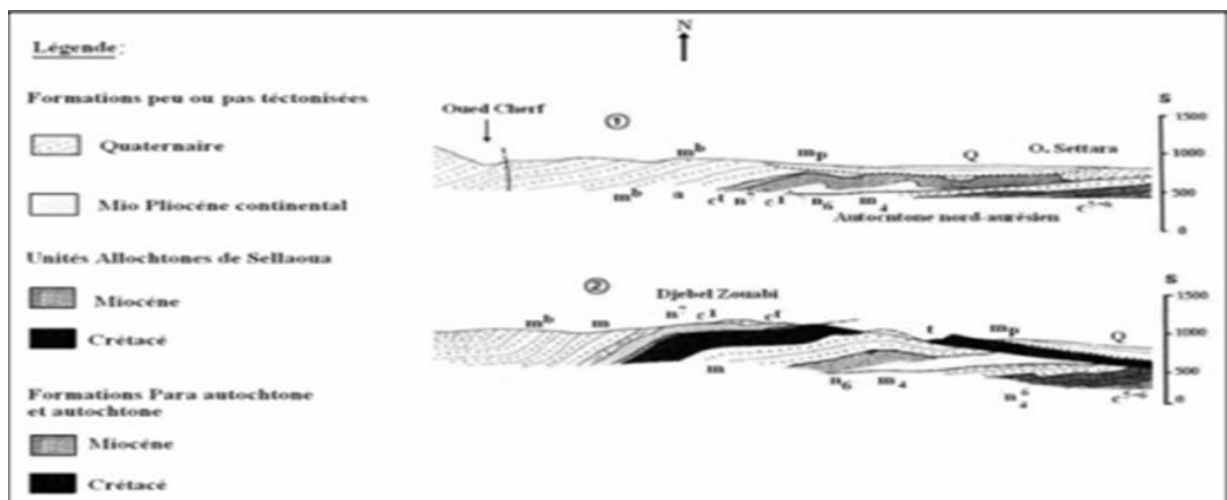


Figure II. 4: Coupe géologique du sous bassin versant Oued Charef (J.M. Villa, 1980).

### **II.1.3 Le domaine externe (domaine des nappes) :**

Les unités telliennes forment un empilement complexe de nappes à vergence sud surmontant au sud l'autochtone présaharien des hautes plaines (zones hautes et rigides qui séparent les chaînes littorales de l'Atlas saharien). L'allochtone tellien résulte du décollement et du clivage de la couverture sédimentaire mésozoïque-cénozoïque déposée sur la marge nord de la plaque Afrique. En Algérie orientale et aux confins Algéro-tunisiens, on distingue du Nord vers le Sud les unités suivantes :

#### **II.1.3.1 Les unités ultra telliennes :**

Le terme "Ultra-Tellien" a été suggéré par M. Durand Delga afin de définir les séries superposées de manière anormale au Crétacé néritique constantinois du Djebel Débar et du Douar Bouzitoune (J.M. VILA, 1980) dans la région du Nord-Est Algérien (Guelma). Avec une variété de barres de micrites à microfaunes, le facies dominant est celui des marnes et marno-calcaires. (Durand Delga et Al, 1968).

La stratigraphie de l'Unité Ultra-Tellienne du bas en haut est la suivante :

- Barrémien : cet étage est caractérisé par la présence d'Ammonites au-dessus des marnes gris clair.
- Campanien : est constitué par des marnes bleutés parfois argileuses avec quelques niveaux biomécritiques.
- Maestrichtien : avec une lithologie marneuse de couleur grise à bleutée du calcaires biomécritiques.

#### **II.1.3.2 La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara :**

C'est un vaste relief qui se trouve entre la forêt des Beni Ahmed et celle des Beni Mezline, au Nord du Kef Ras Bardou et du Djebel Haouara. Les formations sont constituées par l'alternance de marnes claires beiges ou jaunes et de marno-calcaires en petits bancs de même teinte, riches en (Rosalines). L'âge de la série est compris entre le Barrémien supérieur qui contient des *Phyllopachyceras Barodense* Cop, et le Sénonien inférieur.

#### **II.1.3.3 La nappe ultra- tellienne de Djebel Bou Sbaa :**

Cette série est datée de l'Aptien au Lutétien (Lahondère. J. C. 1987). Elle est développée essentiellement dans la région de Guelaat Bou Sbaa. On trouve aussi des témoins de cette série près de Medjez Amar au Tebiebe Amar, au Sud-Ouest de Guelma et près de la station de Nador à l'Est. On peut citer entre autres, un affleurement avec une microfaune à *Truncorotalia*, visible

sur la berge Est de l'Oued Seybouse près de Medjez Amar avec *Globorotalia rex* Martin, et au Nord de Djebel Débar dans les marno-calcaires à cassure noire fétide et bitumineuse (Vila, J. M. et al, 1968).

#### **II.1.3.4 L'ensemble tellien :**

C'est un empilement complexe de nappes carbonatées. Ces unités sont probablement déposées dans les parties profondes du sillon tellien. Dans le secteur d'étude on distingue les unités suivantes :

##### **✓ La nappe tellienne de Hammam Ouled Ali :**

Son emplacement se situe au pied du Djebel Bou Sbaa et autour du pointement néritique du Djebel Débar. Cette unité regroupe tous les terrains situés sur la série néritique constantinoise et sous la nappe ultra-tellienne du djebel Bou Sbaa (Vila J.M 1971). Ce regroupement est justifié par une remarquable dominante des teintes noires dans les faciès. La microfaune est représentée par des *Globotruncana stuartiformis*, *Rotalipora* sp et *Hedbergella Washitensis*.

##### **✓ La nappe tellienne de la région de Ras El Agba-Sellaoua Announa :**

Elle représente le domaine externe du Tellien, qui est formé de formations paléogènes. Il est possible de distinguer :

- **L'unité tellienne à Globigérines** qui fait partie d'un Paléocène marneux. un Yprésien à calcaires en bancs à lumachelles et à Globigérines et un Lutétien inférieur à moyen avec des marnes noires à débris d'huîtres et à boules jaunes carbonatées à Kef Er Rih et Bouhachana.
- **Les unités méridionales (à calcaires à nummulites)** ces unités sont constituées par les nappes Sud Sétifiennes et à l'Est, par les lambeaux de Djebel Bardou, et du versant sud de Zouara, ainsi que des klippes de Dekma et Djebel Bou Kebch. Le Crétacé est absent dans ces unités au Sud de Guelma.

#### **II.1.3.5 L'avant pays allochtone ou para autochtone :**

Il s'agit de séries localement écaillées qui supportent les nappes du Tellien externe, au Nord et qui surmontent l'autochtone Nord Aurésien. De l'Ouest vers l'Est on distingue :

##### **II.1.3.5.1 Les séries néritiques Constantinoises :**

Ces affleurements dans la région de Guelma, représentent la terminaison orientale du domaine néritique. Ces affleurements sont isolés et de tailles variables. Cependant pour (J.M. Vila, 1980), Figure II. 2 ce domaine aurait émergé à la fin du Crétacé et aurait ultérieurement subi un léger déplacement vers le sud (nappes néritiques constantinoises). Elles apparaissent au sommet

oriental du Djebel Débagh, celui, à Hammam Oulad Ali, au Douar Bouzitoune, à la piscine romaine d'Héliopolis (Hammam Bradaa) et enfin à l'Ouest de la station ferroviaire du Nador. Il correspond à la chaîne carbonatée de la région de Constantine avec le caractère d'une plateforme cachée, qui sont reportées à l'Ouest jusqu'aux chaînes Sud Sétifiennes. Il existe 03 catégories :

- **Catégorie du Nord Oriental :** A l'Est de Hammam Débagh (Hammam Maskhoutine) et Guelma ; Le Djebel Débagh fait partie de la mole néritique constantinoise qui présente des terrains autochtones datant du Jurassique et Crétacé qui soutiennent les formations allochtones des unités telliennes. Les formations autochtones essentiellement carbonatées correspondent avec les dépôts de plateforme interne qui sont parfois confinés à une nette tendance à l'ouverture au Crétacé supérieur. A Hammam Oulad Ali, à l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série d'âge Sénonien sous les marno-calcaires de l'Unité Ultra-Tellienne à faciès carbonatés biodétriques (constituant des roches sédimentaires). A l'Ouest de la station ferroviaire de Nador et à Douar Bouzitoune à la piscine romaine d'Héliopolis.
- **Catégorie central :** Autour de Djebel Oum Settas, Djebel.Mezla, Djebel. Ain El Hajar et de Constantine.
- **Catégorie méridional :** A l'Est, autour d'Ain Mlila, en Ouest les monts de Djebel Djaffa, Djebel Fortass et Djebel Guerioune. Ces formations constituent un siège de nombreuses formes de Karst, près de Hammam Débagh et aussi au Bir Ben Ousmane. Plan de position et coupures stratigraphiques des séries néritiques constantinoises (J.M. Vila, 1980).

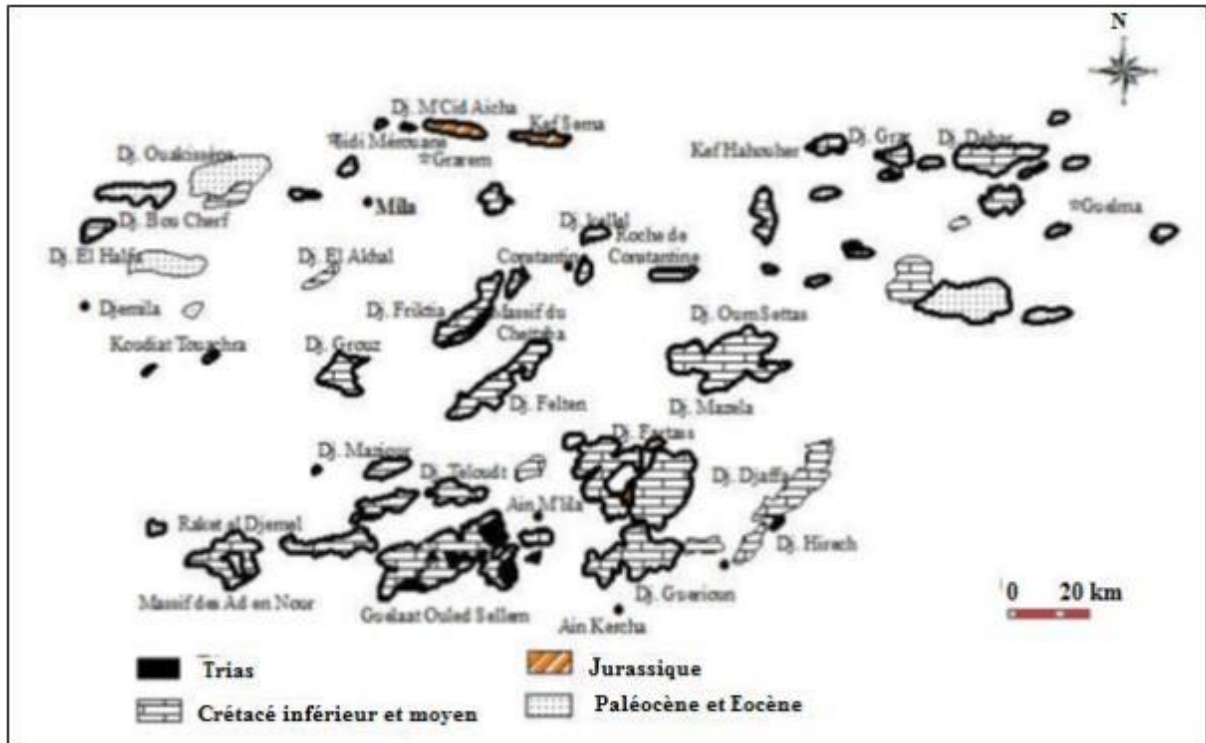


Figure II. 5 : Principaux affleurements des séries néritiques Constantinois (D'après Vila 1980).

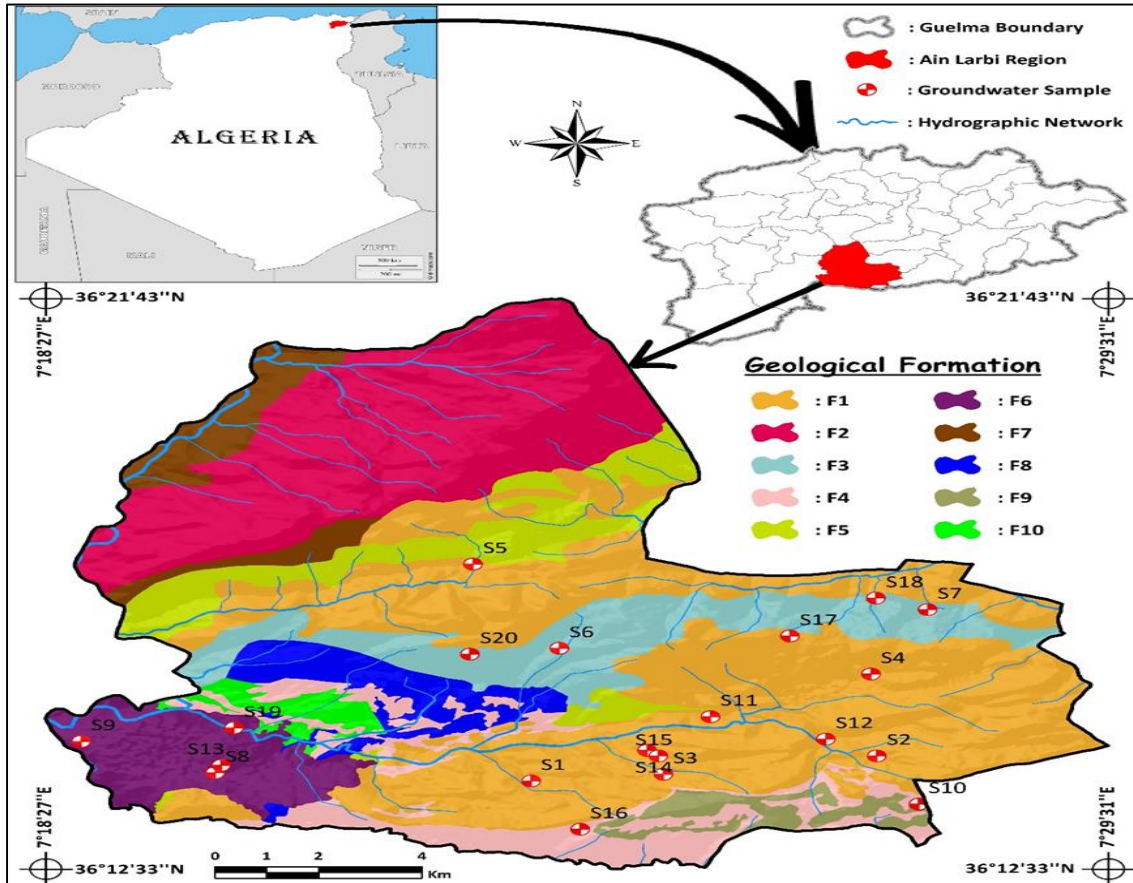
### II.1.3.5.2 Le sillon écaillé des Sellaoua :

Il s'est déposé dans un large sillon de direction NE-SW, situé entre la plateforme atlasique au Sud et le domaine alpin au Nord. Elles affleurent mal au pied des séries néritiques, on les rencontre dans les régions d'Ain M'Lila, Ain Babouche, Ain Fakroun. Il s'agit d'un ensemble marneux et marno calcaire puissant et monotone où domine le Crétacé. Chouabi (1993) Chadi (1993) pense que le néritique constantinois et la série des Sellaoua sont issues du même domaine.

## II.2 Géologie locale :

Du point de vue géologique, la nature des formations qui composent le sol et le sous-sol sont variés et leurs âges oscillent entre le Trias et le Quaternaire. Du point de vue géomorphologique, la région de Guelma correspond à une dépression de bassin allongé E-W, dans laquelle ils sont accumulées les dépôts récents du Néogène, Ce bassin est adossé au Nord comme au Sud, à des reliefs constitués de terrains, allochtones, appartenant, pour l'essentiel, au domaine Tellien, constitué de marnes et de carbonates d'âge méso cénozoïque et dont la sédimentation, de mer ouverte, s'est effectuée en domaine pélagique. L'édifice structural, qui est tectoniquement fortement accidenté est bien exposé entre Guelma et Guelaat Bousbaa. Il comporte un

empilement de nappes où on reconnaît aisément plusieurs unités continues, d'Est en Ouest, entre lesquelles s'intercalent des écailles discontinues.



Code	Geological formation	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (%)
F1	Calcaires noirs à Nummulites planulatus et Polypiers	63.09	37.76
F2	Grès quartziteux (Medjanien)	34.90	20.89
F3	Argiles noires	15.70	9.40
F4	Terres arables formations de pente alluvions anciennes et Quaternaire indéterminé	12.01	7.19
F5	Marnes à lumachelles d'Ostrea strictiplicata	11.94	7.15
F6	Travertins et tufs hydrothermaux	10.32	6.18
F7	Argiles et grès (Medjanien)	6.69	4.00
F8	Marnes et Marno calcaires (Sénonien)	6.49	3.88
F9	Campanien Maestrichtien marneux à Globotruncana calcarata de l'Oued Cheniour	3.48	2.08
F10	Cénomaniens marnes et biomicrites à Rotalipores	2.46	1.47

Figure II. 6 : Carte géologique de la région de Guelma (D'après Vila 1980 modifier).

(Allouani, N, 2023)

### II.3 Analyse litho stratigraphique de différentes unités structurales :

Les formations géologiques affleurant dans la région de Guelma se répartissent par des terrains allant d'âge plus ancien (Primaire) au plus récent (Quaternaire).

#### II.3.1 Le Primaire :

Les terrains primaires ne contiennent pas beaucoup d'affleurements, ils sont réduits et trouvés au Nord du bloc N'Bails Nador à l'entrée des gorges de l'Oued Seybouse. Ces affleurements sont faits de roche (schiste) satinée alternant avec de petits bancs de grès.

#### II.3.2 Le Trias :

Les formations triasiques sont situées à la base des structures géologiques de la région du Nador N'Bails et de la Mechrouha, on les trouve, uniquement à l'extrémité Est de la plaine alluviale.

Elles se présentent comme une association d'argiles bariolées injectées de gypse, cargneules et de bancs disloqués de calcaires dolomitiques sombres, de schistes et de grès, englobés dans des argiles rouges et des gypses (A. Chouabi, 1987). Une étude détaillée des contours montre que

le Trias jalonne aux contacts anormaux qui ont données naissance au grand bassin molassique à Guelma et c'est le cas dans le bassin du Mechrouha - Ain Tahmamine Au Sud de la station du Nador et sur les molasses Néogènes du bassin de Guelma (J.M Vila ,1972), le Trias apparaît souvent en position chevauchante sur les terrains avoisinants.

### **II.3.3 Formation du Néocomien :**

Plus à l'Est, au niveau du Douar Bouzitoune, près du village « Héliopolis ». On retrouve un affleurement de calcaires sombres, parfois micritiques, et/ou dolomitiques. Ces calcaires formants un alignement Est-Ouest sur une longueur d'environ 2.5 km. Ces calcaires dont les strates plongent vers le Nord et sont surmontées en concordance par la série marneuse Crétacé complète (Barrémien, Aptien, Sénonien, Danien) (Dareste de la Chavane. J.C ,1910). Toutefois, vers les extrémités Est et Ouest de la bande de calcaire, la série Crétacé, formée de marnes et de marno-calcaires a dû être étirée et comprimée de telle sorte que les calcaires à inocérames du Sénonien viennent reposer presque directement les calcaires Néocomiens (Dareste de la Chavane. J.C, 1910). Ces étapes d'étirements et de décollements de couches semblent être à l'origine de la mise à jour des minéralisations (calamine (mélange d'oxyde de zinc et d'oxyde ferrique), galène, antimoine et barytine), qui apparaissent principalement aux extrémités de ce massif calcaire, notamment à la nappe aquifère de Hammam Bradaa.

Deux autres petits affleurements de calcaires similaires aux précédents, ont été trouvés à l'Ouest d'Héliopolis.

### **II.3.4 Les Formations de l'Aptien :**

Ces formations d'Aptien comprennent des calcaires bleu gris, parfois oolithiques en banc atteignent une épaisseur de 6 mètres, et dans lequel viennent des calcaires bleus micritiques en banc plus épais et contenant une riche faune et affleurant à Bouzitoune, Djebel Djabana et Koudiat Enchir.

### **II.3.5 Les Formations de l'Albien :**

Dans la partie inférieure de cette série Albienne, on rencontre des marnes « schisteuses » noires ou grises, renfermant des petits lits de calcaires fins noires, repéré sur le versant Sud-Est du Djebel Bousbaa, son épaisseur dépasse les 50 mètres. L'Albien est représenté par des bancs de calcaires de 25 à 50 cm d'épaisseur, ces calcaires sont de couleurs grises à bleutée qui atteint les 25 m d'épaisseur, et par des marnes brunes à petits bancs micritiques avec une épaisseur inférieure à 15m. (J.C. Lahondere, 1987).

### **II.3.6 Les Formations du Vraconien :**

Les formations du Vraconien affleurent à l'extrémité Est de Djebel Débagh. Elles sont constituées par une dizaine de mètres de marnes vertes à bancs décimétriques de micrites de couleur verte. Ces marnes ont débuté par quelques gros bancs de micrites bleutées à radiolaires. (J. C. Lahondère. 1987).

### **II.3.7 Les Formations du Cénomaniens :**

Les formations du Cénomaniens affleurent à l'Ouest de Djebel Bousbaa. (J.M. Vila, 1980). Il débute par une alternance de petits bancs décimétriques de micrites verts et de niveaux marneux de même couleur peuvent dépasser 50 m d'épaisseur. Le niveau supérieur est représenté par des marnes à lits micritiques espacés plus d'un mètre. Les teintes restent vertes, l'épaisseur varie entre 10 à 20m. (J.C. Lahondere, 1987).

### **II.3.8 Les Formations du Turonien-Coniacien :**

Ces deux étages sont représentés par une alternance de bio micrites vertes à patine jaunâtre et de marnes très claires d'une épaisseur d'environ 60m. (J.C. Lahondere, 1987).

### **II.3.9 Les Formations du Santonien :**

A la base on a des marnes feuilletées de calcaires marneux bleutés, leur épaisseur dépasse les 50 m. Vers le sommet, les marnes deviennent plus argileuses, renfermant des petits bancs de calcaires. L'épaisseur de cette partie est d'environ 50 m. Les formations de cet étage affleurent à Djebel Bousbaa (J.C. Lahondere, 1987).

### **II.3.10 Les Formations du Campanien :**

Le Campanien affleure au Sud-Ouest du Djebel Bousbaa, il est constitué par les mêmes marnes bleutées parfois argileuses avec quelques niveaux bio micritiques de teintes grises. Plus haut la série devient plus argileuse, d'une teinte plus vive avec fréquents niveaux bio micritiques plus claires. Enfin, le sommet de cette série est présenté par des marnes argileuses de teinte claire. L'épaisseur du campanien peut atteindre une centaine de mètres. (J.C. Lahondere, 1987).

### **II.3.11 Les Formations du Maestrichtien :**

Il affleure tout autour du Djebel Bousbaa avec une lithologie marneuse de couleur grise à bleutés du calcaire bio micritiques clairs. (J.C. Lahondere, 1987).

### **II.3.12 Les Formations du Paléocène :**

Le Paléocène affleure au-dessus du massif de Bouzitoune d'âge Maestrichtien, ces formations sont représentées par des marnes noires à Globigerina et Globorotalia avec une épaisseur varie de 20 à 25m.

### **II.3.13 Les Formations de L'Eocène inférieur et moyen :**

Au Nord de la vallée de la Seybouse, au-dessus des couches inférieures du Paléocène affleure une session de calcaires importante et de marno-calcaires gris bleue à noire, avec intercalation de lits de silex noirs, mentionné par J.C de la Chavane pour la première fois en 1910. (J.C. Lahondère, 1987).

### **II.3. 14 Les Formations de L'Eocène supérieur et de L'Oligocène :**

Elles sont constituées, par un ensemble de couches de grés plus au moins grossiers et quartzeux et par des argiles souvent feuilletées et schisteuses, intercalées parfois de bancs de quartzites et/ou de marno-calcaires en plaquettes. Ces formations couvrent de vastes étendues dans la zone de Guelma et sont montrées par des formations de flysch avec faciès gréseux et argilo-gréseux. (J. C. Lahondère, 1987).

### **II.3.15 Les Flysch du Numidien :**

Sous le faciès argilo-gréseux à Tubotomaculum de la nappe numidienne affleurent des formations attribuées au domaine des flysch en l'occurrence de Djebel Beni Mazeline, Beni Marmi, Djebel Mahouana et Djebel Haouara. Ce dernier se situé dans la partie Est de la région étudiée, surmontant l'Unité d'El Fedjoudj. Cette unité est représentée par des argiles et des grés en bancs d'âge allant de l'Oligocène inférieur à supérieur jusqu'au Miocène inférieur (Burdigalien inférieur). La base de la série Numidienne est représentée par des argiles, marnes et silexites et localement à Hammam Débagh par des grés grossiers à dragées de quartz. (J.C. Lahondere, 1987).

### **II.3.16 Les Formations du Mio-Pliocène (Continental Lacustre de Guelma) :**

Le Mio-Pliocène est représenté par des formations de marnes à gypse, argile et de conglomérats rouges. Ces formations du Mio-Pliocène sont considérées comme formations post-nappe. (J.C. Lahondere, 1987), ayant une orientation d'Est vers l'Ouest, occupant des grandes dépressions, et qui apparaissent aux bassins anciens de dépôts de flysch. Les affleurements de cet étage s'observent au niveau de Belkheir et Mechtat El Acheche se remarquant à 03 km au Sud-Est de Héliopolis sur la rive gauche de l'Oued Seybouse.

### II.3.17 La mollasse de Guelma :

Bien développé dans le Sud de la région de Guelma. Il s'agit d'une épaisse série de grés jaunâtres friables, rarement grossiers, montrant de nombreuses intercalations argilo-marneuse grises ou jaunes, parfois gypseuses, lui conférant une allure « rythmique » cette formation remanie d'abondantes microfaunes du Sénonien, de l'Eocène inférieur et de l'Eocène moyen. Sur la bordure Nord, de nombreux galets du Numidien, formation qu'elle surmonte localement en discordance nette. Il s'agit donc d'un premier cycle sédimentaire post-nappe car les argiles rouges et les conglomérats supportant la série Sulfo-Gypseuse de Guelma, la recouvre à leur tour discordance. En fonction des données qui précèdent, la comparaison avec le premier cycle post-nappe Tunisien de type Oued Mellah –Kechabta (Burolet, 1951) s'impose. En Tunisie, ces séries sont clairement fini ou post-Tortonienne.

### II.3.18 Les Formations du Quaternaire :

Au niveau de cette région de Guelma, le Quaternaire se localise au centre de la plaine où on distingue :

#### 1. Alluvions anciennes :

Ce sont des éboulis de grés numidien. Ces formations alluvionnaires anciennes atterrissent tout le long du versant Ouest de la vallée de la Seybouse. Toutefois, ces formations sont parfois seules, parfois hétéroclites par des argiles numidiennes (J.C. Lahondere, 1987).

- **Dans les basses terrasses (Soltanien)** : ces alluvions dominant le lit actuel de la Seybouse et ses affluents à 15 mètres d'épaisseur.

- **Dans la moyenne terrasse (Tensiftien)** : composées de sable, lemons et des blocs roulés dans une matrice argileuse, son épaisseur varie de 30 à 60 meters.

- **Dans la moyenne terrasse (Salétien)** : au-dessus de l'Oued Seybouse, l'épaisseur peut varier de 35 à 60 mètres. Ces alluvions sont formées de gravier, de calcaire et galets roulés rarement à ciment marneux. Au Sud, ce sont les tufs et calcaires lacustres datant du Pliocène supérieur à Quaternaire ancien occupant de grandes surfaces. Les croûtes calcaires qui apparaissent également au centre d'Héliopolis sont parfois tuffacés ou massifs gris à blanc rosé riches en oogones de (Charophytes). (J.M. Vila, 1980).

#### 2. Alluvions récentes :

Ces formations sont peut importantes. Elles sont constituées de cailloutis, galets et gravier de calcaire qui sont parfois avec un ciment marneux (J.C. Lahondere, 1987). Les formations

Quaternaires sont les plus intéressantes du point de vue hydrogéologique, car elles forment avec les formations Pliocènes le réservoir souterrain de la région de Guelma ou est axé notre étude.

### **II.3. 19 Les Formations du Pléistocène :**

Les formations Quaternaires ainsi que les formations Pliocène forment la roche réservoir souterraine de Guelma. Elles sont représentées dans cette région, par des dépôts Flaviocentaux et présentent également, deux types de faciès l'un travertineux et l'autre alluvionnaire. Le faciès travertineux Les sédiments travertineux s'observent au Nord de la vallée de la Seybouse près de Héliopolis, à Hammam Débagh et au niveau de Hammam N'Bail. Ces dépôts de travertins se produisent en de nombreux points, soit sous forme de carapaces ou sous forme de dômes tuffacés, soit sous forme de nappes épousant la surface du sol (Bouaicha.F, 2018).

Les faciès alluvionnaires Les alluvions récentes se composent de cailloux roulés de tailles variables, appartenant en grande partie au flysch gréseux. Ces éléments, souvent assez volumineux, sont soit noyés dans un limon argileux, soit dans une matrice grésocalcaire (Kachi.N, 2015). Ces alluvions récentes et anciennes, représentent un développement significatif dans la vallée de l'Oued Seybouse.

### **II.4 La tectonique de la région de Guelma :**

Située entre le littoral et les rives des hauts plateaux, la région de Guelma présente un système structural plutôt complexe. C'est précisément dans cette zone que se sont manifestés successivement à toutes les époques avec le plus d'intensité les mouvements orogéniques qui ont affecté cette partie de l'Algérie.

La région qui correspond à la chaîne de l'Atlas tellien et au Tell dont fait partie la chaîne numidique, se trouve extrêmement tordue et on y trouve représentés des exemples d'accidents tectoniques de tous genres.

D'après Darest de la Chavane J.C (1910) les effets tectoniques dans la région de Guelma se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et de refoulement intense des plis qui sont en général déversés vers le Sud et le Sud-Est. Ces plis souvent empilés les uns sur les autres, se chevauchent et se recouvrent à la façon d'écailles imbriquées. Ce phénomène de structure écaillée est fréquent dans la chaîne atlasique. Dans ces plis déversés, les flancs inverses sont le plus souvent supprimés par compression et/ou par étirement.

Les flancs synclinaux s'observent par endroit, dans les zones plus ou moins épargnées par les effets tectoniques. Quant aux voûtes anticlinales, elles sont assez rares et quand elles existent, elles se trouvent plutôt à l'état de brachy-anticlinaux ou de dômes, structurés en horst et graben.

### **II.4.1 Les plis :**

Les mouvements tectoniques tertiaires, notamment les mouvements post-Eocène moyen, qui sont contemporains des mouvements pyrénéens, semblent avoir été les plus importants dans cette région. Ils sont apparus à travers des alignements (plis ordinaires, plis déversés, plis imbriqués, dôme en chapelet, affleurements anormaux de Trias en lame et en ellipse à orientation Est- Ouest, légèrement courbés dans la direction Sud-Ouest-Nord Est.

Certains axes de plissements de direction Nord-Sud, sans doute déjà esquissés et d'âge Hercynien ou Mésozoïque, se mettent à rejouer de nouveau et donnent lieu à des plis orientés dans la direction Nord-Sud, mais toutefois moins accentués que ceux de direction Sud-Ouest-Nord Est.

Dans la région de Guelma, les plis d'orientation Est-Ouest sont représentés au niveau de la chaîne du Debagh et qui se prolongent vers l'Est par le massif du Bou Zitoun et du Dj El Hourara.

### **II.4.2 Contacts anormaux :**

#### **II.4.2.1 Les failles :**

En général, on observe ce genre de contacts par failles autour des dômes et des brachy-anticlinaux (dômes structuraux) formés par les calcaires récifaux éocènes et crétacés de la chaîne du Debagh. A titre d'exemple, dans les massifs du Taya et Dj El Grar, suite à l'effondrement de la partie centrale du dôme s'observe reposit en discordance sur les assises marneuses du Barrémien (Figure II. 7).

#### **II.4.2.2 Les chevauchements :**

D'une part, ce genre de contact est causé par le déversement des plis (cas du chevauchement par pli déversé dans le massif de Dj Bou Sba) et d'autre part, par la montée diapirique des formations du Trias, qui traversent des terrains de différente nature et de différents âges (depuis le Lias jusqu'au Miocène).

### II.4.2.3 Les discordances :

La région de Guelma présente principalement des discordances liées aux flyschs sur les formations crétacées et miocènes. Et celle des formations pliocènes sur les formations du Miocène supérieur. (Figure II. 10)

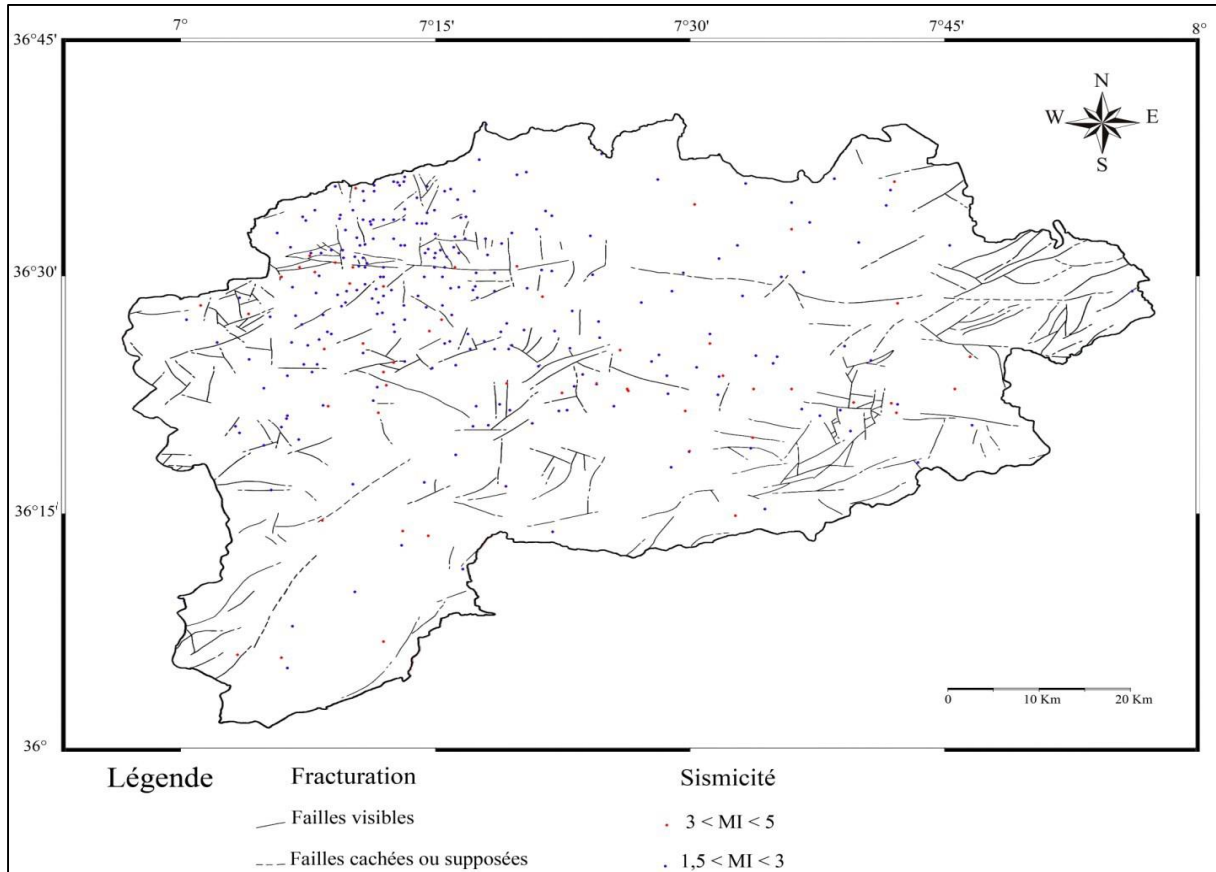


Figure II. 8 : Carte de fracturation et de sismicité d'après J. M. Vila (CRAAG) de la Wilaya de Guelma.

## II.5 Reconstitution paléogéographique

Le paysage de la région d'étude a dû être construit en raison de la présence de phases tectoniques, ce qui a donné la configuration actuelle des différentes unités allochtones. L'origine du relief actuel remonte au Miocène inférieur, avec la compression de l'édifice et une transgression de la mer lors de cette période. Dans le sillon écaillé de Sellaoua et dans le domaine néritique, des unités telliennes allochtones ont été mises en œuvre.

Ensuite, les formations numidiennes viennent pour couronner l'ensemble. Dès le Miocène supérieur, la mer a subi une régression synchrone avec des mouvements de réajustement de l'édifice. Ceux-ci ont conduit à la création du bassin actuel de Guelma. Ce phénomène d'éventrement vers le début du Quaternaire est facilité par l'existence de grands reliefs

endossant le bassin au Nord par Djebel Haouara et au Sud par la Mahouna. L'érosion continue à laquelle était exposé cet édifice a mis à jour les alluvions couvrantes toute la vallée et ont formé les terrasses du Miocène supérieur (naissance et remplissage du bassin), terrasses du Plio-Quaternaire (événement du bassin- naissance de la vallée de la Seybouse), les terrasses du Quaternaire (écoulement - érosion dans le bassin) et finalement les terrasses du Quaternaire récent (dépôts des alluvions).

### **Conclusion :**

La région d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne des Maghrébides de L'Algérie orientale. Les formations qui constituent le sol et le sous-sol sont variés et leurs âges oscillent entre le Trias et le Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée.

La géologie du bassin de Guelma comprend :

- L'unité néritique (autochtone) du crétacé, composée principalement par une formation calcaire épaisse et massive (**Toubal, 1984**) ;
- L'unité tellienne composée de marnes et calcaire d'âge Crétacé ;
- Le flysch mauritanien d'Ain Berda, d'âge oscille entre le Cénomaniens à l'Oligocène, est composé de diverse lithologie : grès micacé brèche, calcaire marne et schiste.
  
- La Dorsale Kabyle est composée de deux unités : l'une inférieure (Néocomien à Eocène) constituée de formations pélagiques et une l'autre supérieure (Eocène à Oligocène) composée de formations néritique ;
- Le flysch Massylien du crétacé est constitué de marnes, de grès et de schiste ;
- Enfin, le flysch numidien est composé de grès d'âge Oligo-Miocène.

La majeure partie de ces roches sédimentaires est recouverte par une couverture Quaternaire (d'alluvions, de graviers et de sables), par des formations Miocène et du Pliocène.

L'analyse de la carte géologique établie de la commune d'Aïn Larbi met en évidence une **superposition complexe de formations** allant du Crétacé supérieur (Cénomaniens, Sénonien, Campanien-Maastrichtien) jusqu'au Quaternaire. Ces formations se caractérisent par une grande diversité lithologique : marnes, calcaires fissurés et karstifiés, grès quartzitiques, argiles, dépôts alluvionnaires, travertins et tufs hydrothermaux. Cette diversité conditionne directement la répartition et la qualité des ressources en eau souterraine.

Sur le plan **structural et tectonique**, la région se situe dans un contexte marqué par des mouvements compressifs liés à l'orogénèse alpine, générant une organisation en **horsts et grabens**. Les failles et fractures jouent un rôle majeur, à la fois dans la compartimentation des terrains et dans la circulation des fluides souterrains. Les zones de failles favorisent localement l'infiltration et la résurgence des eaux, notamment dans les formations calcaires éocènes, tandis que les niveaux marneux et argileux agissent comme horizons imperméables.

## **Chapitre III : Etude Hydroclimatologique**

### **Introduction :**

Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre, c'est le cycle global de l'eau. La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration qui renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de l'écoulement souterrain (Castany, 1967). Le climat est un facteur abiotique important dans l'étude de la typologie et le fonctionnement d'un milieu naturel (Fustec et Lefeuvre, 2000), il nous permet de déterminer les composants et les caractéristiques de ce dernier.

L'étude des données climatologiques est une opération indispensable dans toute étude hydrologique et hydrogéologique, car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles (Bahroun, 2016). Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, 1963). Une des principales caractéristiques du cycle hydrologique est l'état de mouvement de l'eau depuis la surface au réservoir.

Le climat méditerranéen est caractérisé par un climat sec et humide à deux saisons, il est défini comme un climat extratropical à photopériodisme saisonnier et quotidien, à pluviosité concentrée durant la saison hivernale. L'été est la saison la plus chaude (sèche) (Emberger, 1954).

La région du bassin de la Seybouse est caractérisée par un climat de type méditerranéen : hiver doux et humide, été chaud et sec. La pluviométrie moyenne annuelle entre 800 et 1000 m. La fonction essentielle de cette étude est de nous aider à comprendre les éléments essentiels du bilan hydrique, tels que les précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement.

### **III.1 Les facteurs climatiques :**

L'objectif principal de cette approche est de traiter de manière approfondie les paramètres climatiques, notamment la température et les précipitations, ainsi que leur évolution sur une période importante de 35 ans. Allant de 1987 à 2022. Les données essentielles sont collectées et étudiées avec minutie à la station météorologique de Guelma. Les coordonnées sont résumées dans le tableau (III.1)

<b>Station</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Période</b>
<b>Guelma</b>	07°28'44,91" E	36° 27'23,75" N	215	1987/2022

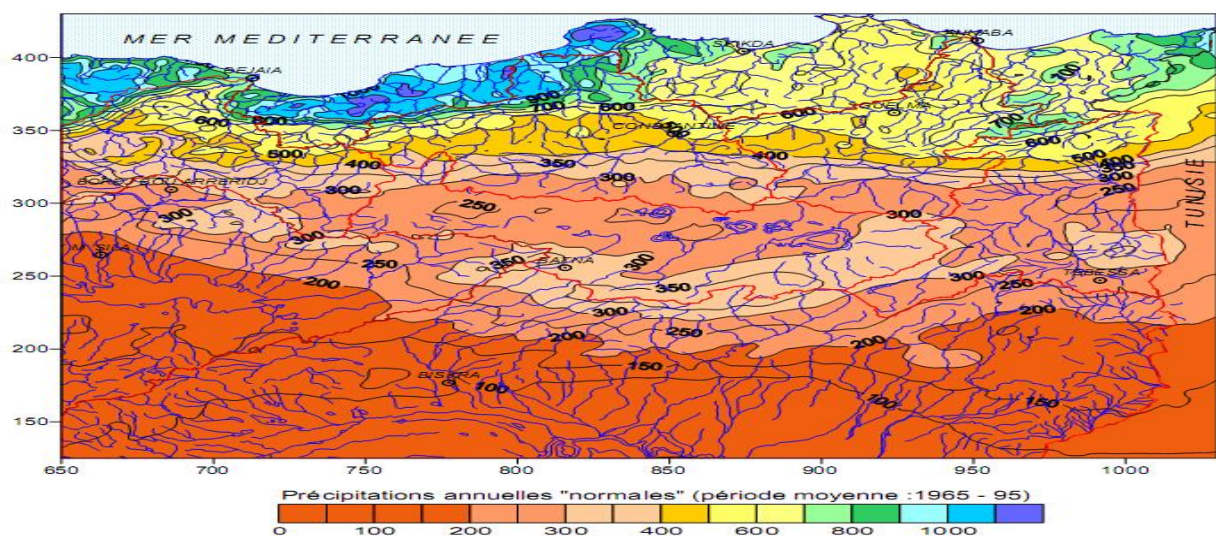
L'étude climatique aide à mieux concevoir et de déterminer les caractéristiques des eaux de surface et des eaux souterraines, car la conduite des cours d'eau est conditionnée par des paramètres principaux qui régissent l'alimentation et le déficit. La région d'étude est soumise à un climat de type méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes la saison froide humide et la saison chaude sèche. Les contrastes géomorphologiques font que les précipitations atmosphériques (P), la température (T), l'évapotranspiration (ETP) et l'infiltration (I), sont les principaux facteurs climatiques ayant une influence sur le régime hydrologique et hydrogéologique de la région.

### III.1.1 Précipitation :

Les précipitations nous renseignent sur les quantités d'eau utile au renouvellement de réserves, elles sont évidemment le facteur essentiel des régimes hydrologiques puisqu'elles constituent la matière première des débits. Elles sont une composante essentielle du cycle de l'eau, permettant le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux.

La carte des précipitations moyennes du Nord Algérien pour la période (1965-95) établit par l'A.N.R.H montre que les précipitations sur le sous bassin versant d'Oued Charef oscillent entre 300 et 500 mm (Fig. III.1).

La région d'étude jouit d'un climat de type méditerranéen, caractérisé par une saison froide et humide allant du mois d'Octobre à Avril et l'autre sèche et chaude allant de Mai à Septembre. L'irrégularité des précipitations constitue une donnée fondamentale du climat de l'Algérie (Seltzer.P, 1946) (Fig. III.1).



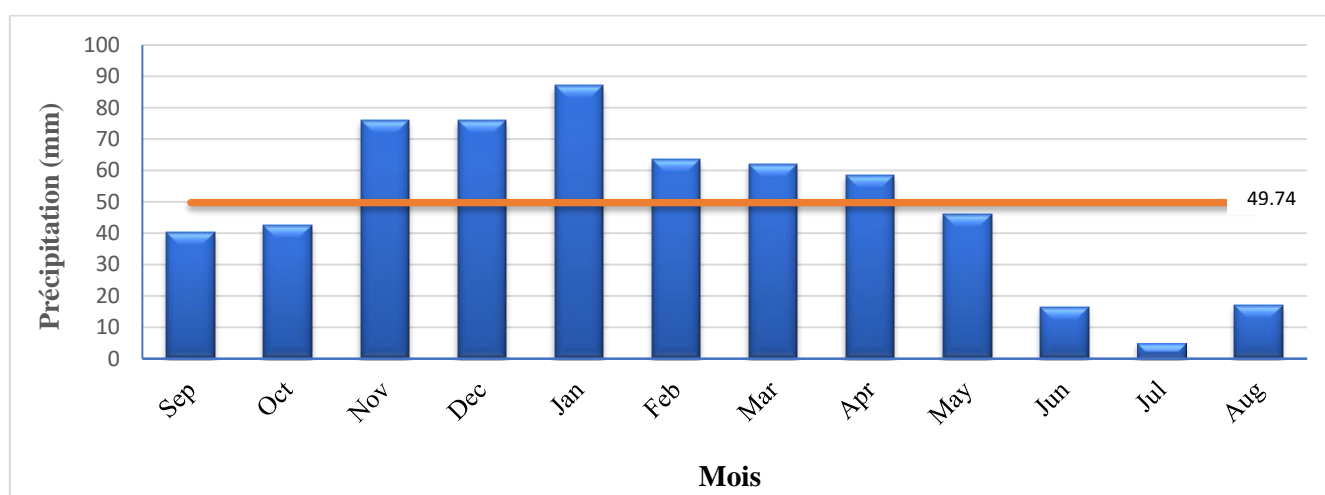
*Figure III. 2: Précipitations annuelles moyenne dans le Nord-Est de l'Algérie durant la période 1965/1995 (A.N.R.H, 2003) In Mebarki 2009.*

### III.1.1.1 Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles permettent d'évaluer les mois arrosés et secs et donnent un aperçu des variations des précipitations mensuelles et pluriannuelles en calculant la moyenne arithmétique des hauteurs des pluies du mois considéré sur un nombre d'années.

La pluviométrie mensuelle moyenne enregistrée au niveau de la région de Guelma Durant la période (1987-2022) est de l'ordre de 49.74 mm. Les résultats des précipitations mensuelles montrent que le mois le plus pluvieux est le mois de Janvier avec des précipitations atteignant une hauteur de (86.96 mm), par contre, le mois de Juillet correspond au mois le plus sec avec une précipitation très faibles de (5.08 mm).

Le tableau suivant montre la répartition des précipitations moyenne mensuelles (mm) à la station de Guelma de 1987 à 2022.



*Figure III. 3: Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station de Guelma (1987/2022.)*

### III.1.1.2 Précipitations moyennes saisonnières :

Pour donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipitée durant une année et selon les quatre saisons, une étude des précipitations saisonnières est nécessaire.

*Tableau III. 1 : Répartition moyenne saisonnière des précipitations (mm) à la station de Guelma (1987/2022).*

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Total
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
<b>P (mm)</b>	158.65			226.31			166.42			38.63			596.88
<b>P (%)</b>	26.58			37.91			27.88			6.47			100

La saison hivernale est la plus pluvieuse avec un total de 226.31mm (37.91%) des pluies annuelles. Par contre la saison estivale est la plus sèche avec un total de 38.63 mm (6.47) % des pluies annuelles. Le reste est réparti entre printemps et automne avec des totaux et pourcentages respectivement (166.42mm, 27.88%) et (158.65mm, 26.58%) du total. (Tab III.2)

Les pourcentages moyens des pluies tombées chaque saison pour la période (1987/2022) sont calculés par l'équation suivante :

$$P\% = \frac{P_s}{P_T} \times 100 \quad P_s = \sum P_i$$

Avec : P% : Pourcentage moyen des pluies tombé chaque saison.

(P S) : Pluviométrie moyenne pour chaque saison (mm).

P\_T : Pluviométrie totale de la période observé (mm).

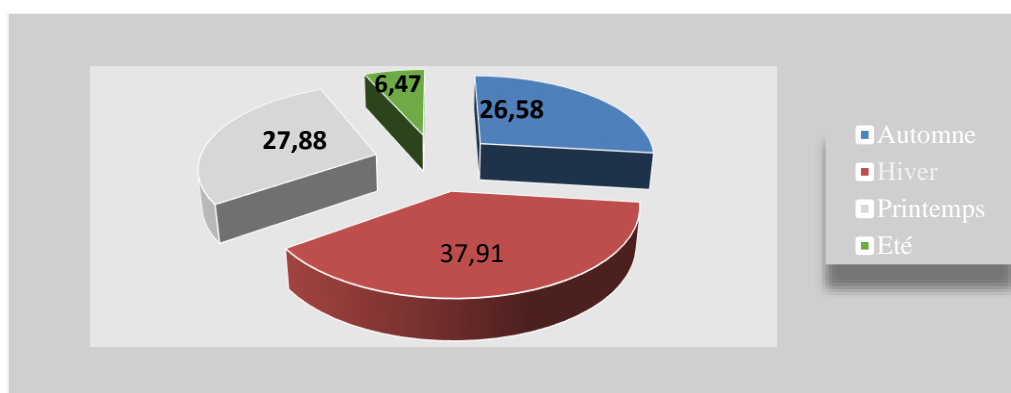


Figure III. 4: Précipitations moyennes saisonnières en (%) à la station de Guelma (1987/2022).

### III.1.1.3 Variations interannuelles des précipitations :

L'étude de la variation annuelle des précipitations sur une période de 36 ans (1987-2022) de la station de Guelma montre une grande différence entre l'année la plus arrosée 1992/1993 avec 982.5 mm et l'année la plus sèche 2021/2022 avec 338.6 mm.

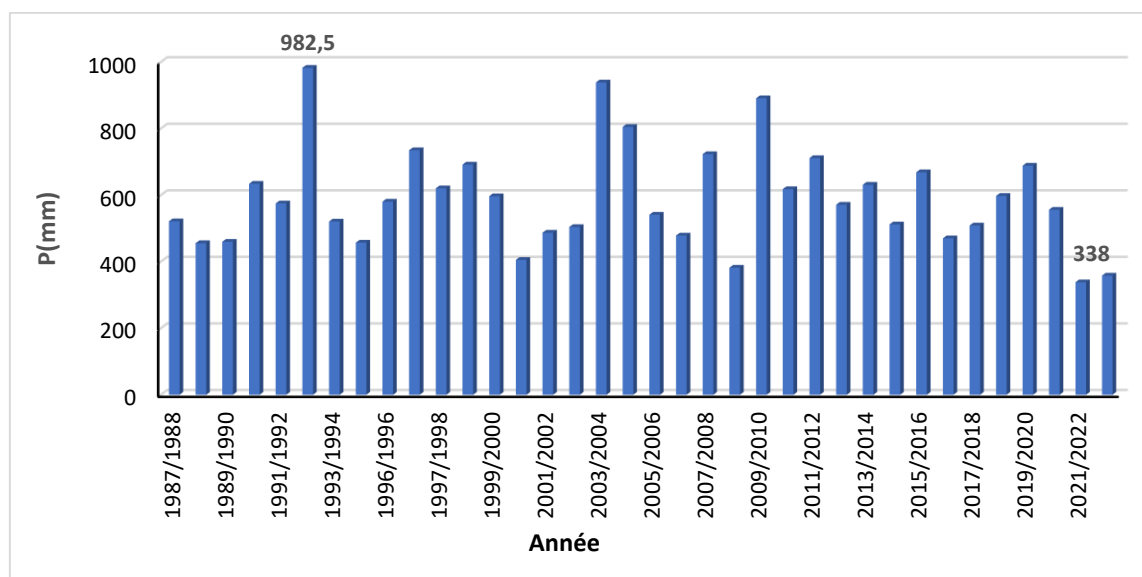


Figure III. 5: Histogramme des précipitations moyennes annuelles (mm) Station de Guelma (1987/2022).

#### III.1.1.4 Coefficient Pluviométrique :

La variabilité des précipitations annuelles est exprimée par le coefficient pluviométrique « CP » qui permet de déterminer les années excédentaires et les années déficitaires. Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne de la période d'étude à une station donnée.

Les hauteurs moyennes annuelles des précipitations (p) enregistrées durant la période d'observation à la station de Guelma est de l'ordre de **822.59** mm. Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie qui est donné par la formule suivante :

$$CP = P/P_{\text{moy}}$$

- **CP** : Coefficient pluviométrique.
- **P** : Pluviométrie de l'année considérée (mm).
- **P.moy** : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude (mm).

Si :

- **Cp > 1** : une année excédentaire.
- **CP < 1** : une année déficitaire

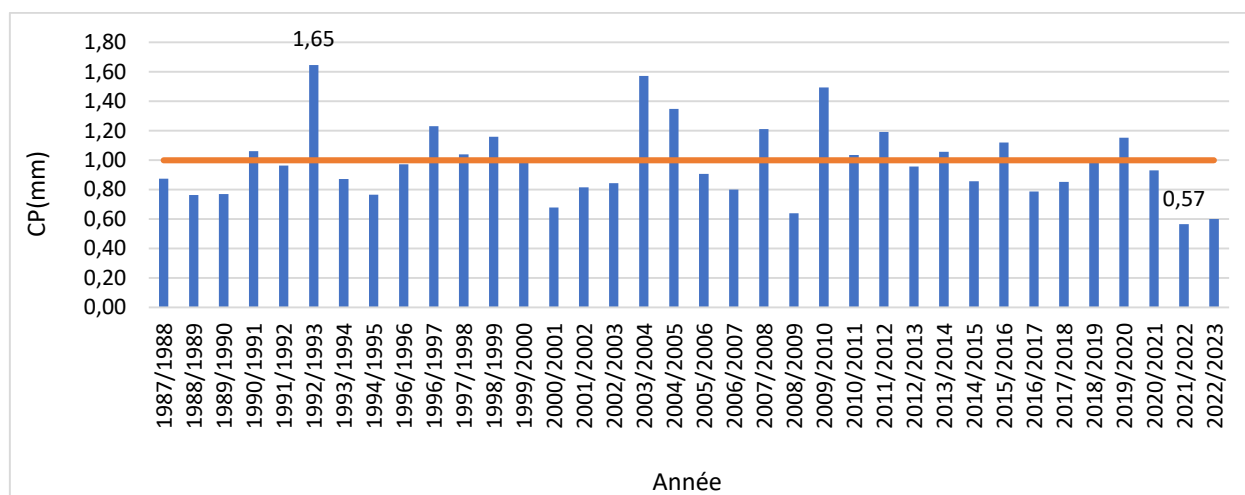


Figure III. 6 : Variation du coefficient pluviométrique à la station météorologique de Guelma (1987-2022).

D'après les résultats obtenus, il y a presque une alternance entre les années excédentaires (AE) et celles déficitaires (AD). La (figure III.5) montre 16 années excédentaires et 20 années déficitaires.

### III.1.2 Température :

La température est un facteur important régissant le phénomène d'évapotranspirations et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Contrairement aux précipitations, les températures subissent un gradient thermique décroissant avec l'altitude, de la distance par rapport à la mer et varie également en fonction des saisons (Ozenda, 1982). La température est un facteur qui agit sur la répartition géographique des espèces (Dreux, 1980). Elle a un effet direct et de base sur le bilan hydrique d'eau, l'évapotranspiration, et le déficit. (Fig. III.6).

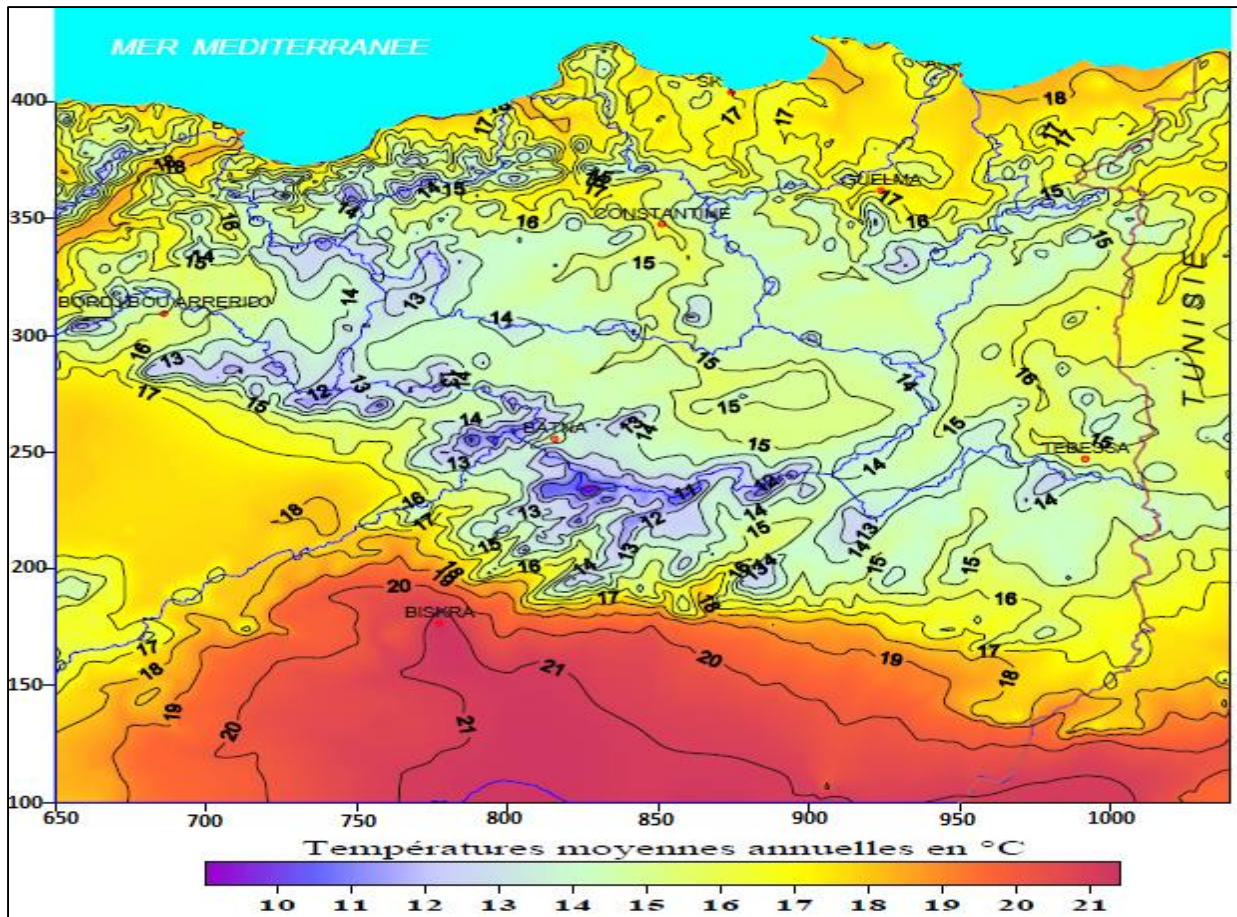


Figure III. 7:Températures moyennes annuelles dans le Nord Est de l’Algérie (Mebarki 2005).

**III.1.2.1 Variation des températures moyennes mensuelles :**

La température est un élément important dans l’étude du climat, elle joue un rôle important dans la détermination des paramètres climatiques particulièrement la détermination du bilan hydrique et dans les pertes en eau par le phénomène de l’évapotranspiration.

Tableau III. 2: températures moyennes mensuelles (°C) à la Station de Guelma (1987/2022).

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
<b>T(Moyenne)</b>	23.88	19.64	14.52	11.01	9.71	10.12	12.43	14.84	19.09	23.91	27.14	27.38
<b>T(Max)</b>	31.72	27.25	20.88	17.00	15.85	16.85	19.45	22.13	27.06	32.44	36.22	36.31
<b>T(Min)</b>	17.56	13.79	9.44	6.17	4.74	4.52	6.28	8.25	11.53	15.55	18.44	19.47

L’établissement de l’histogramme représentant la variation des températures maximales moyennes mensuelles de la région d’étude est de l’ordre de (27.38°C) au mois d’août à la station

de Guelma, par contre les valeurs les plus élevées caractérisent les mois de juillet, juin et aout ; correspondant ainsi à une saison d'été chaud et sec. Les valeurs minimales ne dépassent pas ( $9.71^{\circ}\text{C}$ ), observée au mois de Janvier indiquant un hiver froid et rigoureux.

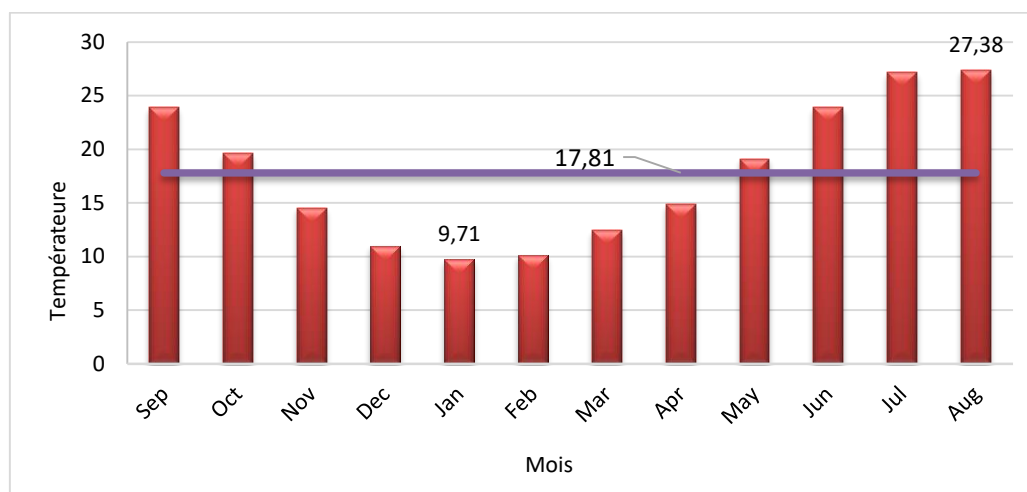


Figure III. 8: Evolution des températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (1987/2022).

### III.1.2.2 Variation des températures moyennes saisonnières :

D'après les données ci-dessous, on remarque que le maximum des températures est enregistré durant l'été (la saison la plus chaude) et le minimum durant la saison hivernale (la saison la plus froide).

Tableau III. 3: Répartition saisonnière des températures moyennes à la station de Guelma (1987/2022).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T(°C)	19.35			10.28			15.45			26.14		

### III.1.2.3. Variations annuelles des Température :

La Figure III.8 présente la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 36 ans (1987-2022). On a bien constaté l'irrégularité de ce paramètre : l'année la plus chaude est 2018 avec une température moyenne égale  $19.69^{\circ}\text{C}$ , tandis que l'année la plus froide est l'année 1992, avec une moyenne de température égale à  $16.51^{\circ}\text{C}$ . (TAB III.5).

Tableau III. 4: variation de la température moyenne annuelle sur une période de 36 ans (1987-2022).

Année	T(C°)	Année	T(C°)
1987	17.81	2005	17.40
1988	17.62	2006	18.38
1989	17.67	2007	17.48
1990	17.82	2008	17.66
1991	16.53	2009	17.70
1992	16.51	2010	17.84
1993	17.06	2011	17.77
1994	18.34	2012	18.21
1995	17.50	2013	17.84
1996	17.30	2014	18.48
1997	18.09	2015	18.21
1998	17.25	2016	18.25
1999	18.42	2017	18.31
2000	18.97	2018	19.69
2001	18.12	2019	17.88
2002	18.14	2020	17.89
2003	18.44	2021	18.55
2004	17.45	2022	18.99

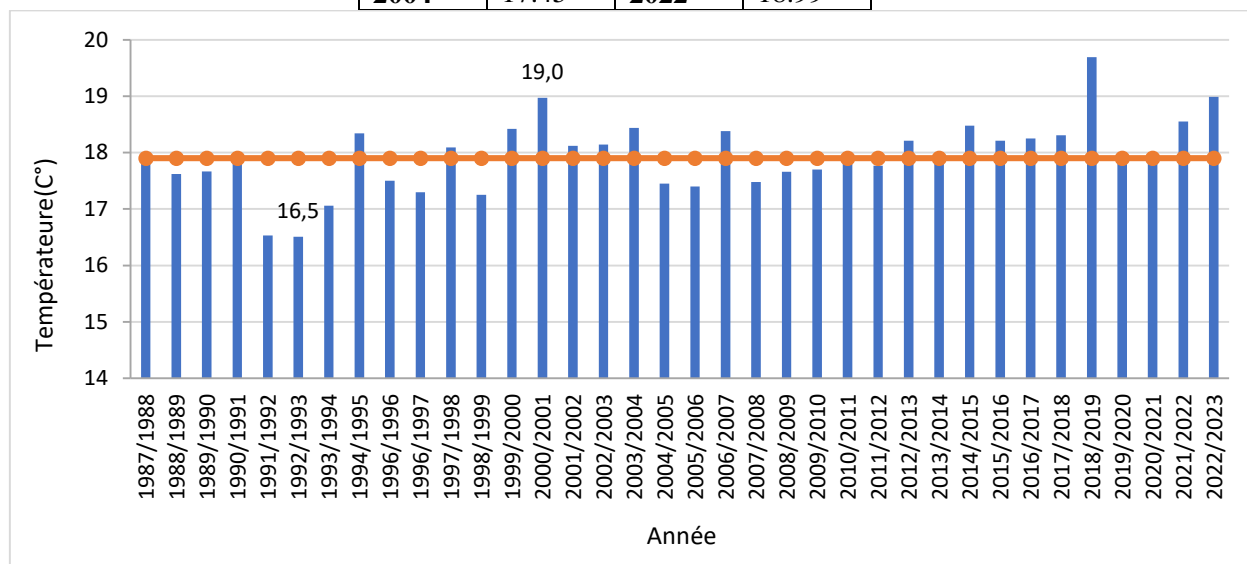


Figure III. 9: Variation de températures annuelles à la station de Guelma (1987-2022).

## III.2 Indices climatiques :

### III.2.1 L'indice d'aridité annuel de De Martonne :

Pour la détermination du type du climat (De Martonne E.1926), a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyenne annuelle :

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

**Avec :**

- P : précipitation moyenne annuelle en (mm).
- T : température moyenne annuelle en C°.
- A : indice d'aridité annuelle

Selon De Martonne, chaque indice est caractérisé par un type de climat, et ce dernier est spécifique pour un type de végétation (**Tableau III.7**). Un indice inférieur à 5 correspond à un climat hyperaride désignant le désert absolu, vers un indice compris entre 30 et 55 typiques d'un climat humide caractéristique des forêts où les écoulements sont abondants. D'après la classification de (De Martonne) la région est caractérisée par un climat Tempéré pour un indice calculé de **21.39**

*Tableau III. 5 : Type de climat selon la valeur de l'indice de De Martonne.*

Valeur de I	Type de Climat	Type de végétation potentielle
$A < 5$	climat hyperaride.	Désert absolu
$5 < A < 7,5$	climat désertique.	Désert
$7,5 < A < 10$	Climat steppique	Désert
$10 < A < 20$	Climat Semi-aride	steppe
$20 < A < 30$	Climat Tempéré	Prairie naturel, foret
$30 < A < 55$	Climat Humide	foret

*Tableau III. 6: Résultats du calcul de l'Indice d'aridité. (MARTONNE).*

Station	P	T	A	Type de Climat
Guelma (1987/2022)	596.88	17.9	21.39	Climat Tempéré

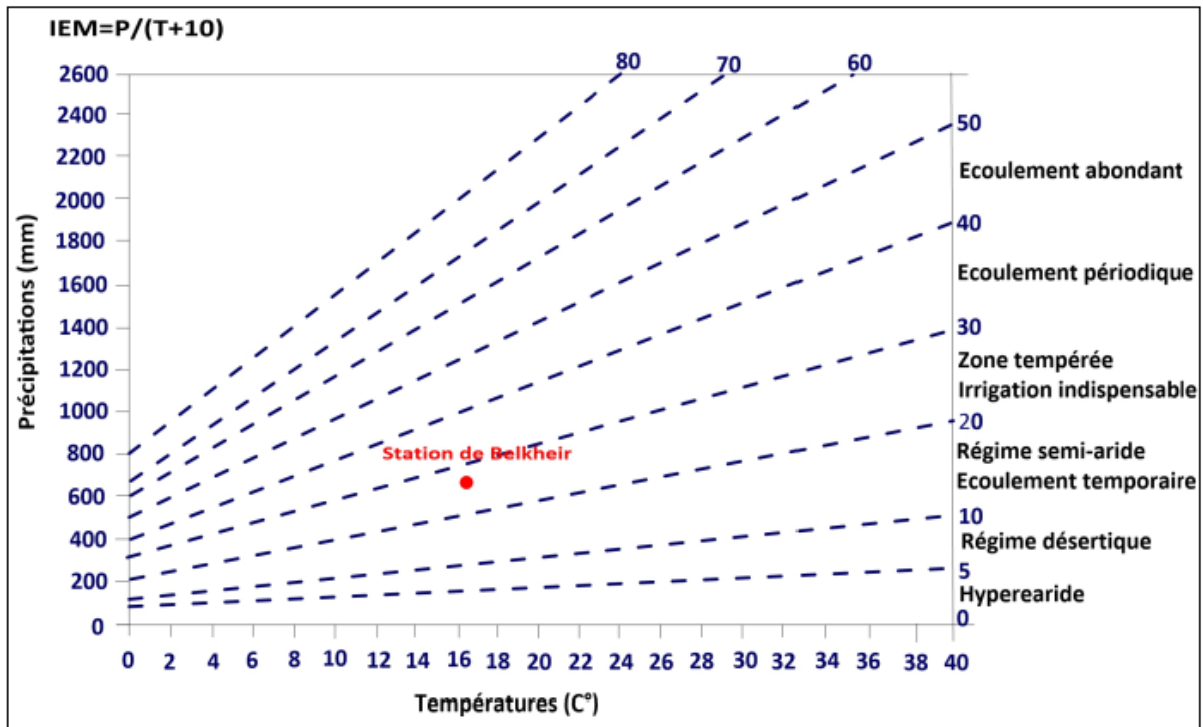


Figure III. 10: Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de De Martonne.

### III.2.2 Indice d'aridité mensuel de De Martonne

De Martonne a également défini un indice utilisable à l'échelle mensuelle, pour un mois donné caractérisé par une précipitation et une température. (De Martonne, 1923).

L'indice d'aridité mensuel est calculé comme suit :

$$IDM = \frac{12P}{T + 10}$$

Où :

- IDM : Indice d'aridité mensuel.
- P : Précipitations moyennes mensuelles en mm
- T : Température moyenne mensuelle en °C

Cette équation définit l'évolution des conditions climatiques au cours de l'année d'observation, les résultats obtenus sont représentés dans le Tableau ci-dessous

Tableau III. 7: Indices d'aridité mensuels (IDM).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
<b>IDM</b>	14.28	17.19	37.11	43.34	52.94	37.84	33.11	28.22	19.01	5.82	1.64	5.479
<b>Guelma</b>												

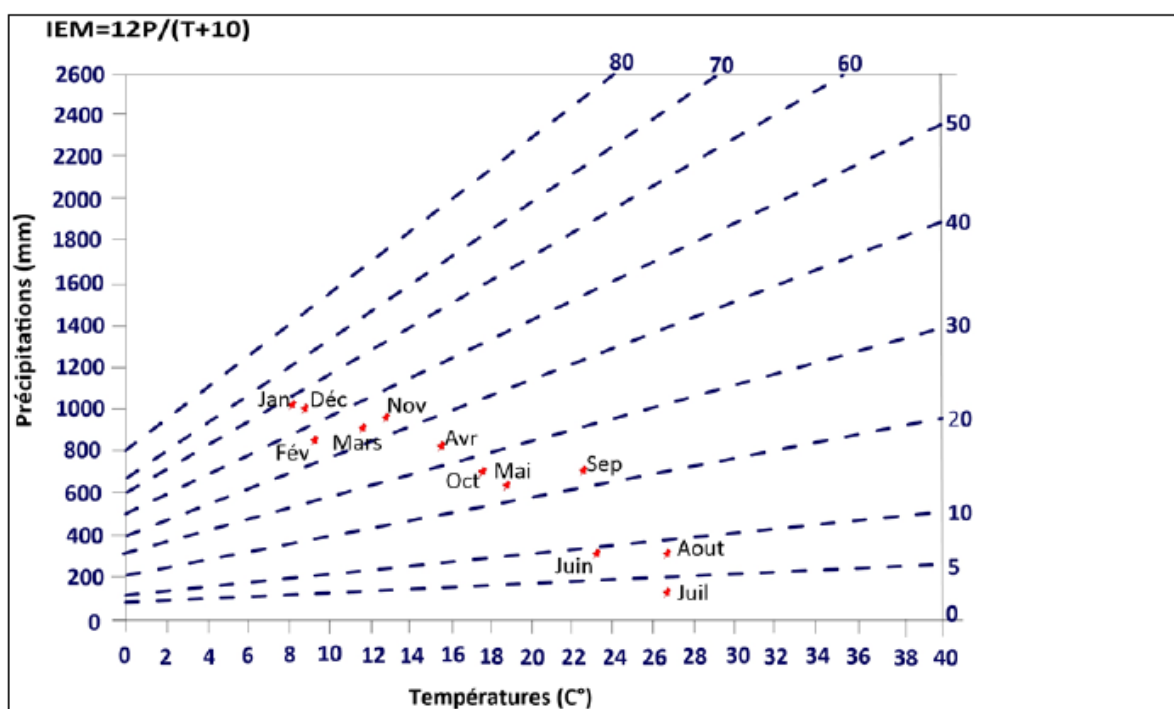


Figure III. 11 : Abaque de l'Indice d'aridité mensuel de DE Martonne.

Selon les résultats des valeurs de l'indice mensuel d'aridité à la station de Guelma, les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars présentent un climat humide, les mois de Juin et Aout indiquent un climat désertique, les mois de Septembre, Octobre et Mai montrent un climat semi-aride et le mois de Juillet représente un climat hyperaride et le mois d'Avril **Climat tempéré ou subhumide**. Fig. III.10.

### III.3. Diagramme pluviométrique de Gaussen :

Selon la définition de H. Gaussen, F. Bagnol et Henry (1957), un mois sec où la somme totale de précipitation est égale ou inférieure au double de la température moyenne mensuelle du même mois  $P \text{ (mm)} \leq 2T \text{ (°C)}$ , cette méthode simplifiée permet de déterminer la période humide ainsi que la période sèche. Le diagramme Ombrothermique établi pour la station de Guelma montre l'existence de deux saisons bien distinctes (Fig. III.12) :

- Une saison sèche et chaude qui s'étale du mois de Juin avec une valeur de température moyenne de (23,91°C), jusqu'au mois d'Octobre avec une valeur de (19,64°C).
- Une saison humide plus longue qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai avec des valeurs de température qui varient entre (19,64°C) et (19,09 °C).

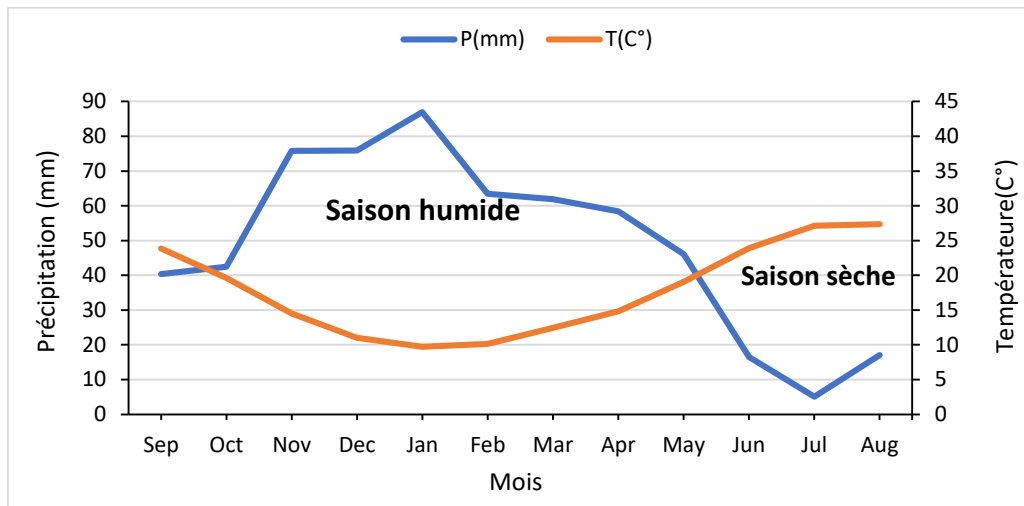


Figure III. 12: Diagramme pluviothermique de la station de Guelma (1987/2022).

#### III.4 Climagramme de Louis Emberger :

L'indice climatique de Louis Emberger permet de définir les différents types de climats méditerranéens, depuis le saharien, jusqu'à le climat humide.

Selon Emberger (1963), la région méditerranéenne est subdivisée en cinq étages bioclimatiques. Pour déterminer l'étage bioclimatique de la région d'étude, il faut procéder au calcul du quotient pluviométrique d'Emberger (Q2). (Dajoz, 2000). L'expression de ce quotient est la suivante :

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

Où :

- Q: Quotient pluvio-thermique d'Emberger.
- P: précipitation moyenne annuelle (mm).

- $M^2$  : la température moyenne maximum du mois le plus chaud, en degré (C°) ou kelvin (K°).
- $M^1$  : la température moyenne minimum du mois le plus froid, en degré(C°) ou Kelvin (K°).
- K° : degré kelvin

$$(T^{\circ}k = T^{\circ}C + 273,2).$$

Tableau III. 8:Quotient pluvio-thermique de Louis Emberge.

	Tmax(C°)	M (K)	Tmin(C°)	M	P	Q <sub>2</sub>	Etage bioclimatique
<b>Guelma</b>	27.38	300.58	9.71	282.71	596.88	115.86	semi-aride

L'emplacement de cet indice sur le climagramme d'Emberger nous a permis de situer la zone de Guelma dans l'étage bioclimatique semi-aride aux hivers tempérés (Fig. III. 13).

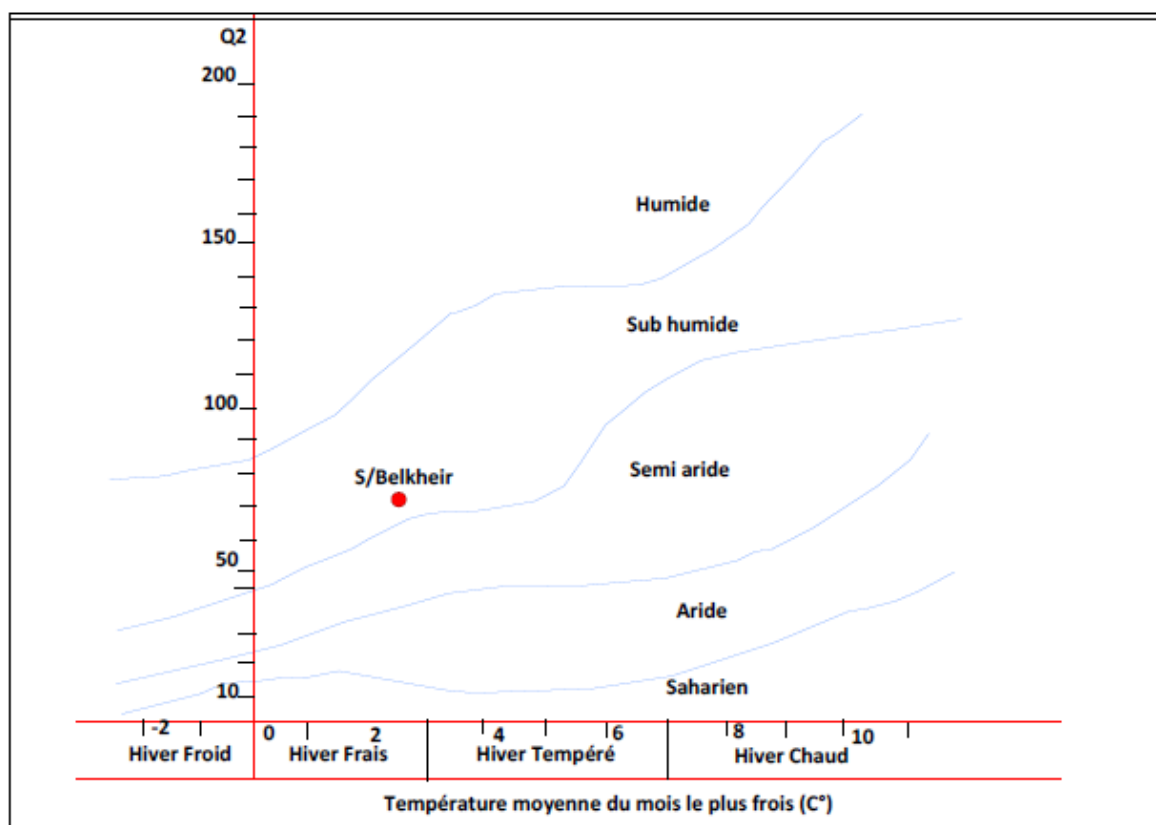


Figure III. 13: Climagramme de L. Emberger de la station de Guelma. (1987/2022).

Selon les valeurs de Q et m, on peut distinguer plusieurs zones de climat :

- $60 < 100$  ; climat subhumide,  $p = 600-900$  mm/an ;

- $30 < Q2 < 60$  : climat semi-aride,  $p= 300-600$  mm/an ;
- $12 < 30$ : climat aride,  $p= 100-300$  mm/an;
- $Q2 < 100$  mm/an : climat saharien ou désertique.

Les valeurs du quotient pluviométrique (Q2) pour la station météorologique de Guelma permettent de dire que le climat est subhumide.

### III.5. Humidité :

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température. C'est la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans une particule d'air. Il arrive à un moment donné qu'une particule d'air soit saturée en vapeur d'eau mais pas tout le temps, l'humidité relative est donc la quantité d'eau présente dans une particule d'air sur la quantité d'eau que peut contenir la particule d'air.

Tableau III. 9: Moyennes mensuelles de l'humidité relative en % (1987/2022).

Station de Guelma.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
Humidité(%)	86.19	74.92	73.93	77	77.52	74.77	74.48	72.36	67.95	60.29	55.4	56.34	70.92

D'après les données de l'humidité moyenne mensuelle de cette station sur la période 1987-1988-2021/2022), on constate que l'humidité atteint son maximum en hiver (mois de Janvier) et le minimum est enregistré en mois de juillet. (Tab III.10)

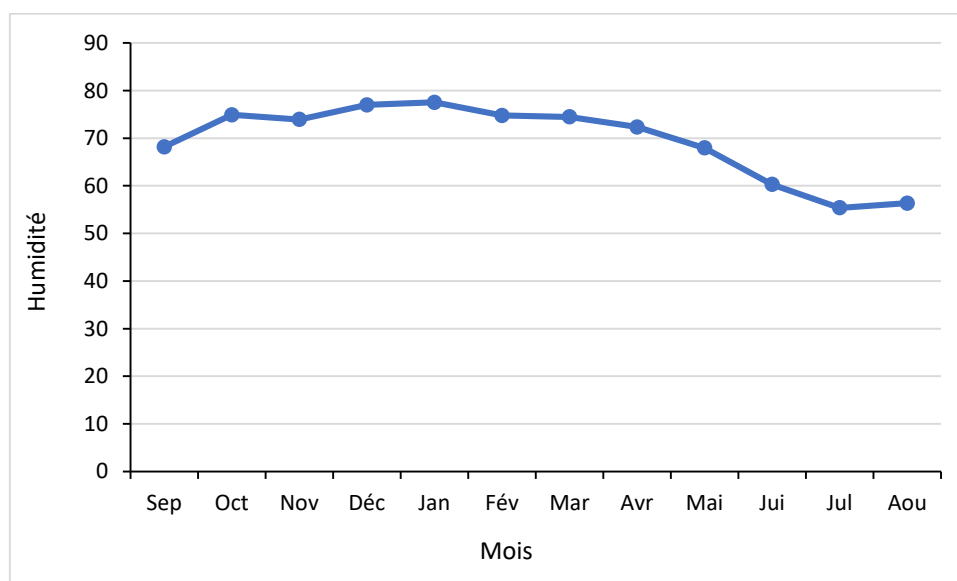


Figure III. 14: Humidité relative mensuelle (%) à la station de Guelma (1987/2022).

### III.6. Vent :

Les vents ont une conséquence importante sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et à un degré moindre sur les températures. Les vents sont relativement fréquents au printemps et en été, et durant la période des températures maximales arrivent des Siroccos Sud-est. En période hivernal, il y a une prédominance des vents Nord-Ouest amenant l'humidité de l'Atlantique du Nord. Le maximum de forces des vents est enregistré en hiver et en printemps, les vents de sable sont fréquents en Mars, Avril et Mai.

Tableau III. 10: Vent Moyen enregistré à la station de Guelma (1987/2022).

(Source : Ladlani, 2007)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Année
Vent (m/s)	1.8	2	1.8	1.9	1.8	1.6	1.7	1.7	2	1.8	2	1.9	1.8

D'après les données des moyennes des vents de cette station sur la période (1987/2022), on remarque que la fréquence de vitesse des vents atteint son maximum en Octobre et Mai avec 2 m/s, par contre le minimum des vents est enregistré en Février avec 1.6 m/s.

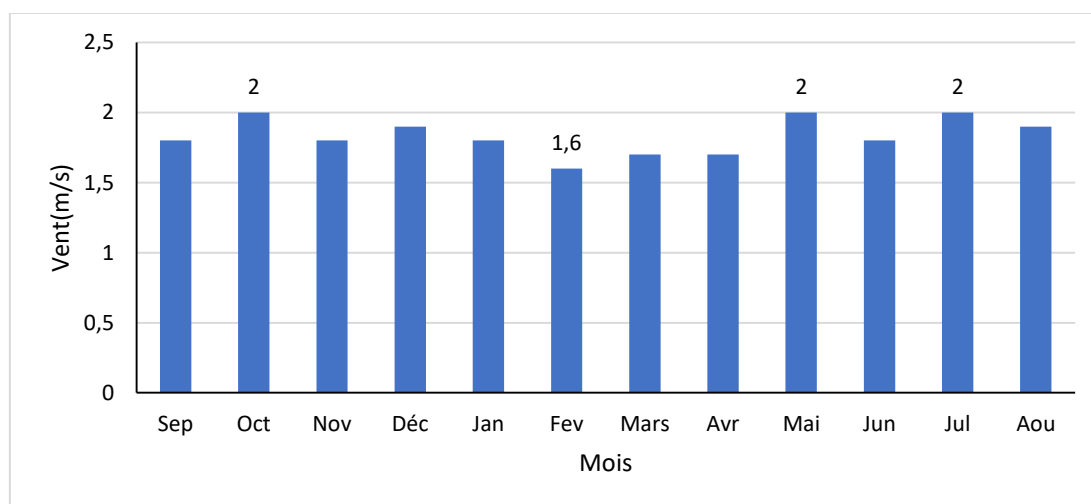


Figure III. 15: Vitesse moyenne des vents à la station de Guelma (1987/2022) .

### III.7 Le Bilan hydriques de THORNTHWAITE :

Le bilan d'eau global est une équation qui tient compte des entrées et des sorties d'eau dans un bassin versant, directement influençant la variation des réserves en eau. (Castany, 1982). Pour parvenir à déterminer ce bilan dans un bassin donné, il est impératif d'évaluer ses différentes composantes, à savoir l'infiltration, le ruissellement, et l'évapotranspiration. Il est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + I+R$$

Avec :

- P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm).
- R : Ruissellement moyen annuel en (mm)

### III.7.1. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est définie comme étant l'ensemble des pertes par transformation de l'eau en vapeur (Jacob et al, 2002, Olioso et al, 2006). Ce phénomène se compose, d'une part, de l'évaporation directe qui s'effectue à partir des sols humides et des différents plans d'eau, mais aussi de la transpiration des végétaux (Baudry et Jouin, 2003). On distingue deux types :

- Evapotranspiration potentielle (**ETP**) ou effective.
- Evapotranspiration réelle (**ETR**) ou réduite.

Dans le bilan hydrique, l'évapotranspiration est le terme le plus important après les précipitations. Elle est aussi difficile à évaluer à cause de sa pluri dépendance avec les facteurs tant biologiques que physiques. (Hallaire, 1959, Scheoller, 1962) (Lambert, 1996). Cependant, il est important de faire la distinction entre la notion de l'évapotranspiration réelle (ETR) qui définit la quantité d'eau réellement évaporée et transpirée (Bouchet, 1963) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est la quantité d'eau théoriquement évaporable par une surface d'eau libre.) (Coutagne, 1954 ; Serra, 1954, Scheoller, 1962) ; **in Boubguira Selwa (2020)**.

#### III.7.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la quantité maximale d'eau pouvant s'évaporer ou transpirée sur une surface limitée et pendant une période bien définie. Pour l'estimation de l'évapotranspiration, plusieurs formules le permettent à partir de différentes mesures climatologiques. (C.W. Thornthwaite (1948).

#### III.7.1.2. La formule de C.W. Thornthwaite :

Cette méthode est utilisée pour les climats subhumide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol et qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum (Gaude 1976 in Debieche, 2002).

A partir des données de base telles que moyennes mensuelles des précipitations (mm), moyennes mensuelles des Températures (°C), le coefficient d'ajustement (k) et l'indice thermique mensuel (i) /annuel (I) l'évapotranspiration potentielle ETP peut être calculé selon la relation suivante :

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

- **ETP** : évapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).
- **T** : température moyenne du mois considéré en (°C).
- **i** : indice thermique mensuel :  $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5}$
- **I**: indice thermique annuel :
- **I** :  $I = \sum_{i=1}^{12} i$
- **K** : facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température (coefficient d'ajustement mensuel)
- **a** : L'exposition climatique est donnée par la formule :  $a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$

Cette méthode se base sur la notion de la réserve en eau facilement utilisable (RFU), on utilise l'évapotranspiration potentielle et réelle moyenne calculée par la méthode de Thornthwaite.

*Tableau III. 11 : Résultats de l'ETP obtenus par la formule de « THORNTHWAITE » (Station des Guelma, 1987-2022).*

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
<b>T°C</b>	23.88	19.64	14.52	11.01	9.71	10.12	12.43	14.84	19.09	23.91	27.14	27.38
<b>i</b>	10.68	7.94	5.01	3.30	2.72	2.90	3.98	5.20	7.60	10.68	12.95	13.14
<b>I</b>	86.10											
<b>a</b>	1.87											
<b>K</b>	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16
<b>ETP(mm)</b>	111.02	72.54	36.56	20.52	17.42	18.4	32.74	48.71	85.81	131.82	169.8	161.48

### III.7.2.L'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et elle se calcule à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux ou plusieurs paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie, la température, l'ensoleillement...etc.

On appelle évapotranspiration réelle la quantité d'eau, généralement exprimée en mm, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant.

Plusieurs formules sont établies pour le calcul du déficit d'écoulement annuel moyen en fonction des caractéristiques météorologiques du bassin, parmi ces formules nous avons :

### III.7.2.1. Formule de Turc :

Cette formule tient compte de la durée de l'insolation et applicable à tous les types de climat :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

- **ETR** : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.
- **P** : Précipitation moyenne annuelle en mm
- **T** : Température moyenne annuelle en °C.
- **L** : pouvoir évaporant.

*Tableau III. 12: Résultat du calcul de l'ETR par la méthode de Turc  
(Station de Guelma, 1987-2022).*

<b>P(mm)</b>	<b>T(C°)</b>	<b>L</b>	<b>L<sup>2</sup></b>	<b>ETR(m)</b>	<b>ETR (%)</b>
<b>596.88</b>	17.75	759.5	576840.25	489.25	81%

### III.7.2.2. Formule de Coutagne :

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations en (m) répond à la condition suivante :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \quad \text{pour } \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Dans ce cas :

$$P=596.88 \text{ mm} \longrightarrow 0.59688 \text{ m}$$

Tableau III. 13 : Résultat du calcul de l'ETR par Méthode de Coutagne  
(Station de Guelma, 1987-2022).

P (mm)	P(m)	T	$\lambda$	ETR(m)/an	ETR (mm)/an
596.88	0.59688	17.75	0.3	0.492	492

### III.7.2.3. Méthode de C.W. Thornthwaite :

L'établissement du bilan de Thornthwaite repose sur les hypothèses suivantes :

- La satisfaction d'ETP est la priorité sur l'écoulement.
- Le remplissage de la RFU ainsi la priorité sur l'écoulement.

Le principe du calcul de l'ETR peut s'effectuer suivant les deux cas ci-dessous :

#### Premier cas :

- Si  $ETP > 0$ :  $P > ETP$ , l'évaporation réelle sera égale à l'ETP ( $ETR = ETP$ ), 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 qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe (reconstitution des réserves), soit sous la forme de ruissellement, la période est dite excédentaire.

#### Deuxieme cas :

- Si  $P - ETP < 0$  :  $P < ETR$ , l'évaporation réelle sera égale à P ( $ETR = P$ ), il y aura prélèvement sur les réserves, absence d'écoulement ; la période est dite déficitaire.

Ce dernier cas est subdivisé en deux situations :

- $P + RFU > TP$  alors  $ETR = ETP$
- $P + RFU < ETP$  alors  $ETR = P + RFU$

Si  $RFU = 0$ , la quantité ( $DA = ETP - ETR$ ) représente le déficit agricole, c'est-à-dire la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse ; c'est le besoin de culture à l'irrigation. Avec :

**RFU** : Réserve facilement utilisable ( $RFU = 100$  mm pour la station de Guelma). Le RFU a été choisie en fonction de la nature du sol de la région d'étude selon la formule de Hallaire qui s'écrit de la manière suivante :

$$RFU = C - f/100 (H * D) + 30 \text{ (mm)}$$

Avec :

- **RFU** : réserve en eau du sol

- **C** : Capacité au champ
- **f** : Capacité au point de flétrissement
- **H** : Profondeur du sol en (mm)
- **D** : Densité apparente,  $D=1$

Les valeurs de **C - f** données par **Hallaire** selon la nature du sol sont :

- **C-f=5%** pour un sol sableux
- **C-f=10%** à 15% pour un sol limoneux
- **C-f=20%** pour un sol argilo-sableux.

L'utilité de la comparaison réside dans les écarts décelés lors de l'application des trois méthodes (**tableau n° !!**) pour aboutir à une meilleure approche de l'ETR. Ce qui par la suite fera ressortir la formule la mieux appropriée à notre région d'étude. Etant donné, que les formules élaborées chacune en un lieu différent, il est clair que :

- La formule de Thornthwaite convient aux régions humides de la zone tempérée, contrairement à celle de Turc qui présente un caractère universel.
- ETR est surestimé pour tous les mois de l'année par ailleurs, Thornthwaite et Coutagne présentent des résultats assez convaincants.

Donc on peut dire que la méthode de Thornthwaite s'avère plus adaptée, en plus il y a similitude des conditions dans lesquelles elle a été émise avec celle qui règnent dans notre région d'étude, elle admet un coefficient de correction K.

Il apparaît que les valeurs de l'évapotranspiration réelle d'après Coutagne et Turc sont assez proches, alors que celles de Thornthwaite sont faibles par rapport aux valeurs de Turc et Coutagne, mais restent acceptables et n'excluent en rien la fiabilité de ces résultats (Tableau III.15).

*Tableau III. 14: Résultats du calcul de l'ETR selon Turc, Coutagne et Thornthwaite.*

Station	Thornthwaite	Turc	Coutagne
Guelma	442.5mm/an	489.25mm/an	492mm/an

### III.8 Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique établi pour la zone d'étude sur une période de 36 ans (1998-2022), repose sur la détermination et la comparaison entre les apports et les pertes en eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite où les résultats sont beaucoup plus proches de la réalité.

Le bilan hydrologique établi mensuellement a l'avantage d'estimer pour chaque mois : l'évapotranspiration réelle (ETR), la réserve facilement utilisable (RFU), le déficit Agricole (DA) et l'excédent (Ex) (Tableau III. 16).

*Tableau III. 15 :Le bilan hydrologique selon la méthode de C.W Thornthwaite  
(Station de Guelma 1987/2022).*

Période	Tp (°C)	i	K	ETP (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	23.9	10.7	1.03	111.9	40.3	-71.6	-0.6	0	0	40.3	71.6	0
O	19.6	7.9	0.97	73	42.5	-30.5	-0.4	0	0	42.5	30.5	0
N	14.5	5	0.86	36.7	75.8	39.1	1.1	39.1	39.1	36.7	0	0
D	11	3.3	0.81	20.6	75.9	55.3	2.7	55.3	94.4	20.6	0	0
J	9.7	2.7	0.87	17.5	87	69.5	4	5.6	100	17.5	0	63.9
F	10.1	2.9	0.85	18.4	63.5	45	2.4	0	100	18.4	0	45
M	12.4	4	1.03	32.9	61.9	29	0.9	0	100	32.9	0	29
A	14.8	5.2	1.1	48.9	58.4	9.5	0.2	0	100	48.9	0	9.5
M	19	7.6	1.21	85.9	46.1	-39.8	-0.5	-39.8	60.2	85.9	0	0
J	23.9	10.7	1.22	132.9	16.5	-116.4	-0.9	-60.2	0	76.6	56.2	0
J	27.1	12.9	1.24	171.3	5.1	-166.2	-1	0	0	5.1	166.2	0
A	27.4	13.1	1.16	162.9	17.1	-145.9	-0.9	0	0	17.1	145.9	0
Année	17.8	86.1		913	590	-323				442.5	470.4	147.5

Avec :

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

D'après les formules de vérification ci-dessous, les résultats issus du bilan hydrique sont vérifiés.

$$P = \sum ETR + \sum EXC$$

$$P = 442.5 + 147.5 = 590 \text{ mm/an.}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA$$

$$ETP = 442.5 + 470 = 912.5 \text{ mm/an.}$$

$$DA = \sum ETP - \sum ETR$$

$$DA = 913 - 442.5 = 470.5 \text{ mm/an.}$$

$$EXC = \sum P - \sum ETR$$

$$EXC = 590 - 442.5 = 147.5 \text{ mm/an.}$$

On constate que les résultats issus des bilans sont vérifiés

### Interprétation du bilan hydrique :

Les valeurs obtenues de l'évapotranspiration potentielle et réelle, le déficit agricole et l'excédent sont représentés sur les graphes (**Fig. III.17**) et révèlent les constatations suivantes :

- Une période déficitaire :

S'étend de Juin à Octobre et se caractérise par : Un déficit agricole  $DA = 470.4 \text{ mm}$  pour la station de Guelma.

- Une absence d'alimentation du stock ( $RFU = 0$ ) pendant la même période (Juin jusqu'à Octobre).

- Une forte évapotranspiration potentielle mensuelle qui atteint  $171,3 \text{ mm}$ , ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones des cultures. Par contre, pendant les mois de novembre, décembre, janvier, février, mars, et avril,

Une température élevée de l'ordre de  $27.4^\circ\text{C}$ .

- Une période excédentaire caractérisée par :

- Une pluviométrie importante qui atteint :  $87 \text{ mm}$ , durant le mois de janvier.

De faibles températures et évapotranspirations ;

- Une recharge du stock, où la  $RFU$  commence à se reconstituer à partir du mois de novembre pour atteindre son maximum ( $100 \text{ mm}$ ) de janvier à avril, période à laquelle il y a un excédent d'eau qui va contribuer à l'alimentation de la nappe aquifère. (**Fig. III.17**).

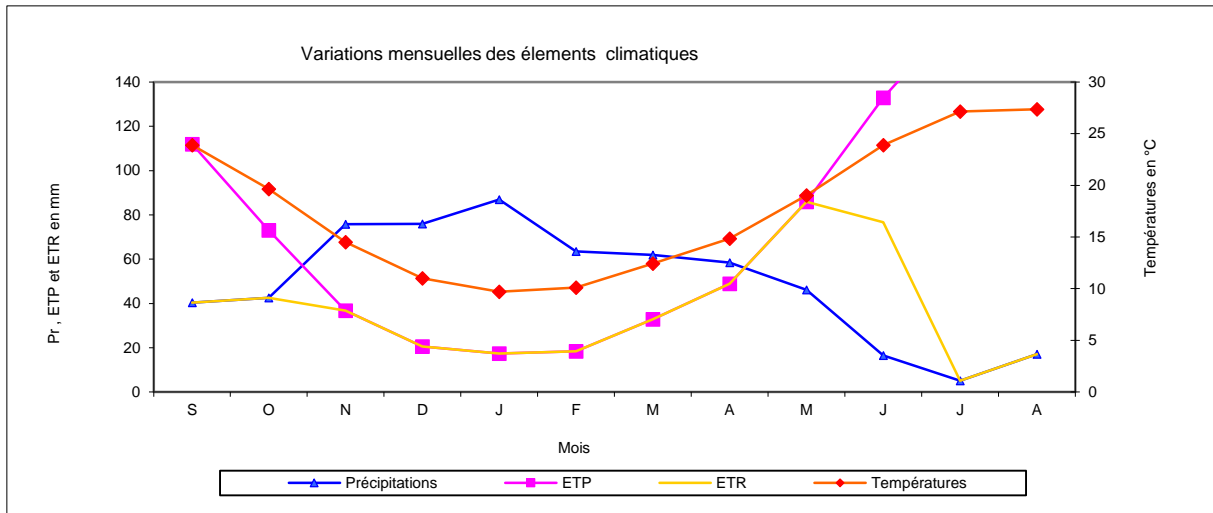


Figure III. 16: Représentation graphique des éléments du bilan hydrologique de Thornthwaite, station Guelma (1987/2022) hydrologique.

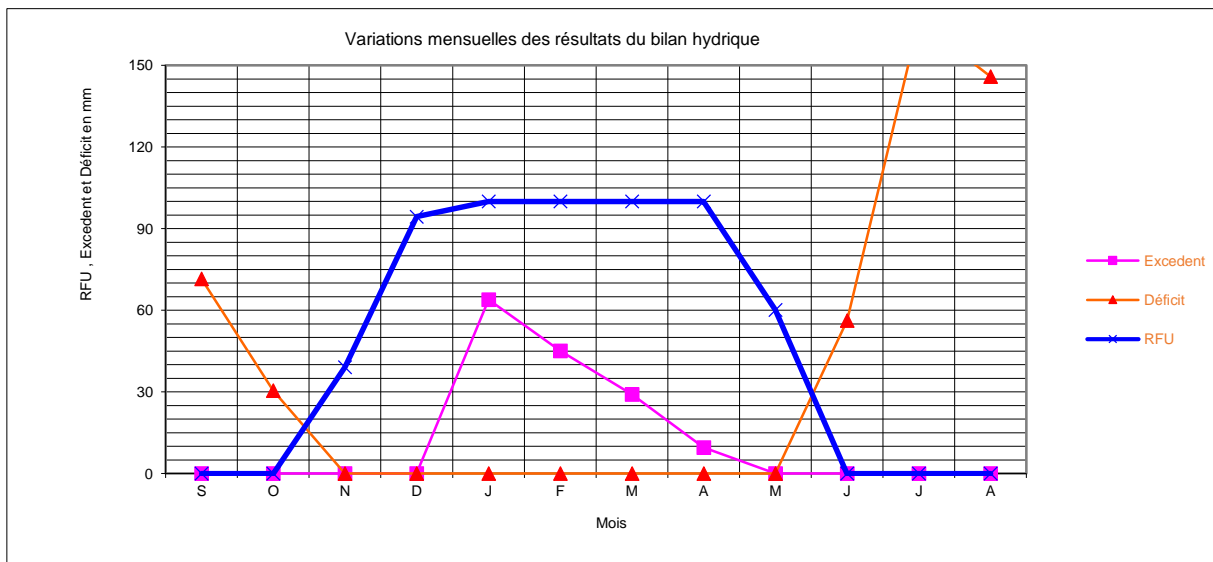


Figure III. 17: Variation des réserves facilement utilisables, l'excédent et déficit agricole du bilan hydrologique de Thornthwaite de la station Guelma (1987/2022).

### III.9 : Estimation De La Lamme D'eau Écoulée (Ruissellement) :

C'est la quantité d'eau qui s'écoule à la surface du sol, leur évaluation est d'une importance pour l'évaluation des risques d'érosion en surface du sol. (BOUBGUIRA Selwa,2020).

Il peut donc être connu d'une façon Générale par analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau ou à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Parmi les méthodes empiriques on peut citer celle Tixeront-Berkaloff modifier par Romatchouk (1974)

## ❖ Formule de Tixeront Berkaloff

$$R = P^3/3(ETP)^2 ; \quad \text{Si } P < 600.$$

## ❖ Formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romatchouk (1974)

$$R = P^3/3 ; \quad \text{Si } P > 600.$$

Avec :

- **P** : Précipitation moyenne en mm/an.
- **R** : Ruissellement en mm/an.
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle en mm/an.

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant :

*Tableau III. 16: Le ruissellement par la formule de Tixeront Berkaloff.*

Station	P (mm/an)	ETP (mm/an)	R (mm/an)	R %
Guelma	590	913	82.13	14 %

### III.10 : Estimation de lame d'eau infiltrée (L'infiltration efficace) :

Elle est définie comme étant la quantité d'eau franchissant la surface du sol et du sous-sol sous l'action de la gravité et l'effet de la pression. (Tab.18). Elle renouvelle les réserves d'eaux souterraines et entretient le débit de l'écoulement souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméable du sous-sol (Castany, 1982).

L'infiltration est un élément très important du bilan hydrogéologique, il dépend de plusieurs facteurs et les plus significatifs sont :

- La nature du sol (texture et composition granulométrique).
- Perméabilité et porosité du sol.
- Le couvert végétal.

$$I = P - R - ETR$$

Avec :

**R** : ruissellement en mm/an

**P** : précipitation moyenne annuelle en mm/an

**I** : infiltration en mm/an

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant

*Tableau III. 17: Bilan hydrologique (en mm) de la station de Guelma.*

Station	P (mm)	ETR (mm)	R	I	I (%)	R %
Guelma	590	442.5	82.13	65.37	11 %	14%

Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite, a permis de nous renseigner sur la répartition de la lame d'eau dans le sol, sous-sol et l'atmosphère durant la période d'étude de 35 ans. Les proportions des ruissellements représentent vis-à-vis des précipitations respectivement pour la station de Guelma ; 11 % et pour l'infiltration : 14%. Pour le ruissellement.

Les quantités d'eau ruisselées et infiltrées dans la région d'étude sont très faibles comparées à celles évaporées (ETR) et ceci est en étroite corrélation avec le climat de la région qui est semi-aride à tempéré (Tableau III.18).

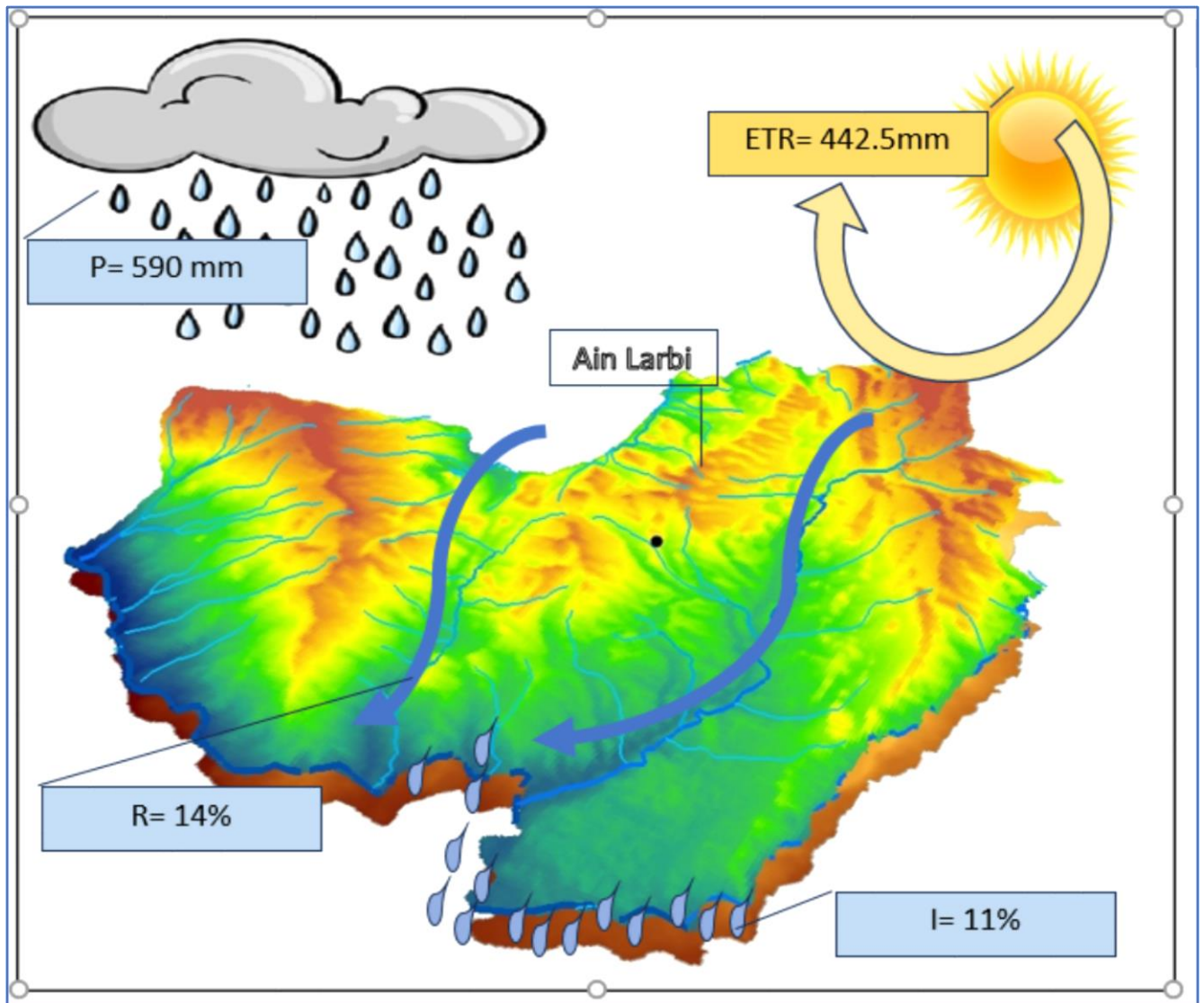


Figure III. 18 : représentation des paramètres du bilan hydrique sur la vue 3D

### Conclusion :

Cette étude, nous a permis de déterminer les principales caractéristiques climatologiques de la région d'étude. L'analyse des paramètres climatiques observés sur une de période 35 ans à la station de Guelma ont permis de déduire que :

- La région d'étude est soumise à un climat tempéré, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées (pluviométrie moyenne de 590 mm), et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse et avec des températures relativement élevées (température moyenne annuelle de 17.81 C°).
- D'après le climagramme d'Emberger, le climat de la zone d'étude est situé dans l'étage semi-aride

- L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 442.5 mm/an.
- L'évapotranspiration potentielle de l'ordre de 913 mm/an.
- La valeur de l'ETR calculée par la méthode de THORONTWAIT est la plus proche de la réalité.
- Pour le calcul du bilan hydrique, la valeur de la réserve facilement utilisable (RFU) a été choisie en fonction de la nature des terrains (RFU=100 mm).
- L'approvisionnement en eau de la RFU, commence à se reconstituer à partir du mois Novembre jusqu'au mois de Mai.
- La formule de Thornthwaite, a permis l'estimation de l'ETR qui montre qu'une grande partie des précipitations est reprise par l'évapotranspiration ETR (442.3 mm/an).
- Le calcul du bilan hydrologique permet de compter tous les éléments d'apport et de sortie d'eau au-dessus d'une surface donnée. A partir du mois de novembre, l'apport considérable de la pluie, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais un déficit agricole est enregistré à partir du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre. C'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue, afin de rattraper ce déficit les agriculteurs puisent de l'eau des oueds souvent pollués et font contaminer non seulement leurs cultures mais aussi les eaux souterraines.
- L'infiltration est de l'ordre de 65.37 mm/an soit 11 % des précipitations qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes d'eau souterraines.
- La moyenne annuelle de l'humidité relative de l'air à la station de Guelma est de 70.92%
- La moyenne annuelle de la vitesse des vents est de 1.8 m/s pour la même station de mesure.
- Le calcul du bilan hydrique a montré pour la stations de Guelma que les quantités d'eau ruisselées et infiltrées sont très faibles comparées à celles évaporées et ceci est en étroite corrélation avec le climat de la région qui est semi-aride a tempéré.

## Chapitre IV Cadre Hydrologique Et Hydrogéologique

## Partie hydrologie

### Introduction :

La Situation hydrographique de la région de Guelma appartient au bassin versant de la Seybouse, qui constitue l'un des principaux collecteurs des eaux de pluie qui tombent sur les régions de l'extrême Nord Est Algérien. Elle est située au Nord de l'Atlas Tellien, domaine à vocation agricole, et se caractérise par un relief fort et contrasté à pentes fortement inclinées.

L'Oued Seybouse est le deuxième Oued en Algérie après Oued Chelif, il draine un vaste bassin versant d'une superficie 6471 km<sup>2</sup>. Depuis les hautes plaines de Sellaoua et de Heracta, l'Oued Seybouse s'écoule dans une vallée de direction sud-nord. Il résulte de la confluence de l'oued Charef et l'Oued Bouhamdane dans la région de Guelma, passant par Chihani et la plaine d'Annaba où l'écoulement devient régulier et lent et recevant l'Oued Meboudja avant de se jeter finalement dans la Méditerranée. On note que l'oued Bouhamdane n'alimente plus l'oued Seybouse car il a été capté pour construire le barrage Bouhamdane. Ceci a eu pour effet la baisse des débits de l'oued et par conséquent une dégradation de la qualité des eaux due aux divers apports.

Les principaux cours d'eau qui constituent le réseau hydrographique du bassin versant de la Seybouse sont :

- **L'Oued Seybouse** il présente l'axe de drainage du bassin versant. Il a un apport annuel de 408 Hm<sup>3</sup>/An à la station de Boudaroua et prend naissance dans les hautes plaines de Haracta, Ain Abid et Sedrata et se jette dans la Méditerranée après un parcours de 160 km (Debbieche, 2002). Ses principaux affluents sont :

- **L'oued Bouhamdane (45,37km)**, constitué des oueds Sabath et oued Zénati, apporte 96 Hm<sup>3</sup>/An à la station de Medjez Amar II (point de confluence avec l'oued Cheref).

- **L'oued Cheref** (36,46 km), au Sud-ouest, apporte 107 Hm<sup>3</sup>/An à la station de Medjez Amar

- **L'Oued Mellah** au Sud-est avec un apport de 151 Hm<sup>3</sup>/An à la station de Bouchegouf.

La situation Hydrographique de la zone d'étude fait partie du sous bassin Charef Avale ; 86, %. Et charef amont 23%) Tableau : IV.1.

Tableau IV. 1 : Répartition de la superficie de la commune d'Aïn Larbi par rapport aux sous-bassins de la Moyenne Seybouse et du Cherf Aval.

Superficie Totale d'Aïn l'arbi en Km	Superficie par rapport au BV-Moyenne Seybouse		Superficie par rapport au BV-Cherf_Aval	
	Km	%	Km	%
166,987508	30,542908	18,30	136,437123	81,70

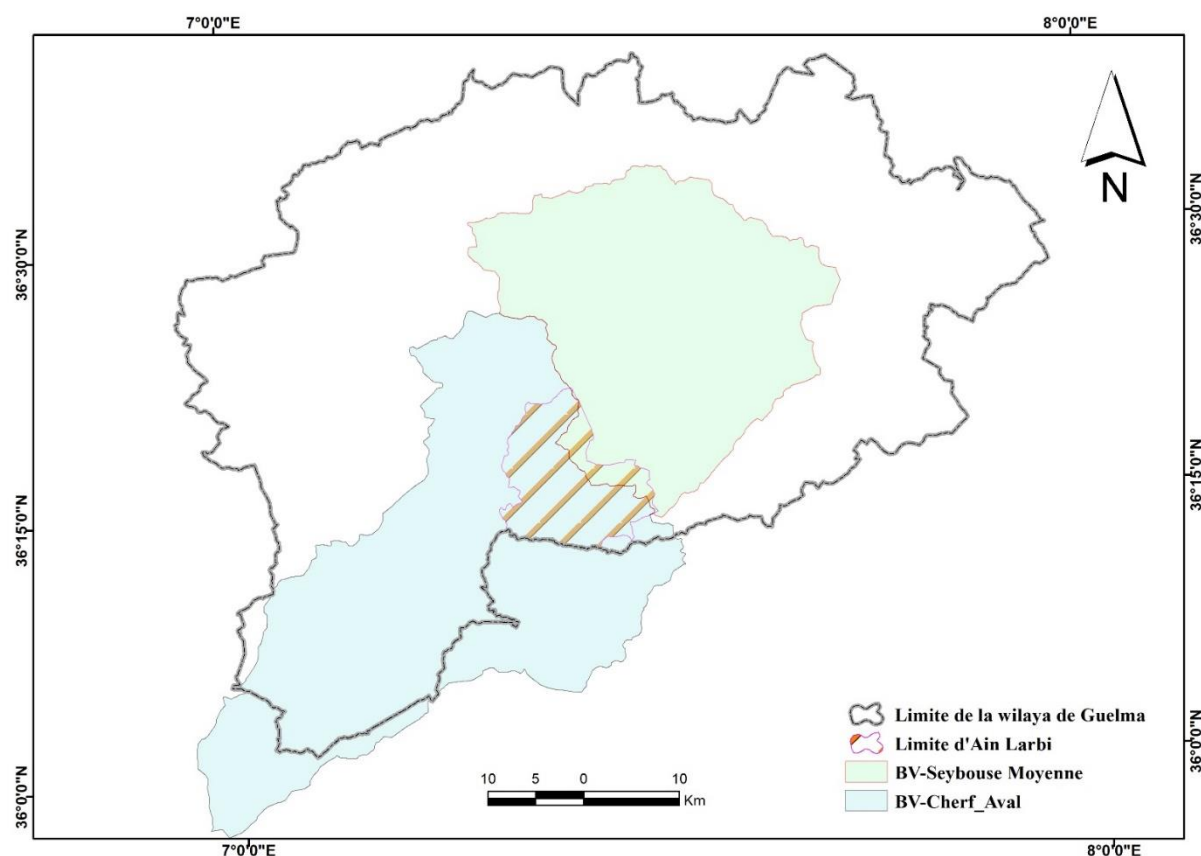


Figure IV. 1: Localisation de la commune d'Aïn Larbi dans les sous-bassins de la Moyenne Seybouse et du Cherf Aval (wilaya de Guelma)

#### IV. 1. Répartition des sous-bassins de la Seybouse :

Les sous-bassins de la Seybouse sont les suivants :

##### IV. 1.1. La haute Seybouse :

- **Sous Bassin Cherf amont** : Il se compose principalement de la plaine de Sedrata et de la plaine de Tamlouka, ce dernier est drainé par l'Oued Mellah qui prend sa source dans le Djebel Amar. La plaine de Sedrata qui représente la plus grande partie de ce sous bassin, ce dernier est traversé par l'oued Cherf dont la longueur est de 25 Km, il est alimenté par de nombreux petits affluents :

- Oued Settara
- Oued Trouch
- Oued Ain Snob
- Oued Lahamimine
- Oued Tiffech
- Oued Krab

➤ **Sous-Bassin Cherf aval :**

Sous-Bassin Cherf aval : De type gouttière ; de nombreux petits oueds dans les deux rives droite et gauche, sur la rive gauche, ce sont l'oued Nil, l'oued Sept, l'oued Chenior, sur la rive droite, ce sont l'oued Medjez Bgar, l'Oued Anouna, l'oued Mgaisba.

Ce sous bassin est traversé par l'oued Cherf dont la longueur est de 32 Km, ce dernier est alimenté par les affluents suivants :

- Oued M 'Guisba.
  - Oued Medjaz El Bgar.
  - Oued bou El Frais.
  - Oued El Aar.
  - Oued Cheniour.
  - Oued Nil.
- **Sous -bassin de Bouhamdane :** Il est traversé par oued Bouhamdane dont la longueur est estimée à 37,49Km, qui est alimenté par plusieurs affluents dont les principaux sont :
- Oued Zenati 52, 40 Km,
  - Oued Dardar 10, 53 Km,
  - Oued Sabath 10, 86 Km,
  - Oued El Aria 10, 79 Km. (A.B.H. 1999).

Les deux oueds ; Oued Zenati et Oued Sabath se joignent à l'Oued Bouhamdane qui rencontre l'Oued Charef à Medjaz Amar pour former la Seybouse.

#### **IV. 1.2. La Moyenne Seybouse :**

- **Le sous-bassin de Guelma :** A partir de Medjez Ammar, le Seybouse accrue par l'union du Bouhamdane et Charef, débouche dans le bassin de Guelma. L'oued est orienté de l'Ouest à l'Est et traverse Nador pour déboucher dans la dépression de

Bouhegouf où converge un nouveau système hydrographique qui vient se jeter dans la Seybouse au Sud-Ouest de Bouhegouf.

Dans le bassin de Guelma, Plusieurs cours d'eau viennent y affluer :

- Oued Boumia 12,70 Km,
- Oued Bou Sorra 16,32 Km,
- Oued El Maiz 10,16 Km,
- Oued Helia 18,41 Km,
- Oued Bou Djedra 10,07 Km. (Cahiers de l'Agence A.B.H.1999).

#### **IV. 1.3. La Basse Seybous :**

##### ➤ **Sous-Bassin de Malleh :**

Son cours est principalement formé par la réunion de l'Oued Sfa, Oued Cheham et Oued Ranem. Ce dernier porte le nom de l'Oued R'biba, Sekaka avant de recevoir les eaux de l'Oued Rhirane formé à son tour par la réunion Oued Hammam et Oued R'biba. Au Nord-Est, les Oueds Bou Redine et maaza forment Oued El Mellah en aval. Oued Ghanem (considéré comme le principal affluent de Mellah) traversant les terrains gypseux de la région d'Oued Cheham qui est peu perméable en saison sèche. Alors que les alluvions des terrasses de Bouhegouf semblent plus argileuses que celles de Guelma et sont moyennement perméables.

##### ➤ **Sous-Bassin de Seybouse Maritime :**

La Seybouse se fraie un chemin entre Bouhegouf et Drean, de direction Sud-Nord c'est la dernière étape à franchir avant d'arriver à la mer. A ce niveau, la Seybouse est alimentée de l'Ouest par : • Oued Ressoul 17,56 Km. • Oued Dardara 25,56 Km. • Oued Frarah 12,76 Km. • Oued Boudjemaa 17,71 Km.

#### **IV.2. Ressources hydriques de la commune d'Ain Larbi :**

Les ressources en eau de Ain L'Arbi proviennent des eaux de surface, des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables, elles sont assez limitées, étant donnée la dégradation climatique, le manque de grandes vallées, et l'absence des barrages, ainsi que la rareté des puits et de forages (ABH 1999).

### IV.2.1 Les eaux superficielles :

La commune de Ain Larbi se caractérise par une topographie de collines et de montagnes. Les principaux oueds qui sillonnent la commune se déversent tous indirectement dans le l'Oued Seybouse qui constitue par ailleurs le principal exutoire de la Wilaya. Donc on peut dire que 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 (DHW. Guelma), Parmi les plus importants cours d'eau de la commune, on citera :

➤ **Oued Charef :**

C'est le principal Oued connu dans la région, il a creusé son cours en entrecoupant des collines et montagnes et façonné un lit dans les terrasses inférieures situées à l'Ouest de la commune, Il forme la limite de la commune avec celle d'Ain Makhoulf et se confond avec l'oued Bouhamedane au niveau de Medjaz Amar pour former Oued Sybouse. Cet important affluent collecte les eaux des Oueds Tiffech, Hamimine, M'gaisba, EL Aar et Chenior.

L'oued Charef, Prend sa source au sud de la wilaya son apport est estimé à 107 Hm<sup>3</sup>/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.

Un certain nombre de Chabatats se jettent dans l'oued Charef, notamment :

Chabat El Harhar, Chabat Abd Ehafid, Chabat Hafra Tagoussi, Chabat Maghrom, ainsi que Oued Al-Sabt et Oued Chanior s'y jettent également.

➤ **Oued Chanior :**

Principale affluent de l'Oued Charef, caractérisé par un régime irrégulier de son écoulement lié aux fluctuations saisonnières des précipitations. Les Chabats qui s'y jettent dans l'Oued Chanior sont : Chabat Ain Fras, Chabat El Fgagra et Chabat Medouda.

➤ **Oued El Aar :**

Son écoulement temporaire minimise son importance stratégique, exceptés les quelques exploitations locales d'irrigation.

➤ **Oued E'ssabet :**

Du même ordre que celui d'Oued Al Aar.

Le réseau hydrographique de Ain Larbi prend en générale deux direction :

- **Nord- Ouest**, par l'intermédiaire d'Oued Chenior et Oued El Sebtet déversant sur l'Oued Charef.
- **Nord Est**, par l'intermédiaire de plusieurs petits affluent et se déversant sur le territoire Boumahra Ahmed puis dans l'Oued Seybouse. (PDEAU Ain Larbi, 1994).

La sinuosité des cours d'eau de Ain Larbi permet de localiser plusieurs sites, que ce soit de retenue collinaires ou même de moyen barrage sur Oued Charef au point de confluence avec l'Oued El Sebt Fig.III.1

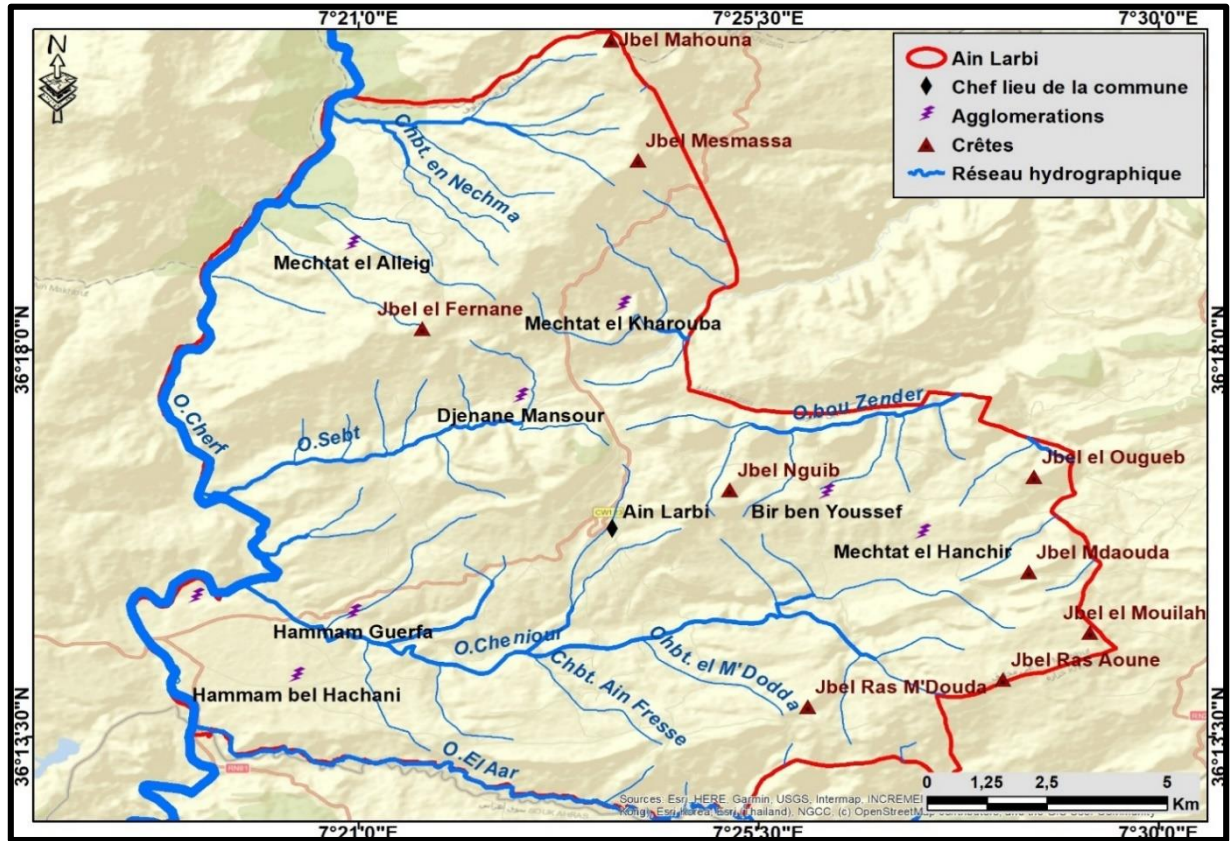


Figure IV. 2 :Le réseau Hydrographique de la région de Ain Larbi.

Toutefois, la mobilisation de la ressource superficielle est pratiquement inexistante malgré la présence de nombreux petits cours d'eau et les fortes chutes de pluies et de neige sur cette commune précisément la région Nord où on révèle toute fois une seule retenue collinaire (capacité théorique 70.000 M3 au lieu-dit Ahmada réalisée en 1988 et destinée à l'irrigation de quelques dizaines d'hectares (20 à 30 ha) Actuellement cette retenue est presque abandonnée.

### IV.3 CONCLUSION :

L'analyse hydrologique de la commune d'Ain Larbi confirme l'importance stratégique de son insertion dans le bassin versant de la Seybouse, dominé par l'Oued Charef et ses affluents. Toutefois, la disponibilité réelle en eau de surface demeure limitée, en raison d'une mobilisation quasi inexistante, de la faible capacité des retenues existantes et de l'absence d'ouvrages de régulation adaptés. Cette situation, accentuée par l'irrégularité pluviométrique et la pression

croissante liée aux usages agricoles, met en évidence une vulnérabilité structurelle du système hydrique local. Ces constats soulignent l'urgence d'approches intégrées de gestion et d'aménagement, associant la valorisation des ressources superficielles, le développement d'ouvrages de stockage adaptés et une meilleure articulation avec les ressources souterraines. Ils ouvrent également des perspectives de recherche sur l'évaluation fine des bilans hydriques, la modélisation des écoulements et l'optimisation des scénarios de gestion durable face aux changements climatiques et aux pressions anthropiques.

### **Partie Hydrogéologie.**

#### **Introduction :**

Grâce aux recherches menées dans la zone d'étude, une synthèse hydrogéologique de la région de Guelma et plus spécifiquement de la commune d'Arbi a été réalisée. L'Oued Seybouse coule dans le système hydrogéologique de la région de Guelma entre deux seuils imperméables constitués par les marnes du Trias à l'Est (au niveau du Nador). Il s'agit d'une zone d'effondrement remplis par des dépôts du Miocène (argiles et marnes à gypse) et quaternaire (alluvions hétérogènes sous forme de terrasse). Ces alluvions souvent très perméables et surtout très épaisses constituent une nappe importante alimentée par les infiltrations des eaux de pluies et par les apports latéraux du bassin versant de la Seybouse. Les infiltrations conduisent l'eau superficielle en profondeur formant le siège d'un réservoir très important dans la région d'étude et les zones avoisinantes (Bouaicha.F 2018).

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principaux systèmes aquifères, leurs caractéristiques et les conditions d'émergence des ressources en eau dans la région.

#### **IV.1 : Les systèmes aquifères identifiés :**

Les travaux réalisés par le CRAAG et l'ENAGEO ont permis d'identifier quatre grands systèmes aquifères.

##### **➤ La nappe alluvionnaire de Guelma (Mio-Plio-Quaternaire)**

Elle est localisée le long de l'Oued Seybouse et se développe dans les dépôts alluvionnaires organisés en terrasses successives (basse, moyenne et haute). Ces formations présentent des propriétés hydrogéologiques variables selon leur granulométrie et leur degré de consolidation.

##### **➤ La nappe des calcaires néritiques et sénoniens (Héliopolis – Guelat Bousbaa)**

Cette nappe se développe dans les calcaires sénoniens, en contact avec des niveaux marneux et schisteux imperméables. Elle constitue un réservoir important dont le fonctionnement est étroitement lié à la tectonique et aux conditions de fracturation.

➤ **La nappe des calcaires éocènes (Ras El Agba – Sellaoua Announa)**

Située principalement à l'Est et au Sud de la région, elle est alimentée par infiltration directe sur les affleurements. La fracturation et les dolomitisations locales renforcent sa capacité d'emmagasinement et de circulation des eaux.

➤ **La nappe carbonatée d'Aïn Larbi – Bou Hachana (Yprésien)**

C'est l'aquifère majeur de la commune. Formé par des calcaires et des grès numidiens, il est fortement tectonisé, ce qui crée plusieurs unités aquifères indépendantes. Les dépôts de travertins observés traduisent des circulations souterraines actives et l'abondance de sources locales.

## **IV .2 Apports de la géophysique à l'interprétation hydrogéologique :**

### **IV.2.1 Méthodologie des sondages électriques verticaux (SEV) :**

La prospection géophysique par sondages électriques verticaux a permis de préciser la structure des formations. Les résistivités mesurées mettent en évidence les variations lithologiques et la profondeur des aquifères (*Fig. IV.3*).

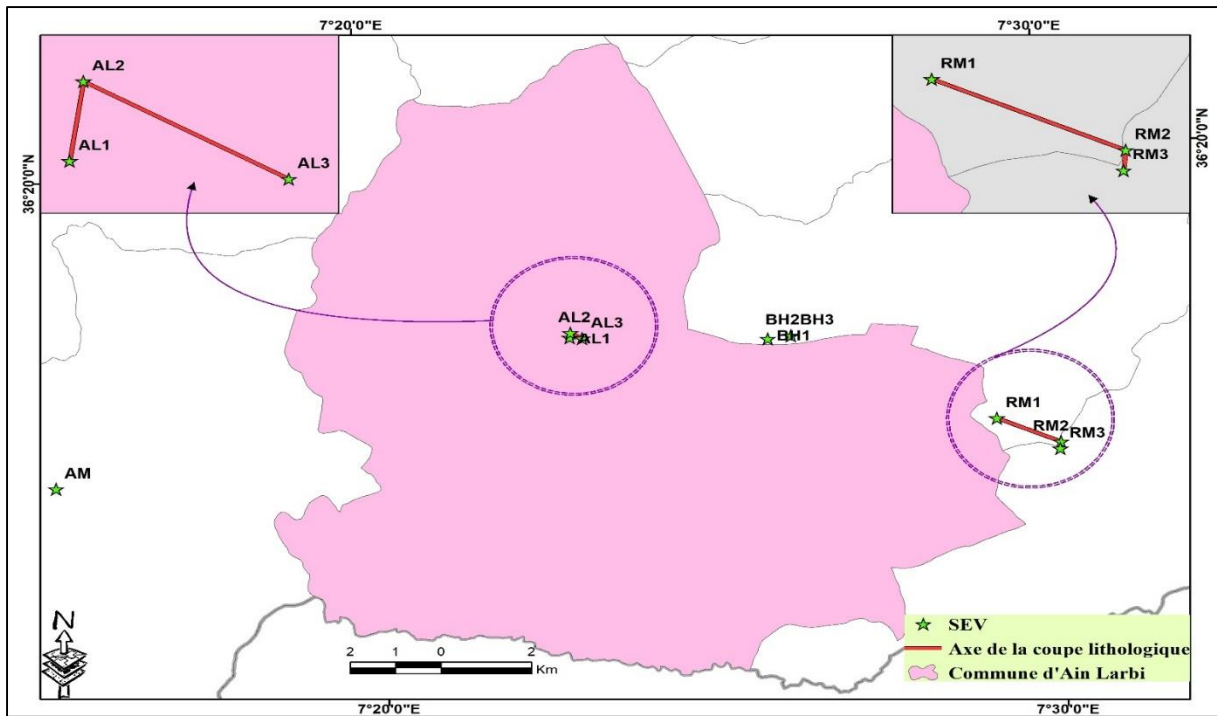


Figure IV. 3: Carte de localisation des coupes hydrogéologiques réalisées dans la région d'étude.

IV.2.2 Interprétation des coupes lithologiques d'Aïn Larbi (AL1, AL2 et AL3) :

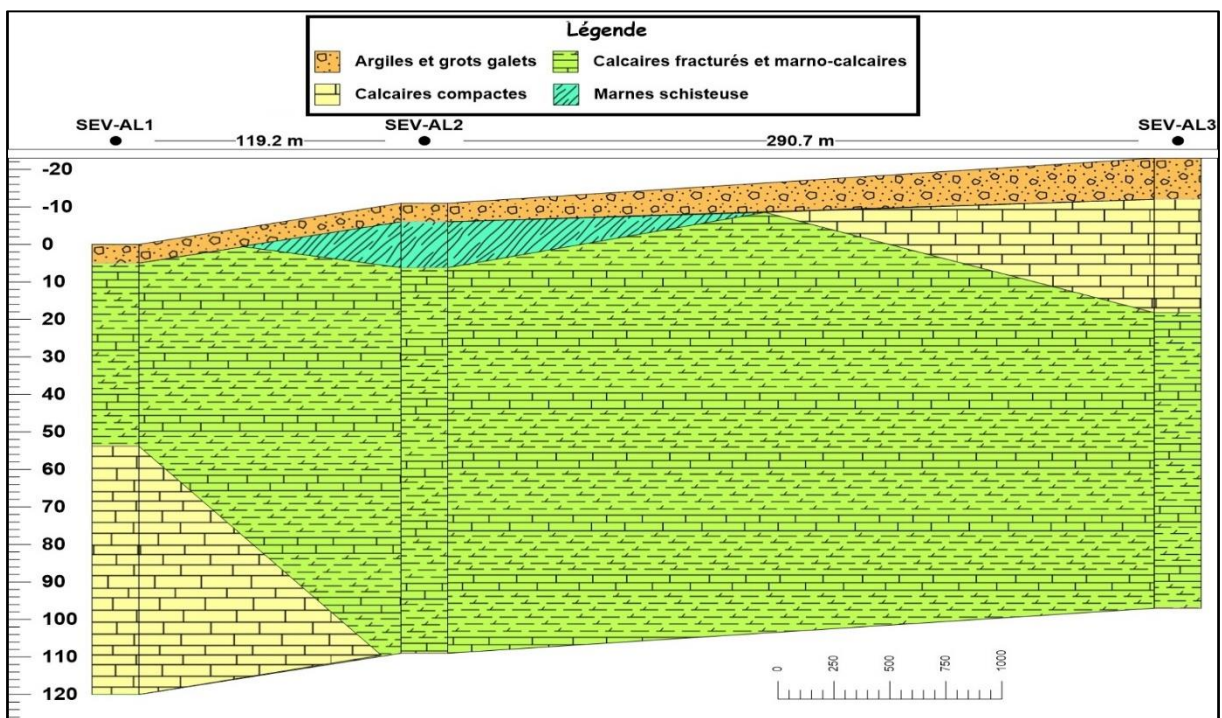


Figure IV. 4: coupe lithologique selon les SEV d'Aïn L'arbi (AL1, AL2 et AL3)

A partir des trois SEV : AL1, AL2 et AL3 réalisées dans la partie Nord Est de la commune une coupe litho stratigraphique a été réalisées (*Fig. III.4*). L'étude de cette dernière a met en évidence l'agencement vertical des formations géologiques rencontrées dans la commune d'Ain Larbi, Wilaya de Guelma, ainsi que leur rôle hydrogéologique :

- **Couche superficielle (0 à ~5 m) : Argiles et galets.**

La partie sommitale est constituée d'argiles mêlées à des galets. Cette formation présente une perméabilité faible à modérée selon la proportion de matériaux grossiers. Elle assure la couverture et la protection des aquifères sous-jacents, tout en permettant une infiltration partielle des eaux de pluie.

- **Niveau imperméable localisé (~5 à 10 m) : Marnes schisteuses.**

En dessous de la couche superficielle apparaît un mince niveau de marnes schisteuses. Cette formation, faiblement perméable, joue un rôle de barrière, limitant l'infiltration verticale. Elle peut localement provoquer la formation de nappes libre au-dessus d'elle.

- **Formation aquifère principale (0 à ~80-100 m) : Calcaires fracturés et marno-calcaires.**

La partie centrale de la coupe est dominée par des calcaires fracturés et marno-calcaires. Ces roches présentent une forte perméabilité liée à leur fracturation, ce qui en fait l'aquifère majeur de la zone. Les intercalations marneuses peuvent localement réduire la transmissivité, mais n'empêchent pas la circulation générale de l'eau. Cet aquifère est alimenté par les infiltrations directes des précipitations et par les apports latéraux provenant des zones de recharge en amont.

- **Formation profonde (à partir de 60-80 m) : Calcaires compacts.**

La base de la coupe est formée de calcaires massifs compacts, moins perméables que les calcaires fracturés. Ces roches peuvent toutefois contenir de l'eau dans des fissures ou cavités disséminées, jouant ainsi le rôle de réservoir secondaire.

#### **IV.2.3 Synthèse hydrogéologique :**

L'étude met en évidence un système aquifère dominé par les calcaires fracturés et marno-calcaires, qui présentent une forte capacité d'infiltration et de stockage. Les niveaux marneux

et schisteux constituent des horizons imperméables, jouant un rôle essentiel de barrière à l'écoulement vertical et favorisant localement la formation de nappes libres. En profondeur, les calcaires compacts constituent un réservoir secondaire dont la productivité, bien que plus réduite, demeure non négligeable. Le sens probable des écoulements souterrains s'oriente globalement des zones hautes (SEV-AL2) vers les zones plus basses (SEV-AL1 et SEV-AL3), en cohérence avec la topographie et les structures régionales. Ainsi, la coupe lithologique interprétée (Figure ...) traduit un fonctionnement aquifère compartimenté, alimenté par l'infiltration directe des précipitations et par des apports latéraux, offrant un potentiel hydrique intéressant dans les secteurs où les calcaires fracturés sont bien développés et accessibles.

#### IV.2.4 Interprétation des coupes lithologiques de Ras El Maa :

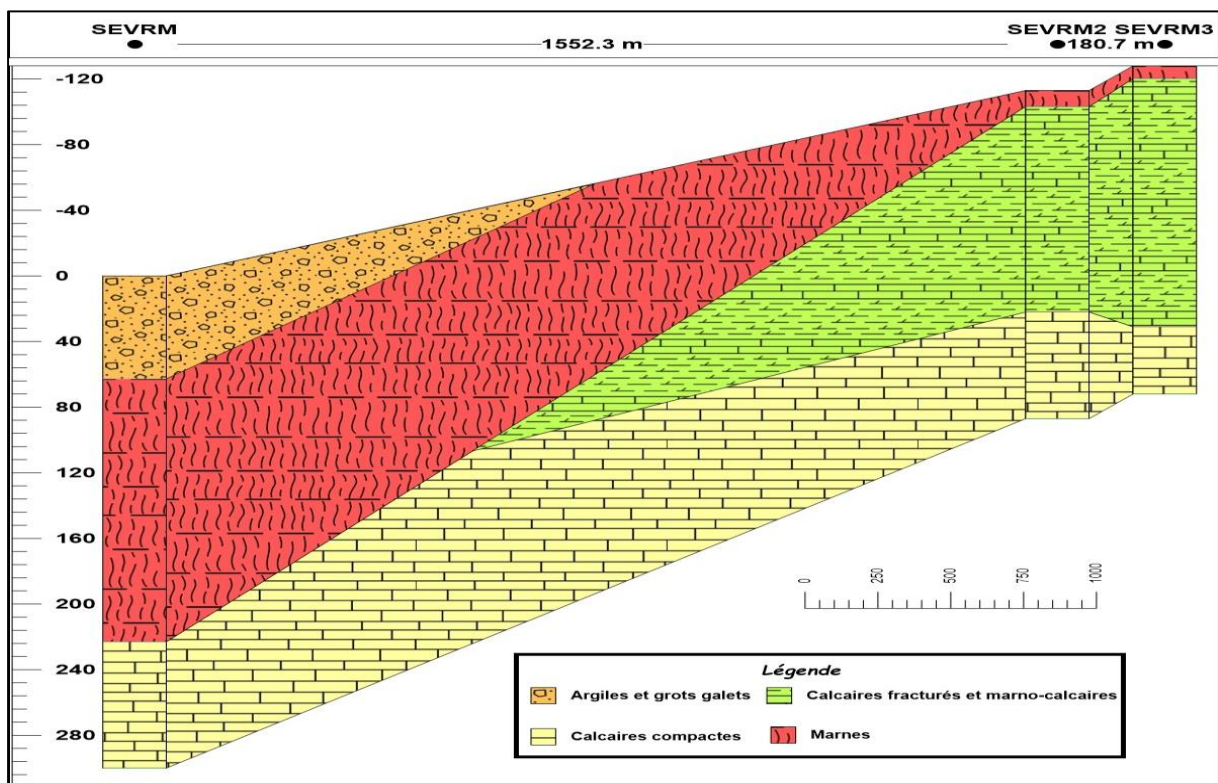


Figure IV. 5: coupe lithologique selon les SEV d'Ain L'arbi (RM1, RM2 et RM3) .

L'analyse de la coupe lithologique, (Fig. III.5) établie à partir des sondages électriques verticaux (SEV RM1, RM2 et RM3) réalisés dans la zone de Ras El Maa (commune d'Aïn Sandel), met en évidence la succession verticale des formations géologiques et leur rôle dans la circulation des eaux souterraines. Cette interprétation permet d'identifier les principaux niveaux aquifères et les horizons imperméables qui structurent le système hydrogéologique local.

- **Couche superficielle : Argiles et galets (~0 à 20-40 m) :**

La partie sommitale est constituée d'argiles mêlées à des galets. Cette formation présente une perméabilité faible à modérée selon la proportion de galets. Elle agit principalement comme une couche de couverture et de protection des aquifères sous-jacents, limitant l'infiltration directe des eaux de surface.

- **Formation marneuse (~40 à 200 m) :**

Sous la couche superficielle se trouve un épais niveau de marnes. Cette formation est imperméable et joue un rôle de barrière majeur, empêchant la circulation verticale de l'eau et compartimentant les aquifères. Elle limite considérablement la recharge verticale des aquifères profonds.

- **Calcaires fracturés et marno-calcaires :**

Localisés principalement à l'extrémité droite de la coupe et en amont, ces calcaires présentent une forte perméabilité grâce à leur fracturation. Ils constituent l'aquifère principal de la zone, offrant une grande capacité de stockage et de circulation de l'eau souterraine. Leur recharge se fait par infiltration directe dans les zones affleurantes et par circulation latérale.

- **Calcaires compacts (base et zones profondes) :**

En profondeur, les calcaires massifs compacts forment un substratum aquifère secondaire. Leur perméabilité est généralement faible, limitée aux fissures et aux joints de stratification. Ils jouent un rôle de réservoir secondaire capable de stocker de l'eau sur le long terme.

#### **IV.2.5 Synthèse hydrogéologique :**

Le système aquifère de la commune d'Aïn Larbi est dominé par les calcaires fracturés et marno-calcaires, qui offrent une bonne capacité de stockage et de transmission des eaux souterraines. Les niveaux marneux, épais et discontinus, constituent des horizons imperméables qui compartimentent localement les écoulements et réduisent la connectivité entre réservoirs. En profondeur, les calcaires compacts jouent le rôle de réservoir secondaire : leur productivité demeure limitée, mais leur capacité de stockage à long terme pourrait représenter une ressource d'appoint. La recharge s'effectue principalement dans les zones affleurant es des calcaires fracturés, identifiées comme prioritaires pour l'implantation d'ouvrages de captage. Néanmoins, le sens de circulation souterraine, supposé orienté des zones hautes vers les zones

basses, reste à confirmer par des études hydrodynamiques détaillées. La coupe lithologique illustre un contexte marqué par une forte hétérogénéité, où les discontinuités marneuses complexifient la dynamique des écoulements. Ces observations soulignent la nécessité de recherches complémentaires portant sur la quantification des bilans hydriques, la modélisation des circulations et l'évaluation de la durabilité des ressources aquifères face aux pressions climatiques et anthropiques.

En somme, le système aquifère d'Aïn Larbi se caractérise par une productivité contrastée et une forte hétérogénéité, dont la compréhension approfondie et la gestion durable nécessitent des investigations hydrodynamiques et hydrochimiques complémentaires

### **IV.3 Les eaux souterraines de la région d'étude :**

Les infiltrations d'eau sont jugées parfois faibles malgré la présence du crétacé supérieur, formation géologique au qu'elles s'ajoutent les dalles calcaires de l'éocène inférieur. En effet les bancs de calcaires fortement redressés et fractionnés ne lui confèrent pas une grande capacité d'emmagasinement d'eau. Il est néanmoins enregistré au niveau du contact entre marne et calcaires des sources parfois assez importantes, telle que Ain Aouadj 1 et Aouadj 2, environ 20 l/s, (d'après les services de l'hydraulique de Ain Makhloof).

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du bassin. Sur la base de la carte géologique, des observations sur terrain), et celles rendues accessibles aux services techniques et sanitaires de la commune de Ain Larbi. Nous tenterons d'identifier les ressources souterraines en eau de la région d'étude, y compris les horizons aquifères existants Ces horizons peuvent être classés comme suite :

- Le système aquifère karstique inclue 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.

### IV.3.1 Inventaire et répartition des points d'eau :

L'alimentation en eau potable de la commune d'Aïn Larbi repose principalement sur cinq sources et un forage, dont le réseau de distribution est géré par l'APC. À cela s'ajoutent d'autres sources ainsi que quelques puits aménagés, qui contribuent à l'approvisionnement des populations dispersées dans la zone d'étude. En plus des cinq sources initiales, un ensemble de quinze autres sources pérennes, caractérisées par des débits importants, a été retenu. Au total, vingt sources ont ainsi fait l'objet d'une étude et d'un suivi hydrochimique.

#### IV.3.1.1. Les forages :

Dans la commune d'Aïn Larbi, un seul forage a été réalisé par les services de l'APC. Son débit théorique est estimé à 12 l/s, avec un débit exploitable de l'ordre de 10 l/s. Ce forage est destiné principalement à l'alimentation en eau potable (AEP) de la communauté locale

#### IV.3.1.2 Les puits :

Le nombre de puits reste limité dans la région. Quelques ouvrages sont disséminés à travers les mechtas, où ils assurent l'approvisionnement en eau des populations locales. Ces puits présentent des débits généralement significatifs, mais soumis à des variations saisonnières marquées entre les périodes de hautes et de basses eaux.

Tableau IV. 2: Inventaire des puits d'Ain Larbi.

N° du point d'eau	Nom du point d'eau	X	Y
P1	Nakhla	7.39	36.22
P2	Touil Abd Elhamid	7.14	36.22
P3	Rebai Said	7.447	36.228
P4	Sammoudi Ammar	7.4067	36.2898
P5	Derouche Brahim	7.3172	36.234
P6	Djarout 1	7.2176	36.1743
P7	Djarout 2	7.2173	36.174
P8	Abas Abed el Krim	7.2708	36.1868
P9	Abas Omr	7.271	36.1826
P10	Rbai Mahfoud	/	/
P11	Touil A.El Hamid	/	/
P12	Ben Said Messoud	/	/
P13	Mansouri Rabai	/	/
P14	Hsasseni Boubaker	/	/

### IV.3.1.3 Les Sources :

La commune d'Aïn Larbi compte plus d'une soixantaine de sources, principalement situées en milieu rural, qui assurent l'alimentation en eau des populations et de leur bétail. Dans le cadre de cette étude, un groupe de sources a été retenu comme particulièrement important, sur la base de données antérieures relatives au débit et à ses variations saisonnières (Tableau IV.2). Il convient de souligner que deux de ces sources sont de nature thermale.

Le débit d'une source est essentiellement conditionné par trois paramètres principaux : la perméabilité des formations aquifères, l'aire d'alimentation de l'aquifère et l'importance des apports pluviométriques. La majorité des sources de la région présente ainsi des fluctuations notables de débit, directement liées aux variations saisonnières des précipitations.

*Tableau IV. 3: Inventaire des sources d'Ain Larbi.*

Code	Nomenclature	Altitude	Latitude	Longitude	Q L/S
S1	Ain Fras	833	36 13 967	7 23 511	0.06
S2	Ain Djmai	1089	36 14 370	7 27 114	0.5
S3	Gabel el karmal Ouled Beri	935	36 14 075	7 24 889	0.33
S4	Kef Bakhouche	921	36 15 684	7 27 053	0.5
S5	Nakib Houcine	860	36 17 448	7 22 907	0.5
S6	Ain Oum El touam	895	36 16 097	7 23 806	0.33
S7	Ain Bouamine	835	36 16 718	7 27 643	0.07
S8	Hamam Behacheni	696	36 14 101	7 20 219	0.13
S9	AinEl Daba	640	36 14 602	7 18 821	0.5
S10	A.Elbeni	1115	36 13 596	7 27 550	0.45
S11	Aouadj 1	832	36 25	7 423	20
S12	Aouadj 2	973	36 244	7 443	13
S13	Ain Dalia	710	36 237	7 338	Très important
S14	Ain Ramdani	876	36 241	7 412	6
S15	Kef Besbes	942	36 13 193	7 24 023	
S16	Guebekl el Karma2 Rmadenia	871	36 14 369	7 24 837	0.5
S17	Bir Youcef	985	36 16 294	7 26 207	0.25
S18	Ain Babouche	903	36 16 003	7 2 2873	0.5
S19	Hammam Guerfa	836	36 16 902	7 27 103	1
S20	Kef el Nhal	657	36 14 820	7 20 415	0.027
S21	Ain Nezzar	781	36 33 26	7 36 24	
S22	Ain Sidi Abd El Hafid	617	36 34 16	7 35 25	
S23	Madjen El Bordj	787	36 32 97	7 35 49	

S24	Ain Guelmi	877	36 33 30	7 37 08	
S25	Ain Siaaoui	1040	36 33 66	7 38 13	
S26	Ain El Hofra	718	36 29 98	7 32 70	
S27	Ain SAndouk	977	36 30 42	7 37 83	
S28	Ain Ftouh	860	36 30 68	7 39 89	
S29	Ain Karmet Zkougou	1070	36 30 74	7 37 21	
S30	Ain Karma(1) Kaf Sabih	1072	36 03 07	7 3 75	
S31	Ain Ammar	1060	36 37 8	7 36 65	
S32	Ain Abbas	948	3626 21	7 45 35	
S33	Ain Nezzar	781	36 33 26	7 36 24	
S34	Ain Kati	811	36 28 86	7 35 91	
S35	Ain Maâlem	777	36 23 5	7 35 76	
S36	Ain Rebbahi	620	36 27 92	7 33 19	
S37	Ain Kafi	847	36 33 16	7 36 83	
S38	Madjen El Bordj	787	36 32 97	7 35 49	
S34	Ain Oum Hani	851	36 23 37	7 39 55	
S35	Ain Addhar		36 22	7 4	0,6
S36	Aain Chiaoui	950	36,21 9	7 4	0,4
S37	Ain Djenane	910	36 21 7	7 39	
S38	Ain Djenane	910	36 2 17	7 39	
S39	Ain Addhar	1029	36 22	7 4	0,6
S40	Ain Djemel	741	36 24 47	7 39 46	
S41	Ain Hssasni	857	36 22	7 37	
S42	Ain Elbordj	775	36 28 02	7 35 73	très important
S43	Ain Araïma 7.369	774	36 25 8	7 36 9	
S44	Ain Rebbahi	620	36 27 92	7 33 19	
S45	Ain El Fadj 36,222	1061	36 22 2	74 14	
S46	Ain Nouedre	1031	36 22 3	7 42 5	
S47	Ain Souk 7,351 36,237	714	36 23 7	7 35 1	

#### IV.4 Conditions géologiques d'émergences des sources thermales :

##### ➤ Sources thermales de Hammam Belhacheni :

Les sources de H. Belhacheni située à 10 km de Ain Makhlouf et à 10 km de Ain El Arbi, du point de vue physique, il est situé à 700 m d'altitude dans une cuvette où les **pent**es sont très fortes sur les versants. 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 des massifs calcaires à la faveur d'une faille ou pli-faille marquée par la présence de marnes noires et d'argiles grises à gypses parfois rougeâtre à conglomérats, cette source est caractérisée par un régime constant durant toute l'année avec un débit de **15 l/s**, la température est d'environ **68° C**, les eaux sont incolores avec une odeur de soufre (dégagement de H<sub>2</sub>S) (Dib 1985). Il est classé parmi les sources sulfatées calcique. L'aquifère à lequel se rattache notre émergence est situé à plus de 1000m de profondeur (ANRH Annaba).

➤ **La source thermale de Hammam Guerfa :**

Distante d'environ 7 Km du chef-lieu de la commune, et à 500 m de la rive gauche de l'Oued Chaniour situé sur un paysage de plaines (altitude moyenne de 640 m), c'est une source chaude de 50°C de débit appréciable, environ 11l/S, il est utilisé principalement par les populations locales pour des traitements thérapeutiques divers (peau, rhumatisme). Elle porte dans des travertins et des tufs hydrothermaux du Quaternaire avec une pente importante. L'émergence vient au jour par une faille ou pli- faille marquée par la présence des marnes éco-crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains éocènes. Lors des séismes, l'eau sort avec une couleur rouge (particules d'argiles) pendant quelques jours, ce qui indique que l'émergence se fait à travers une zone active sur des formations tendres (gypses à conglomérats), les eaux de cette source présentent les mêmes caractéristiques organoleptiques que celles de H. Belhacheni.

l'aquifère à lequel se rattache notre émergence est situé à plus de 1000 m de profondeur (ANRH Annaba).

Les eaux thermales de Hammam Guerfa sont sulfatées cal ciques et proviennent sans aucun doute d'un réservoir carbonaté profond.



Photo.5 :*Hammam Guerfa.*



*Hammam. Belhacheni.*

**Conclusion :**

L'étude hydrogéologique de la commune d'Aïn Larbi a permis de mettre en évidence la diversité des systèmes aquifères qui composent la région. Les calcaires karstiques éocènes du Djebel Mouileh constituent l'aquifère principal, à forte capacité d'infiltration et de stockage, tandis que les formations alluvionnaires quaternaires assurent une alimentation locale mais limitée. Les grès numidiens présentent une perméabilité réduite, expliquant le caractère temporaire de nombreuses sources. Les sources émergentes, dont Aouadj 1 et 2, fournissent une part essentielle de l'alimentation en eau potable de la commune, avec des débits relativement constants. Les sources thermales de Belhacheni et Guerfa révèlent quant à elles l'existence de réservoirs profonds, liés à une tectonique active. La combinaison des données géologiques, hydrogéologiques et géophysiques met en évidence un système complexe, où les failles et les discontinuités structurales conditionnent la circulation des eaux souterraines. Dans cette optique, la réalisation d'études géophysiques plus approfondies et la mise en place d'un suivi piézométrique régulier apparaissent comme des perspectives indispensables pour optimiser l'exploitation et la protection durable des ressources en eau souterraine.

## **Chapitre V :Qualité des eaux de sources de la région d'étude**

## **INTRODUCTION :**

La vie dépend de l'eau, sa préservation et sa protection contre les agents contaminants devient indispensable. Ainsi, la question de la potabilité des eaux de surface ou des nappes phréatiques représente un défi majeur pour l'humanité. En effet, une eau respectant les normes, n'est pas dépourvue de polluants, mais que leurs concentrations a été jugée assez faible pour ne pas mettre en péril la santé du consommateur. (OMS 2017).

Selon les estimations, environ un tiers de la population mondiale dépend des eaux souterraines pour boire (PNUE 1999), (Adimalla N., Venkatayogi S. 2018), (Adimalla N. et al., 2020).

Cependant, sur l'utilisation totale des eaux souterraines, 65 % sont utilisés pour la boisson, 20 % pour l'irrigation et l'élevage, et 15 % pour les activités minières et industrielles, (Adimalla N. et al., 2020), (Saeid S. et al., 2018).

L'eau est essentielle à la vie et joue un rôle clé dans le développement socioéc-onomique des nations, aussi bien au niveau local qu'au niveau national.

Dans le Nord de l'Afrique, où la rareté de l'eau est un enjeu prépondérant,

l'importance de l'eau pour le progrès économique s'avère encore plus cruciale. Cependant, la gestion efficace de cette ressource ne peut être réalisée sans une compréhension globale de tous les facteurs qui régissent son évolution spatiale et temporelle (Brahmi et al., 2021 ; Kallel et al., 2018).

En Algérie, la multiplication des besoins en eau liée principalement à l'expansion démographique, l'exploitation irrationnelle des ressources, le développement des activités économiques et agricoles, a considérablement augmenté la demande en eau. (Kiniouar et al. 2017, Hamlat et al. 2013, Kahlerras et al. 2018).

L'eau est un constituant essentiel du développement durable, étant donné qu'elle contribue de manière primordiale dans le fonctionnement de tous les écosystèmes. Privé de sa présence, la vie se transformerait en péril, ce qui ferait de son existence un élément crucial pour toute activité socio-économique, remontant aux premières nations humaines. Cependant, dans les régions au climat aride ou semi-aride, comme l'Algérie, répondre à la demande toujours croissante en eau domestique, agricole et industrielle est devenu de plus en plus difficile en raison de la croissance démographique et de l'insuffisance de l'approvisionnement en eau (UNESCO 2023).

De plus, l'exploitation excessive des ressources naturelles, couplée à l'intensification des activités humaines, a entraîné une grave dégradation de la qualité des eaux souterraines (Amadou et al.2014). Cela a abouti à une baisse de la disponibilité de l'eau potable et salubre, mettant en péril la santé humaine et bloquant le progrès socio-économique.

La qualité de l'eau potable est de plus en plus remise en question du point de vue de la santé depuis de nombreuses décennies (Garg VK et al., 2009). Par conséquent, l'eau potable est un besoin fondamental du développement humain, de la santé et du bien-être et, par conséquent, un droit humain internationalement accepté.

La qualité de l'eau souterraine est influencée par divers éléments, comme la composition chimique de l'eau qui s'infiltre, les propriétés géologiques de l'aquifère, le type de tubage utilisé, les zones de recharge et d'écoulement ainsi que les actions humaines. (Frape et al., 1984). Parmi ces facteurs, la dissolution des minéraux de l'aquifère dans l'eau est le principal processus qui contrôle la composition chimique des eaux souterraines.

La qualité des eaux souterraines est cruciale car elle affecte la santé humaine, l'environnement, la vie aquatique et la croissance économique à long terme. Pour planifier et gérer correctement les ressources en eau souterraine, une évaluation de l'état géochimique de l'eau souterraine est nécessaire (Elubid AB et al., 2019).

Dans la méthode traditionnelle ; la qualité acceptable de l'eau souterraine pour la consommation, a été évaluée en comparant les résultats obtenus pour divers paramètres physicochimiques avec les valeurs des recommandations pour l'eau potable de l'Organisation mondiale de la santé. (OMS, 2022) in (Messaoud Abidi Saad1 et all 2024).

Les processus hydrochimiques qui se produisent dans le système hydrogéologique comprennent la dissolution, les précipitations et l'échange de bases, et sont responsables de l'acquisition de la qualité de l'eau. Ces processus dépendent du temps de séjour de l'eau souterraine, qui contrôle l'évolution de sa composition chimique (Apodaca et al., 2002).

La présente étude vise à évaluer la qualité de l'eau pour la consommation et l'irrigation . Les objectifs principaux de la présente étude sont d'identifier le faciès chimique des eaux souterraines, d'évaluer leur potabilité physicochimique et bactériologique, ainsi que leur aptitude à l'irrigation et de déterminer les processus géochimiques dominants et les facteurs contrôlant les caractéristiques hydrogéochimiques des eaux souterraines dans la région d'Ain Arbi, située dans la Wilaya de Guelma.

L'utilisation de diverses techniques statistiques et de modélisation, telles que l'analyse en composantes principales (ACP), la modélisation PHREEQC, sera utilisée pour identifier les différents processus géochimiques qui influencent les propriétés physicochimiques des eaux souterraines.

Évaluer les paramètres de l'eau potable à l'aide de l'approche SIG. De plus, l'étude des paramètres qui affectent les sols et les plantes, tels que la conductivité électrique (CE), le taux d'adsorption du sodium (SAR), le pourcentage de sodium (Na%), le bicarbonate de sodium résiduel (RSBC), la salinité potentielle (PS), le risque de magnésium (MH), le rapport de Kelly (KR) et l'indice de perméabilité (IP), a permis d'évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.

D'autre part, l'WQI est reconnu comme une stratégie améliorée qui utilise un ensemble d'indicateurs et réduit la qualité de l'eau à une seule valeur (Saeedi et al., 2010).

L'utilisation de techniques hydrogéochimiques classiques telles que les diagrammes de Piper, Scholler, le diagramme de chadha et les diagrammes de Gibbs a permis d'identifier les processus régissant la minéralisation des eaux sous terraines de l'aquifère de Ain Larbi.

Les résultats de cette étude fourniront des informations utiles aux décideurs politiques et aux gestionnaires des ressources en eau pour élaborer des mesures appropriées visant à protéger et à gérer les ressources en eaux souterraines de manière durable. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente partie de la thèse qui s'intéresse à la qualité des eaux souterraines, sur la base des résultats des analyses physico-chimiques, bactériologiques effectuées en janvier et juillet 2022. L'interprétation des résultats de ces analyses par les différentes méthodes permettra de visualiser les variations des éléments physico-chimiques et bactériologiques dans la zone d'étude.

### V.1 Inventaire des points de prélèvements :

Le choix de ces sites est basé sur les eaux des sources pérennes, leur accessibilité et la présence ou non de sources de pollution susceptibles de modifier la qualité des eaux.

La désignation des points de prélèvements, avec leurs coordonnées géographiques sont résumés dans le (tableau VI.1).

*Tableau V. 1: Localisation des points de prélèvements.*

Code	Nomenclature	Altitude	Latitude	Longitude
S1	Ain Fras	833	36 13 967	<u>7 23 511</u>
S2	Ain Djmai	1089	36 14 370	7 27 114
S3	Gabel el karma1 (Ouled Beri)	935	36 14 075	7 24 889
S4	Kef Bakhouche	921	36 15 684	727 053
S5	Nakib Houcine	860	36 17 448	7 22 907
S6	Ain Oum El touam	895	36 16 097	7 23 806
S7	Ain Bouamine	835	36 16 718	7 27 643
S8	Hamam Behacheni	696	36 14 101	7 20 219

S9	AinEl Daba	640	36 14 602	7 18 821
S10	A.Elbeni	1115	36 13 596	7 27 550
S11	Aouadj 1	832	36 25	7 423
S12	Aouadj 2	973	36 244	7 443
S13	Ain Dalia	710	36 237	7 338
S14	Ain Ramdani	876	36 241	7 412
S15	Kef Besbes	942	36 13 193	724 023
S16	Guebekl el Karma2 (Rmadenia)	871	36 14 369	7 24 837
S17	Bir Youcef	985	36 16 294	7 26 207
S18	Ain Babouche	903	36 16 003	7 2 2873
S19	Hammam Guerfa	836	36 16 902	7 27 103
S20	Kef el Nhal	657	36 14 820	7 20 415

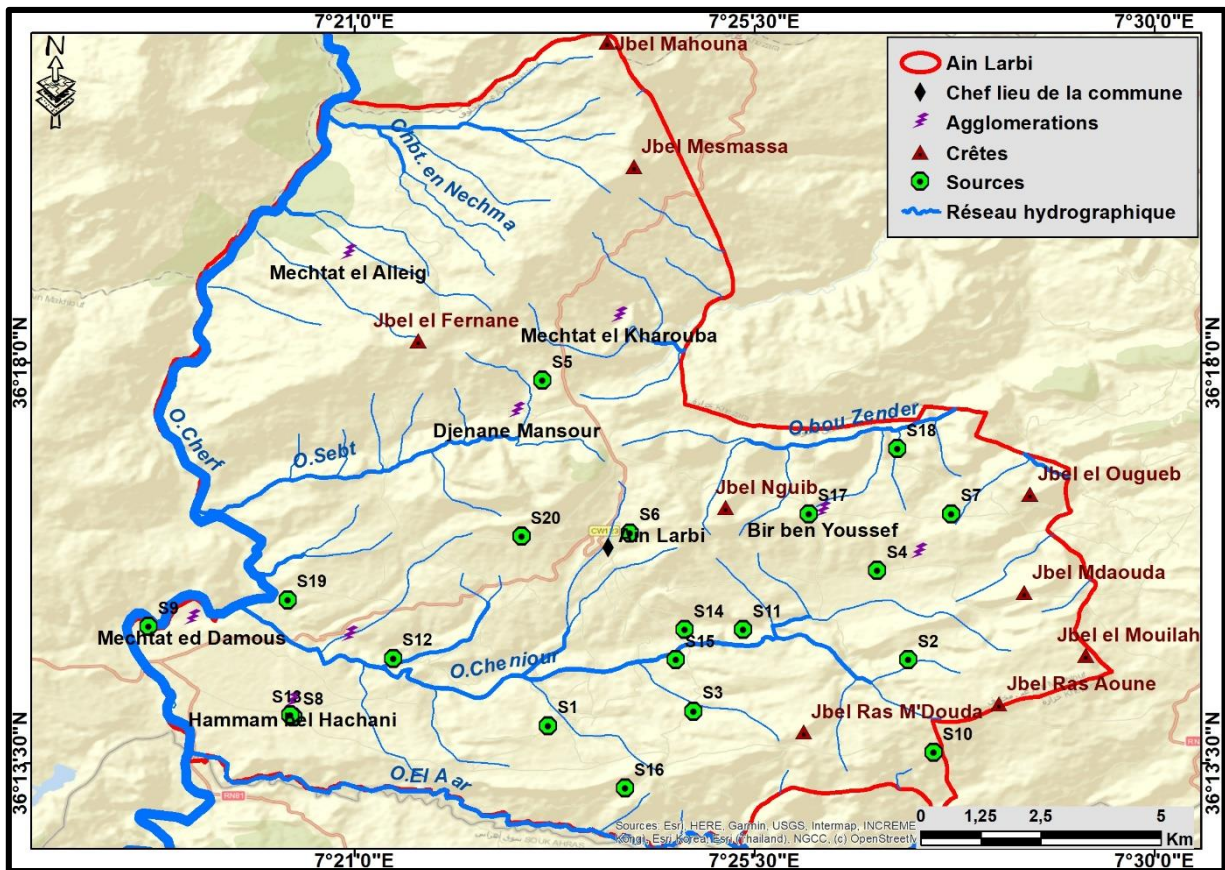


Figure V. 1: Carte de situation des points de prélèvements.

- Sources d'approvisionnement en AEP :
- **Source Ain Fras (S1)** : se situe dans la partie Sud de la commune débite un volume d'eau de 3 l/s, alimente quelques zones avoisinantes.

- **Source Aouadj 01 (S11)** : se situe à l'Est ; débite un volume d'eau de 4 l/s, alimente les zones éparses limitrophe.
- **Source Aouadj 02 (S12)** : débite un volume d'eau de 20 l/s, alimente les zones éparses limitrophe se localise dans la partie Est.
- **Source Ain Dalia (S8)** : débite un volume d'eau de 5 l/s, approvisionne la zone de Hammam Belhachani. Elle est située à l'extrême Sud avec la limite de la commune d'Ain Makhlouf.
- **Source Ain Djmai (S2)** : le volume d'eau débité est de l'ordre de 4 l/s destiné à l'alimentation de Mechta Ain Baida.
- **Source Oum Touam (S6)** : se situe au centre de la commune, alimente l'agglomération de Ain Larbi centre.
- **Sources thermales :**
- **Sources de Hammam Belhacheni (S8)** : située à 10 km d'Ain Makhlouf et à 10 km de Ain El Arbi, 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 massifs calcaires à la faveur d'une faille ou pli-faille marquée par la présence de marnes noires et d'argiles grises à gypses parfois rougeâtre à conglomérats. Cette source est caractérisée par un régime constant durant toute l'année avec un débit de **15 l/s**, les eaux sont incolores avec une odeur de soufre (Bouaicha. F 2018).
- **Source de Hammam Guerfa (S19)** : sort dans des travertins et des tufs hydrothermaux du Quaternaire avec une pente importante. Lors des séismes, l'eau sort avec une couleur rouge pendant quelques jours, ce qui indique que l'émergence se fait à travers une zone active au niveau des formations tendres de gypses à conglomérats, les eaux de cette source présentent des caractéristiques organoleptiques (sont les mêmes que celles de Hammam Belhacheni), le débit est de l'ordre de **11 l/s** (Bouaicha. F 2018).



*Photo.6: Source Nakib Houcine (S5).*



*Photo 7: Source Kef Bakhouche (S4).*



*Source Ain Babouche (S20).*



*Photo .8: Hammam Guerfa, S19*



*Photo.9: Source Ain Fras (S1).*



*Photo.10: Source Ain lebnie (S10).*

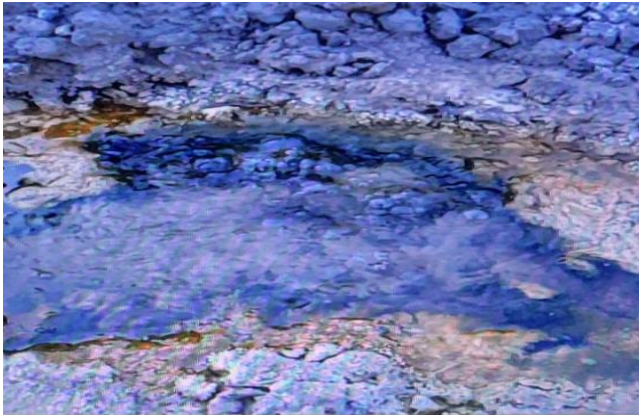


*Photo.11:Source Ain Guebel El Karma 1(S3)*



*Photo.12: Source Ain Guebel El Karma 2 (S16)*





*Photo.13: Source Hammam Belhachani (S8).*



*Photo.14 : Source Ain Djmai (S2).*

## **V.2 : Matériels et méthodes d'analyses :**

Des sorties d'exploration ont été réalisées dans la zone d'étude, dans le but de mieux appréhender le terrain et de sélectionner les sources qui répondront davantage aux objectifs de cette étude. En tenant compte du débit des sources, de leur accessibilité, de leur durabilité et du nombre d'habitants qui les utilisent ; **20** sources sont choisies parmi plus de **70** autres sources réparti à travers le territoire de la commune. L'échantillonnage a été fait durant deux périodes, la première en Janvier 2022 et la seconde en Juillet 2022. Les prélèvements ont été réalisés en utilisant un Multi paramètre de marque WTW pH-mètre WTW, un conductimètre WTW, pour mesurer les paramètres in-situ la température ( $T^{\circ}\text{C}$ ), le pH, l'oxygène dissous ( $\text{O}_2\text{dis}$ ) et la conductivité électrique (CE). Ensuite, les bouteilles d'échantillonnage ont été remplies en respectant les protocoles de prélèvement et d'échantillonnage. Les échantillons d'eau ont été recueillis dans 500 ml de bouteilles en polyéthylène propres. Les bouteilles ont été rincées plusieurs fois par l'eau de source à échantillonner.

Les échantillons ont été stockés dans une glacière à basse température ( $< 5^{\circ}\text{C}$ ) afin d'éviter toute détérioration chimique et biologique (Saha et al. 2019), ensuite transportés au laboratoire, pour les analyses chimiques.

À l'aide de l'appareil GPS (Garmin map 62 Sts), l'emplacement des points de prélèvement a été déterminé, (Tab VI.1).

Les analyses chimiques ont été effectuées sur les principaux éléments responsables de la

minéralisation des eaux, appelés couramment les éléments majeurs ; les cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) et les anions (chlorures, sulfates et bicarbonates, analyses des substances indésirables : Les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les phosphates, les sulfates. Les analyses bactériologiques : ont porté sur les germes indicateurs de pollution qui regroupent les coliformes totaux, les coliformes fécaux, streptocoques fécaux et anaérobisulfato-réducteurs 10 sources seulement ont fait objet d'une analyse bactériologique). Ces sources sont principalement visées vu leurs vulnérabilités vis-à-vis au sujet de contamination répété.

Les coliformes fécaux ont été estimées dans des échantillons d'eau par méthode du multiple tube de fermentation appelé le nombre le plus probable NPP. Pour les différentes analyses des eaux de sources, les erreurs d'analyses ont été tolérées jusqu'à 6 % de la balance ionique.

Au laboratoire, les différents dosages volumétriques et colorimétriques ont été effectués selon Rodier (Rodier et al., 2009), préconisés par les normes ISO (Organisation International De Normalisation) AFNOR et RODIER.

Les paramètres organiques tels-que les nitrites, nitrates, l'ammonium et les phosphates, ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS 6705 JENWAY ; à des longueurs d'onde respectivement de 543 nm, 630 nm et 880 nm pour les nitrites, ammonium et phosphates, les résultats obtenus sont en mg/l. (Rodier. 2009). Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de qualité Berrahmoune Adel, El Bouni, Annaba.

Les deux campagnes de prélèvements (Janvier et Juillet 2022), ont été effectuées afin d'étudier la qualité des eaux de sources, l'origine de la minéralisation et son évolution spatio-temporelle dans la commune d'Ain Larbi, zone intégrante du sous bassin de la Seybouse ; Charef aval (86%) et la moyenne Seybouse (18%). Les prélèvements sont répartis de manière adéquate afin de couvrir de nombreuses zones habitées ; Ain Larbi chef-lieu, agglomérations secondaires et quelques zones éparses.

### **V.3 : Distribution spatiale des paramètres physicochimiques :**

#### **V.3.1 Paramètres physiques mesurés (In situ) :**

Il s'agit des paramètres mesurés sur site, à l'aide d'une valise multi-paramètres de terrain WTW. Multi 340i / SET, pouvant ainsi donner les premières indications sur la qualité des eaux. La conductivité électrique, le potentiel d'hydrogène, température, salinité, l'oxygène dissous et la TDS sont les paramètres mesurés in situ.

### **V.3.1.1 La conductivité électrique :**

La mesure de la conductivité est directement liée à la concentration de la substance ionisée dans l'eau et peut également être liée à des problèmes de dureté excessive et d'autres contaminants minéraux (Alam et al. 2012). C'est une expression de la minéralisation, elle est liée aux interactions « eau-roche » et à la capacité des eaux à dissoudre les minéraux contenus dans les roches. (Apodaca LE, et al. 2002).

Les valeurs des conductivités électriques mesurées dans les eaux de sources, fluctuent entre 361  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 4430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pour les valeurs de conductivités  $\text{CE} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , sont enregistrés au niveau des sources : S2, S3, S10, S14, S15, et S20 tandis que les valeurs de CE supérieures à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sont enregistrés au niveau des sources : S1, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S11, S12, S13, S16, S17, S18 et S19 durant la période des hautes eaux. (Fig VI.3).

Durant la période d'été les valeurs de  $\text{CE} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  sont enregistrées au niveau des sources : S2, S3, S4, S10, S11 S12 S13 S14 S15 S16 S17 S18 et S20. Pour  $\text{CE} > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  les valeurs ont été notées dans les sources S1, S5, S6, S7, S8, S9, S19.

Les valeurs tolérées par L'OMS doivent être inférieure à la norme (1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) pour les eaux de boisson. Cette variabilité dans les valeurs de conductivité est liée peut être aux réservoirs carbonaté et à la dissolution des évaporites du Trias affleurant dans cette partie de la zone d'étude, ce qui indique que le temps de séjour de la majorité des eaux au contact avec la roche est court), présentant ainsi des minéralisations faibles à moyennes (Alam M, et al 2012).

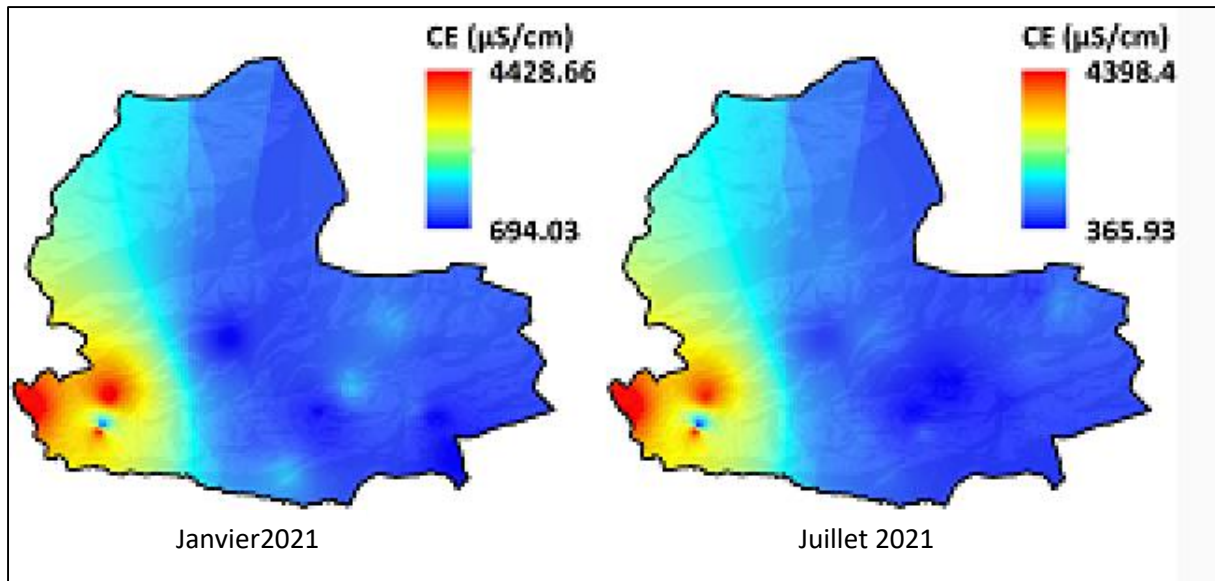


Figure V. 2: Carte de Conductivité électrique (Janvier, Juillet 2022).

### V.3.1.2 L'oxygène dissous :

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à de nombreux facteurs, en particulier la température, la pression atmosphérique et la salinité (Rodier, 2009). Il favorise la croissance des microorganismes qui dégradent la matière organique (OMS, 2017). L'oxygène dissous est nécessaire pour convertir la matière organique biodégradable d'une forme à une autre par des organismes vivants, principalement des bactéries afin de maintenir le processus métabolique et produire de l'énergie pour leur croissance et leur reproduction (Alam et al 2012).

Les résultats des analyses de l' $\text{O}^2$  dissous dans la zone d'étude montrent que la valeur maximale est observée au niveau de S4 (9.74 mg/l) pendant la période de janvier 2021 et S19 (8.83 mg/l). Durant la période de juillet 2021 les valeurs fluctuent entre 5.3mg/l et 8.5mg/l au niveau des autres sources, il est à constater que ces valeurs n'accèdent pas les valeurs guides de 5 à 10 mg/l pour l'eau de boisson (OMS, 2017), ceci nous renseigne sur la bonne santé des eaux de sources du s/ bassin Charef aval. (Chahboune M et al, 2014).

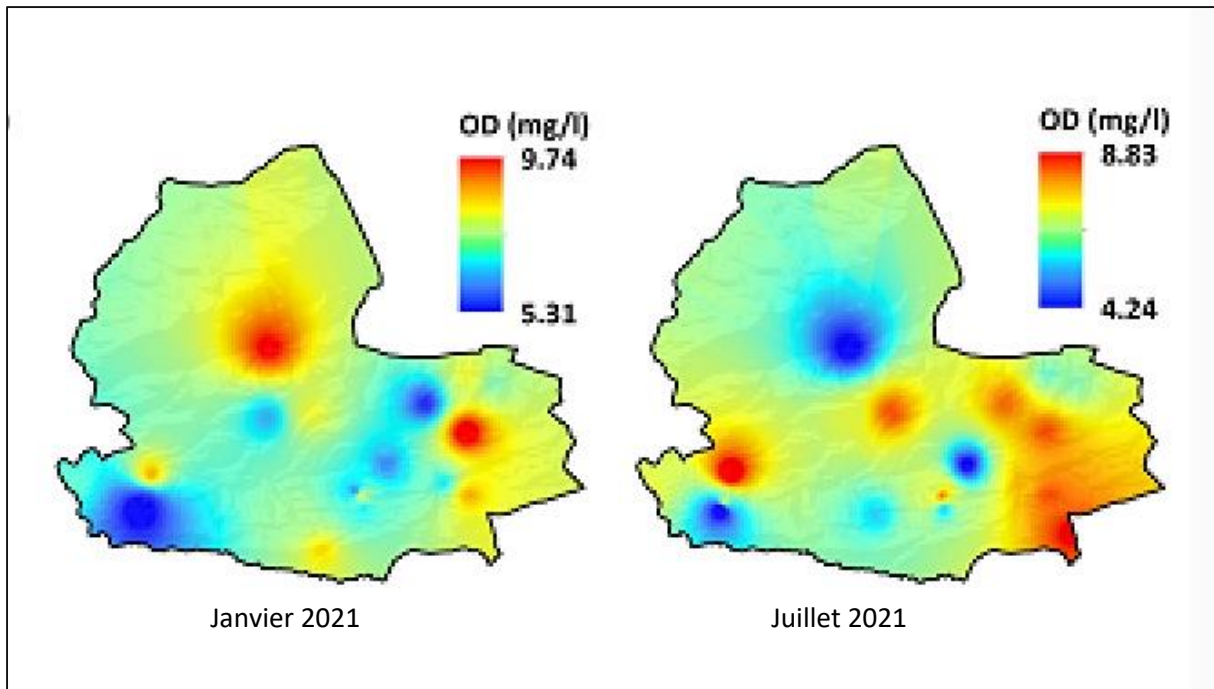


Figure V. 3: Carte de Répartition d'OD (Janvier, Juillet 2022).

### V.3.1.3 Le potentiel d'hydrogène (pH) :

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques en solution dans l'eau. Il est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau (WHO 2011). Le pH des écosystèmes aquatiques est utilisé comme paramètre substitut pour représenter les relations complexes entre la chimie de l'eau et les effets biologiques (Jessries *et al.* 1998 ; Benlatrech et Benslimen, 2002).

Ce paramètre influence fortement les composants de l'eau et les activités biologiques. Aucune valeur guide fondée sur la santé est proposée pour le pH. Bien que le pH n'ait pas généralement d'impact direct sur les consommateurs (WHO 2011).

Tableau V. 2: Echelle du Potentiel d'Hydrogène (Rodier 2009).

pH < 5	Acidité forte, Présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	PH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	Eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité, évaporation intense

Le (pH) de la majorité des eaux de source de la région d'étude répond aux normes de potabilité de l'OMS (6,5 < pH < 8,5), exception faite pour les eaux de la source S10, S18 et S4 ou les

valeurs sont légèrement supérieures à celle recommandée par cette organisation indiquant une alcalinité légèrement élevée de ces eaux.

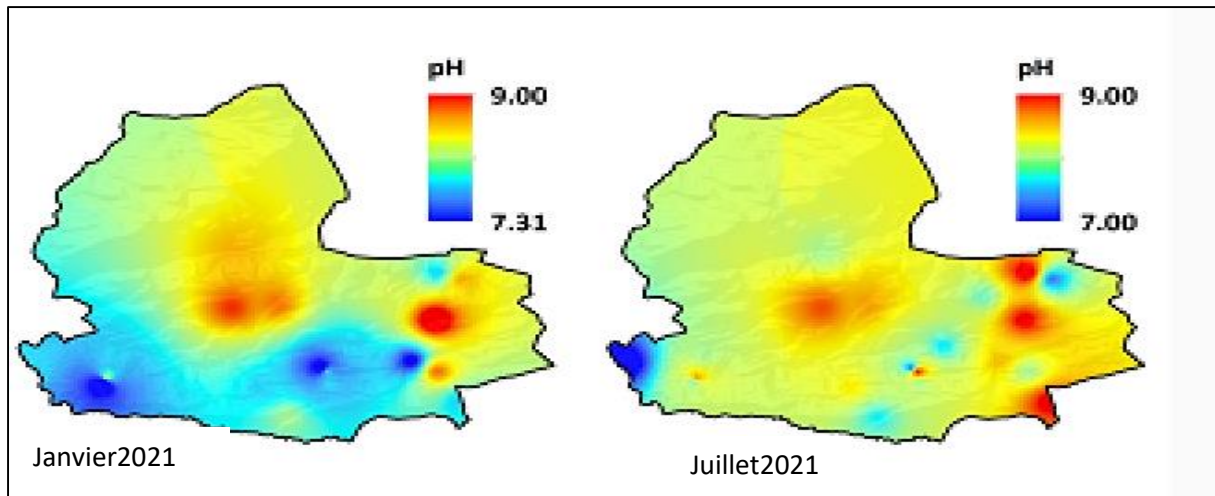


Figure V. 4: Carte de Répartition de pH (Janvier, Juillet 2022).

#### VI.3.1.4 La température (T°) :

La température est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Chapman et al. 1996). Elle est le facteur le plus apprécié pour une eau destinée à la consommation humaine (Gregorio et Pierre-Marie, 2007).

La température de l'eau dépend d'une série des facteurs tels que: la latitude, la saison, l'insolation, la profondeur (la température des profondeurs est généralement plus faible qu'en surface), la couleur de l'eau (une eau sombre absorbe plus fortement la chaleur), le volume de l'eau (plus le volume est élevé moins importantes sont les fluctuations de température), l'origine des eaux (les eaux venant de la montagne sont plus froides que les eaux de ruissellement), les rejets industriels, domestiques qui généralement élèvent la température de l'eau (Angelier, 2000).

Il est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision (Rodier *et al.*, 1996). En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH (Leclerc, 1996), (De Villers J., et al., 2005).

La température de l'eau joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique bactérienne et l'évaporation de l'eau. Elle est l'une des caractéristiques les plus importantes d'un système aquatique qui affectent les niveaux d'oxygène dissous (Rajendran & Mansiya 2015)

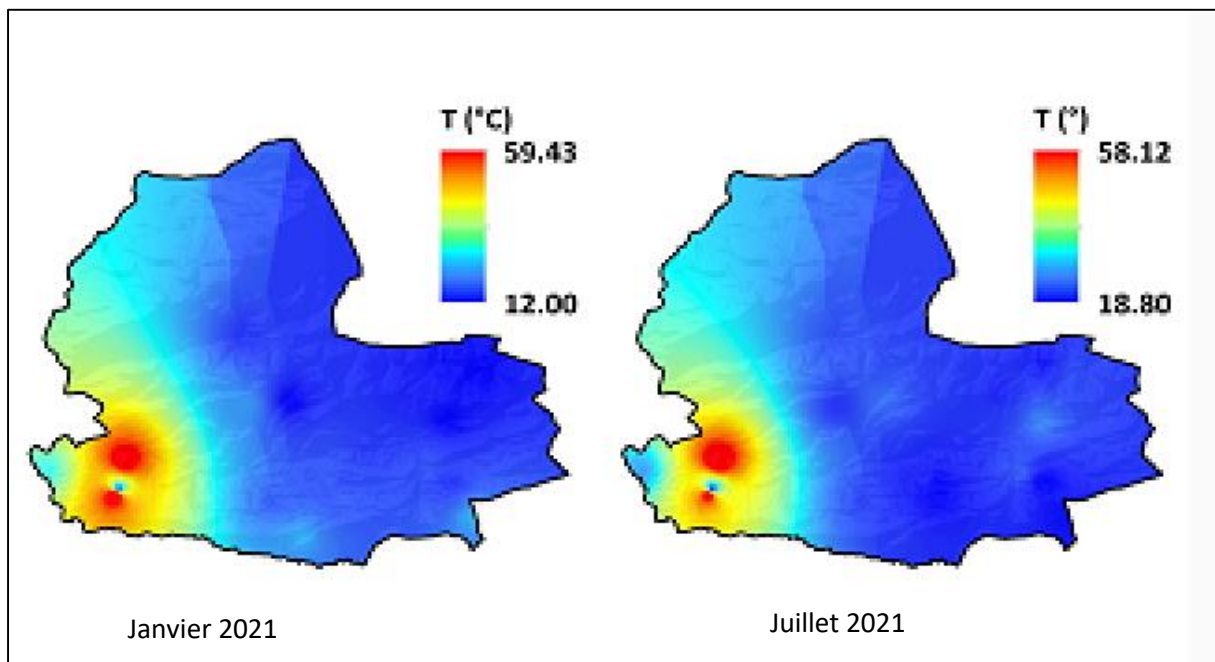
Enfin, la température représente un critère de qualité intrinsèque, notamment pour ce qui est de la ressource en eau potable.

Dans la région d'étude les valeurs de la température oscillent entre 12 et 24°C durant la période hivernal (figure V.7). La température la plus élevée a été enregistrée durant la saison sèche (été) au niveau de la source S4 et S9 respectivement de 24.8°C, et 25.8°C et la plus faible pendant la saison des pluies (hiver) au niveau de la source S4, S6, S7 respectivement 24.8°C, et 23.7°C et 22°C. La plupart des valeurs enregistrées dans notre zone d'étude varient entre bonne à moyenne pendant la période sèche, et reste normales durant la saison humide, ne dépassant pas les normes de potabilité, sauf au niveau des sources thermales.

L'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Monod, 1989) et d'après le tableau (V. 3) , indique que les eaux de la région étudiée sont de bonne qualité pour l'alimentation en eaux potable.

**Tableau V. 4: Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température(Monod, 1989).**

Température	Qualité
< 20 °C	Normale
20 °C – 22 °C	Bonne
22 °C – 25 °C	Moyenne
25 °C – 30 °C	Médiocre
> 30 °C	Mauvaise



*Figure V. 5: Carte de Répartition de Température (Janvier, Juillet 2022).*

### V.3.1.5 Salinité :

Toute eau contient des sels minéraux, acquis lors de son trajet souterrain, cette acquisition se fait soit par la dissolution, soit par échange d'ions avec des terrains traversés. La nature lithologique traversée joue donc un rôle capital dans la détermination des différents éléments à 2.4 chimiques que l'eau peut contenir.

Les mesures effectuées sur la salinité montrent une variabilité des concentrations d'une région à une autre. Elles fluctuent entre 0.3 à 0.8 pour les sources d'eau douce ; de 2.3 à 2.4 pour l'eau thermale pendant la saison humide. Pendant la période sèche, la salinité varie de 0.2 à 0.6 dans les sources d'eau douces et de 2.3 à 2.4 pour l'eau chaude.

### V.3.1.6 Total des sels Dissous (TDS) :

La TDS est définie comme étant le taux des sels dissous, elle est composée des sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans les eaux incluent le  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^{+}$ , et  $Na^{+}$ , qui sont des cations et  $CO_3^{-2}$ ,  $NO_3^{-}$ ,  $HCO_3^{-}$ ,  $Cl^{-}$  et  $SO_4^{2-}$  qui sont des anions. Ces minéraux peuvent provenir d'un certain nombre de sources naturelles ainsi que des activités humaines.

La minéralisation est en fonction de la géologie des terrains traversés, cette quantité influence la conductivité. D'une façon générale, La TDS est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles.

Tableau V. 5 : Grille de classement de la TDS pour les eaux de boisson (Jean-Luc Potelon).

TDS (mg/l)	Qualité de l'eau	Sites correspondants
Moins de 300	Excellent	/
300-600	Bien	S2, S10, S14, S20.
600-900	Passable	S3, S4, S6, S15.
900-1200	Faible	S1, S5, S7, S12, S13, S18
Plus de 1200	Inacceptable	S8, S9, S11, S16, S17, S19.

Les valeurs de la TDS montrent que les très fortes valeurs se localisent au niveau de S8, S9 et S19, dont les valeurs sont de l'ordre de 3731 à 3766 (sources thermales) et fluctuent entre 1263 et 1381 dans les sources S11, S16 et S17 (Inacceptables pour eau de boisson). Pour le reste des points la qualité de l'eau se balance entre bien, passable à faible.

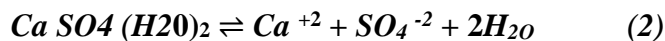
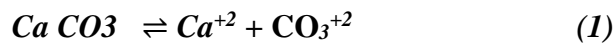
### V..3.2 Paramètres -chimiques mesurés au laboratoire :

Les paramètres concernés par cette étude et analysés au laboratoire sont les Calcium  $Ca^{2+}$ , Magnésium ( $Mg^{2+}$ ), Potassium ( $K^+$ ), Sodium ( $Na^+$ ), Chlorure ( $Cl^-$ ), Bicarbonate ( $HCO_3^-$ ), Nitrate ( $NO_3^-$ ), Nitrite ( $NO_2^-$ ), Ammonium ( $NH_4^+$ ), Phosphate ( $PO_4^{3-}$ ), Sulfate ( $SO_4^{2-}$ )

La zone d'étude, montre des teneurs variables des différents éléments chimiques déterminés d'une source à une autre. L'examen des analyses montre que l'ion  $HCO_3^-$  et  $SO_4^{2-}$  sont prédominant par rapport aux ions  $Ca^{2+}$  et  $Mg$ , alors que les chlorures sont prédominant par rapport aux ions de  $Na + K$  pendant les deux périodes de prélèvement.

#### V.3.2.1 Calcium ( $Ca^{+2}$ ) :

Le calcium ( $Ca^{+2}$ ) dans les eaux souterraines est essentiellement associé à des sources naturelles telles que la dissolution des carbonates ( $CaCO_3$ ) ou la dissolution du gypse ( $CaSO_4$ ) (Debieche 2002) suivant les formules suivantes ;



La concentration maximum acceptable dans l'eau de boisson est de 250 mg/l (OMS 2017).

Dans les eaux de la zone d'étude, la concentration moyenne est de 88,1mg/l. Les teneurs élevées sont enregistrées au niveau des sources S8, S19 et S9 de 150.3 mg/l, 140.3 mg/l et 137.5mg/l respectivement. La teneur en Ca relativement élevée au niveau de la source S8 H. Belhehchani), d'une valeur égale à 150 mg/l est due à la nature lithologique carbonatée de la zone d'émergence où le lessivage des formations calcaires (karst) favorisé par l'importante vitesse d'écoulement.

Les teneurs faibles de Ca, sont dues à l'échange entre les roches calcaires et/ou les dolomies avec l'eau, ou bien à un échange de base avec le sodium, provenant du contact eaux-formations argileuses.

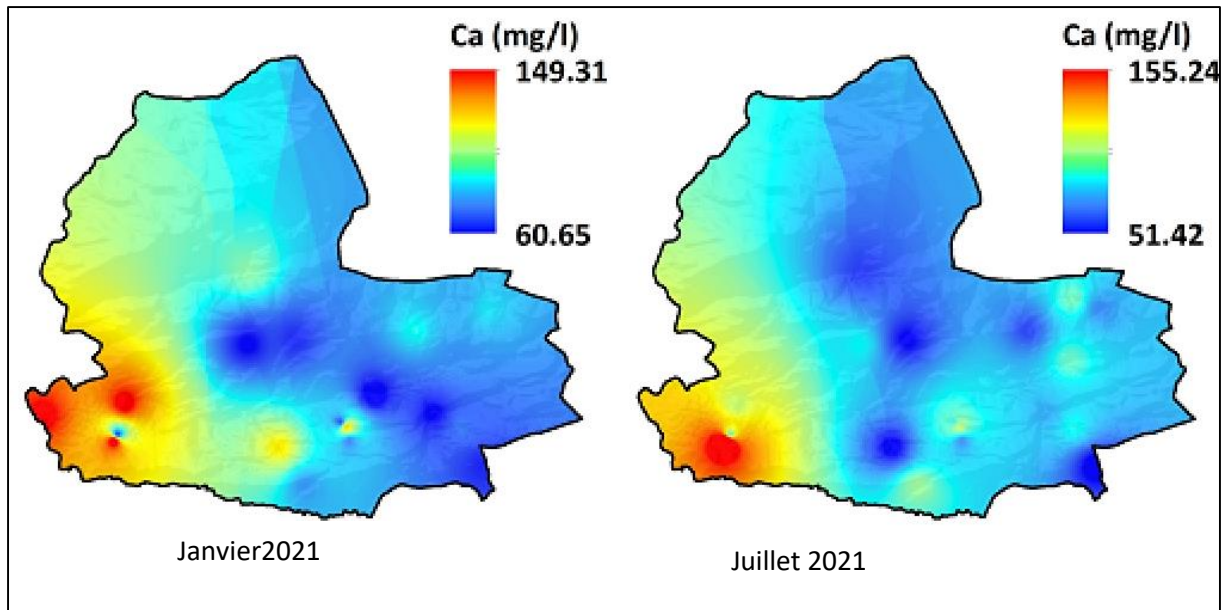
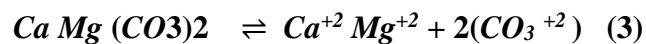


Figure V. 6: Carte de Concentration de  $Ca^{2+}$  (Janvier, Juillet 2022).

### V.3.2.2 Magnésium :

Le magnésium provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneurs en  $Mg^{2+}$  (magnésite, dolomite...etc.) (Gueroui, 2015). Il est aussi lié à la dissolution roches sédimentaires. C'est l'ion le plus répandu dans la nature, il accompagne souvent le calcium dans la nature. La norme acceptable pour la potabilité est de 150 mg/l (OMS 2011). La formule suivante donne son origine :



Dans les eaux de la région d'étude, les concentrations en magnésium sont comprises entre 55.43 mg/l (S19) et 7.22 mg/l (S18) avec une moyenne de 27.88 mg/l (Janvier 21). La dissolution des roches carbonatées et des minéraux magnésiens et l'échange cationique sont à l'origine du magnésium dans les eaux de source.

Les concentrations du magnésium mesurées sont conformes aux valeurs admissibles normes de l'OMS (norme ajouter), on note cependant, que l'évolution des teneurs en  $Mg^{2+}$  est identique à celle du calcium et restent inférieures aux normes de potabilité.

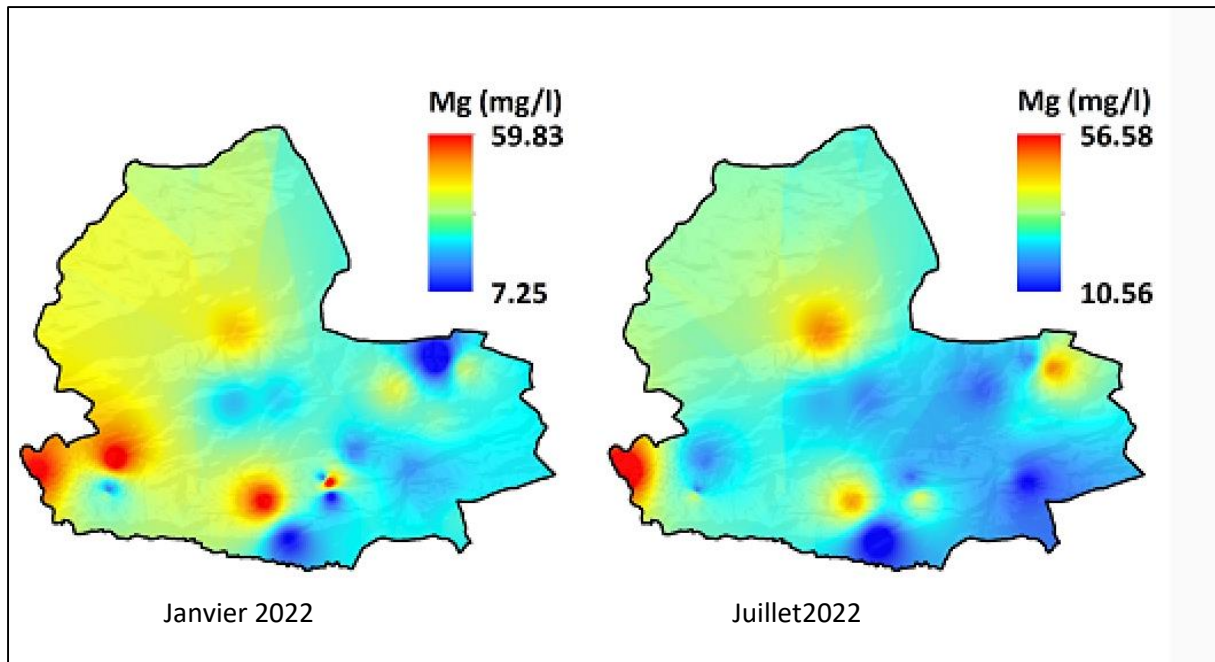


Figure V. 7: Carte de répartition de Concentration de  $Mg^{2+}$  (Janvier, Juillet 2022).

### V.3.2.3 Sodium :

Le sodium constitue 2,83 % des constituants de la croûte terrestre, il présente un degré de dissolution élevé dans l'eau, c'est pour cela qu'il existe dans les eaux superficielles et profondes d'une façon naturelle. En plus les eaux usées domestiques et agricoles contiennent des quantités importantes en sodium.

Il constitue l'un des éléments indispensables pour la croissance des végétaux mais l'augmentation de sa proportion dans l'eau d'irrigation conduit à la diminution de la perméabilité du sol, et à l'augmentation exponentielle de son pH (Elhayek, 1989, Taliouine, 2006).

Le sodium se rencontre toujours associé à d'autres éléments chimiques (chlorures, sulfates...) et il est donc rare qu'il soit isolé. Il trouve son origine soit des eaux marines (obtenu par l'évaporation progressive des marais salants), du sel gemme (chlorure de sodium), des formations marneuses et gypsifères (la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium) ou tout simplement d'un usage industriel. En général, sa concentration dans l'eau de boisson doit être inférieure à 150 mg/l. Dans les eaux souterraines le sodium lié au sel minéral et à la dissolution de formations contenant du chlorure de sodium (Lenntech 2022).

Les teneurs élevées en sodium, sont principalement liées à la dissolution rapide des formations évaporitiques (Halite), remarquée dans les sources ; S8, S9, S19, durant les deux périodes.

La moyenne de la concentration en sodium est d'environ 34.07mg/l. Les teneurs en sodium sont comprises entre 73.82 mg/l (S9) et 17.3mg/l (S5) pendant la période humide, et entre 72 mg/l et 13.44 mg/l avec une moyenne de 26.21mg/l en période sèche. Par conséquent toutes les eaux de sources ont des teneurs inférieures à la norme (150 mg/l).

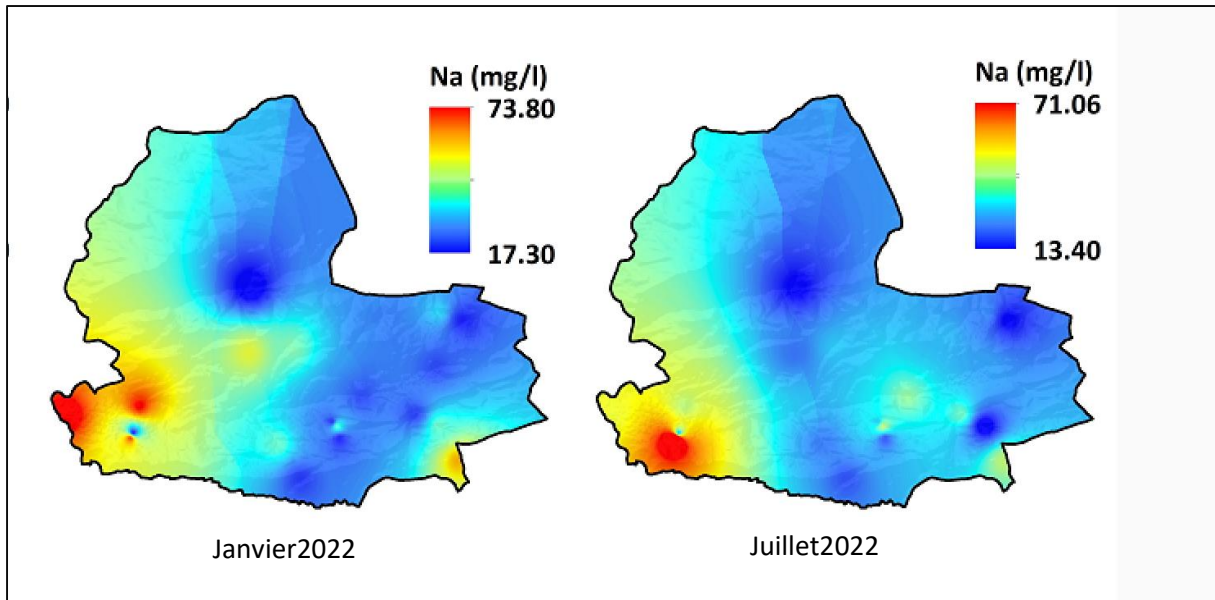


Figure V. 8 : Carte de répartition des Sodium (Janvier, Juillet 2022).

#### V.3.2.4 Potassium :

D'une manière générale, les eaux souterraines présentent rarement des teneurs en Potassium supérieures à 10 mg/l (Parizot, 2008). Ses faibles concentrations ne représentent pas un risque pour la santé humaine, mais il est plutôt très important pour le corps humain (OMS 2017). De plus fortes teneurs peuvent cependant être observées dans des eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en sylvite [KCl].

La principale source de potassium dans l'eau douce naturelle est l'altération des roches, mais les quantités augmentent dans l'eau polluée en raison de l'élimination des eaux usées (Trivedy & Goel 1984). Le potassium provient de l'altération des argiles potassiques. L'épandage des engrais chimiques augmente les concentrations en sodium (Plagnes 1997). Plagnes V. 1997. Structure et fonctionnement des aquifères karstiques. Caractérisation par la géochimie des eaux. (Structure and functioning of karstic aquifers. Water geochemistry characterisation) These de Doctorat, Université Montpellier II, France.

Dans notre secteur d'étude, les apports en K proviennent principalement de la dissolution des formations évaporitiques (Vila et Magné, 1969).

Les concentrations en Potassium observées dans les eaux de source présentent en général des valeurs acceptables par rapport à la valeur limite fixé par l’OMS (12mg/l). Elles sont comprises entre 2.78 mg/l (S19) et 1.02 mg/l (S11) avec une moyenne de 1.62 mg/l. les valeurs du potassium dans les eaux durant les deux campagnes sont assez proches.

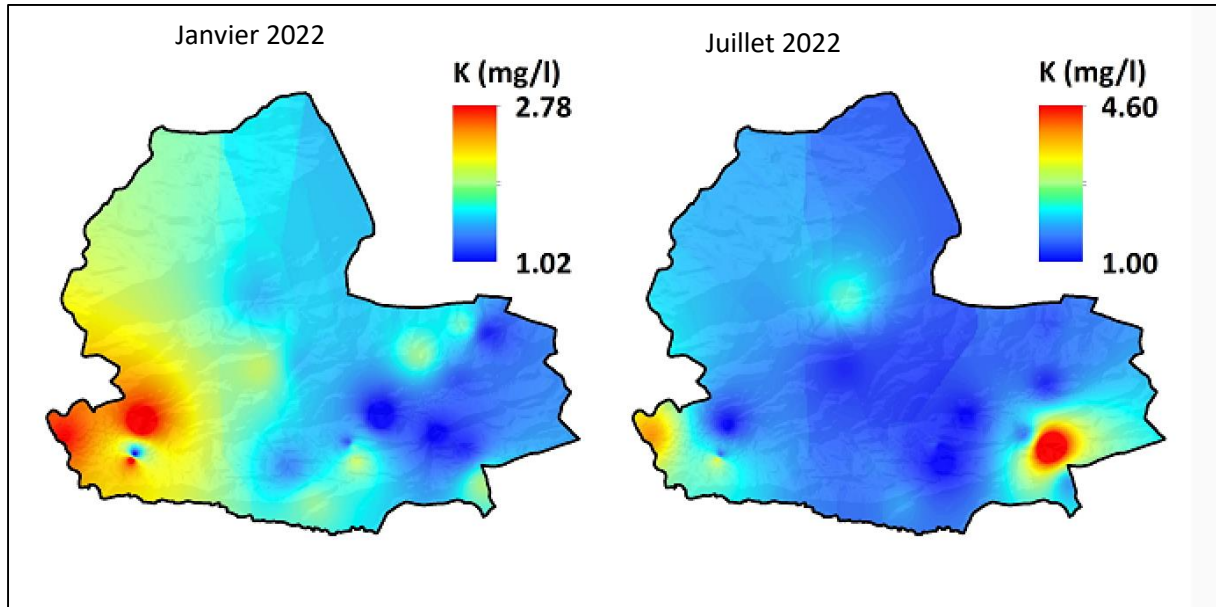


Figure V. 9: carte de répartition de  $K^+$  (Janvier, Juillet 2022).

#### V.3.2.5 Les Bicarbonates ( $HCO_3^-$ ) :

Les bicarbonates dans les eaux ont deux origines ; Ils résultent du dioxyde de carbone de l’atmosphère et des eaux météorites sur les minéraux silicatés et la dissolution des minéraux carbonatés qui bordent l’aquifère selon l’équation suivante (Touhari 2015).



Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux météoriques qui se chargent en  $CO_2$  lors de leur percolation à travers le sol. La concentration des bicarbonates dans l’eau est en fonction de tension de  $CO_2$  dissous, de température, de pH, les sels dans l’eau et de la lithologie des terrains (Nelson et al. 2009), (Parizot 2008). Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires qui représentent l’essentiel du réservoir dans la région d’étude.

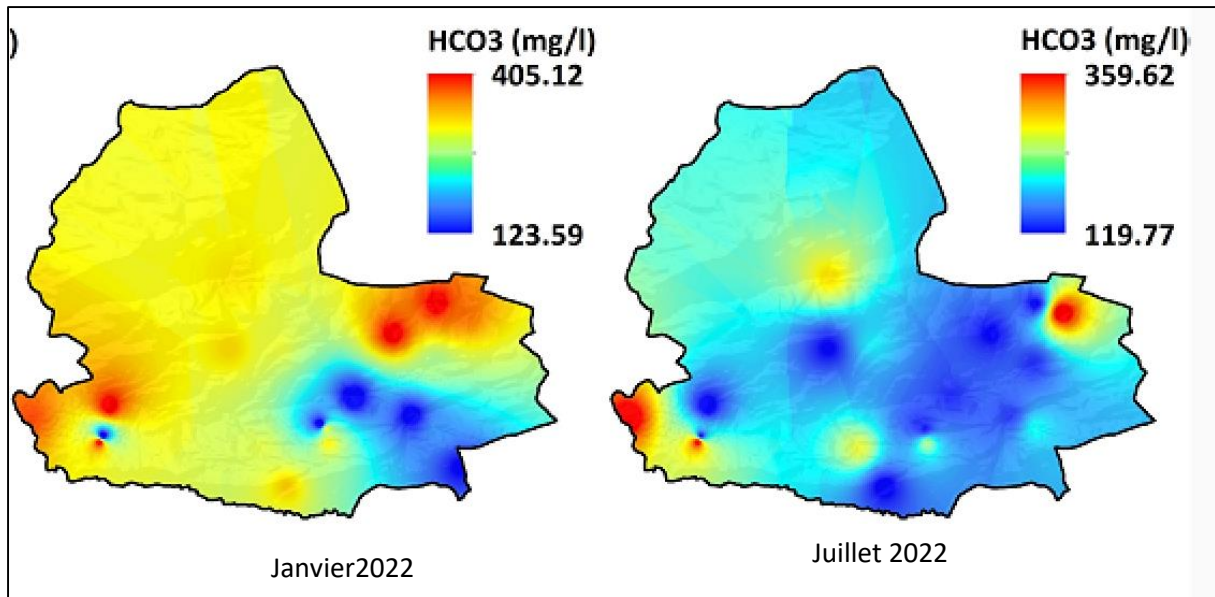


Figure V. 10 : carte de répartition des concentrations en  $HCO_3^-$  l (Janvier, Juillet 2022).

Les teneurs en Bicarbonates dans les eaux de source sont compris entre 408 mg/l (S8) et 120 mg/l (S13), durant la période des hautes eaux. Alors que durant la saison sèche les valeurs fluctuent entre un maximum 337 mg/l (S9) et un minimum de 119.65 mg/l (S19).

Les résultats montrent une variation assez remarquable des concentrations des bicarbonates, pendant les deux campagnes de prélèvements, car on a marqué que les valeurs des bicarbonates de 09 sources sont comprises entre 311mg/l et 409mg/l, pendant la période des crues. trois sources seulement ont enregistrées des valeurs élevées de l'ordre de 360mg/l, 353.8 mg/l et 351,8 mg/l dans les sources S7, S8 et S9 respectivement, pendant la période d'étiage, le reste des valeurs fluctuent entre 130 mg/l et 274.5 mg/l. (Sachant que la norme des bicarbonates préconisée par l'OMS est de l'ordre de 250mg/l). La dissolution des formations carbonatées de la nappe de néritique constantinoise (J.M. Villa, 1787,1980) est à l'origine de ces concentrations.

### V.3.2.6 Chlorure :

La concentration en chlorure sert d'indicateur de la pollution causée par les eaux usées. Les sources possibles des chlorures dans les eaux souterraines sont la dissolution d'halite [NaCl] ou la présence d'un biseau salé (aquifère côtier) peuvent éventuellement engendrer des teneurs en chlorures élevées, les eaux usées, les déchets et les sources naturelles (les interactions eau-roches ignées...). La concentration autorisée par l'OMS est de 250 mg /l (WHO 2017).

Les concentrations des chlorures varient d'une valeur max de 256.45mg /l (S19) à une valeur min 36.2 mg/l (S2) avec une moyenne de 85 mg/l, durant la période des crues. Pendant l'étiage

les valeurs des chlorures enregistrés varient entre un maximum de 337.5 mg/l (S9) et 32mg/l (S2), avec une moyenne de 57.25 mg/l.

Dans le secteur d'étude les évaporites sont la source principale des chlorures dans les eaux naturelles. Liées principalement à la nature lithologique de différentes formations géologiques, généralement les eaux riches en chlorures sont riches en sodium.

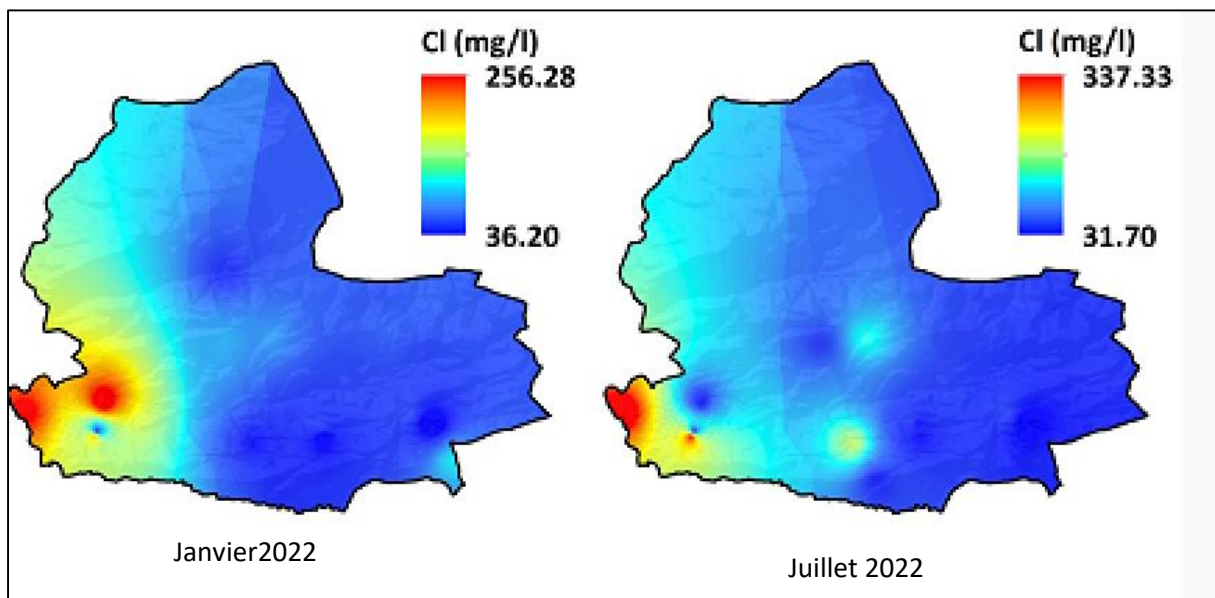


Figure V. 11: Carte de répartition de Cl<sup>-</sup> (Janvier, Juillet 2022).

On remarque que les valeurs des chlorures sont plus importantes que celles du sodium, car cet élément chimique est caractérisé par sa mobilité importante, il ne rentre pas dans le phénomène de précipitation et n'est pas adsorbé par les formations géologiques.

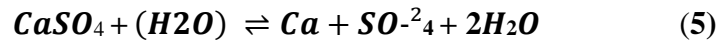
La concentration en chlorure dans les eaux de sources de la zone d'étude ne dépasse pas les valeurs guides dans la majorité des points, à l'exception, S8 et S9 dont les valeurs sont de l'ordre de 301.6 mg/l et 337.6 mg/l respectivement.

### V.3.2.7 Les Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :

Les sulfates participent au métabolisme des bactéries contenues dans l'eau. Les bactéries sulfato-réductrices transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux créant des désagréments pour l'environnement. La concentration de sulfate est susceptible de réagir avec les organes humains si la valeur dépasse la limite maximale autorisée de 500 mg/l (OMS 2006). (Alam et al. 2012).

Les sulfates sont parmi les éléments prédominant dans les eaux de sources, leur présence peut avoir plusieurs origines ; géologique due à la dissolution des gypses, la dégradation de la

matière organique ou bien anthropique par l'utilisation des pesticides ou des engrais. (Benmars K. 2015). Dans notre cas, l'origine des sulfates provient de la dissolution du gypse, comme l'indique la formule suivante :



Les concentrations en sulfates dans les eaux de source sont comprises entre 145mg/l (S12) et 21.8mg/l (S6), avec une moyenne de 107.84 mg/l (période des crues). Les valeurs des sulfates restent dans la limite autorisée par l'OMS (250 mg/l) dans la majorité des points et pendant les deux périodes.

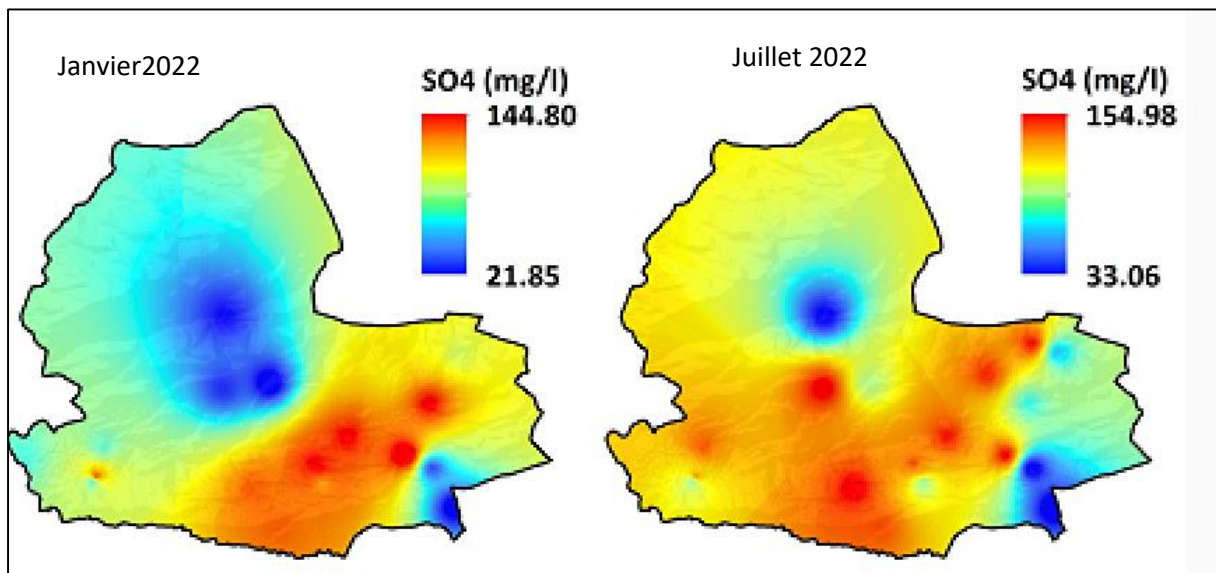


Figure V. 12: Carte de répartition de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Janvier, Juillet 2022).

### VI.3.3. Les éléments de pollution :

L'azote est un constituant essentiel de la matière vivante, mais sa présence en quantité importante dans les eaux usées nécessite une surveillance attentive (Mecalf & Eddy, 1991 ; NRC., 1993 ; Faby, 2003 ; Cornaz, 2004). L'azote dans les eaux usées se trouve sous formes organique et inorganique. Les formes inorganiques sont immédiatement disponibles pour les plantes tandis que les formes organiques doivent être minéralisées par les microorganismes. L'azote minéral se présente en solution ionique dans l'eau sous trois formes principales : L'azote ammoniacal (ammoniac NH<sub>3</sub> + et ammonium NH<sub>4</sub> +), Les Nitrites NO<sub>2</sub> - et les Nitrates NO<sub>3</sub>.

### V.3.3. 1 Les Nitrates : $\text{NO}^{-3}$ ou Azote nitreux :

La forme d'azote la plus riche en oxygène dans un composé inorganique est le nitrate  $\text{NO}^{-3}$  qui est également très soluble (Debieche 2002). Les micro-organismes et les végétaux utilisent le nitrate comme un nutritif. Pour cette raison, les composants d'azote sont aussi utilisés dans la fabrication des fertilisants (salpêtre, nitrate de sodium, le nitrate d'ammonium, le nitrate de calcium). (Ouakouak 2017). La concentration de 50 mg/l est la valeur maximale autorisée pour l'eau potable (OMS 2011).

Dans l'eau, les nitrates peuvent provenir de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles et des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles, (Egboka,1984). Les nitrates sont la forme oxydée de l'azote qui est la plus stable, mais il peut être réduit en nitrite, modérément réactif, par action microbienne. (Santé Canada, 1992).

Le nitrate étant un sel très soluble dans l'eau, très mobile dans le sol, pénètre dans la nappe phréatique lorsque sa quantité dépasse ce que les plantes peuvent utiliser. Leur présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques (Adam, 1980).

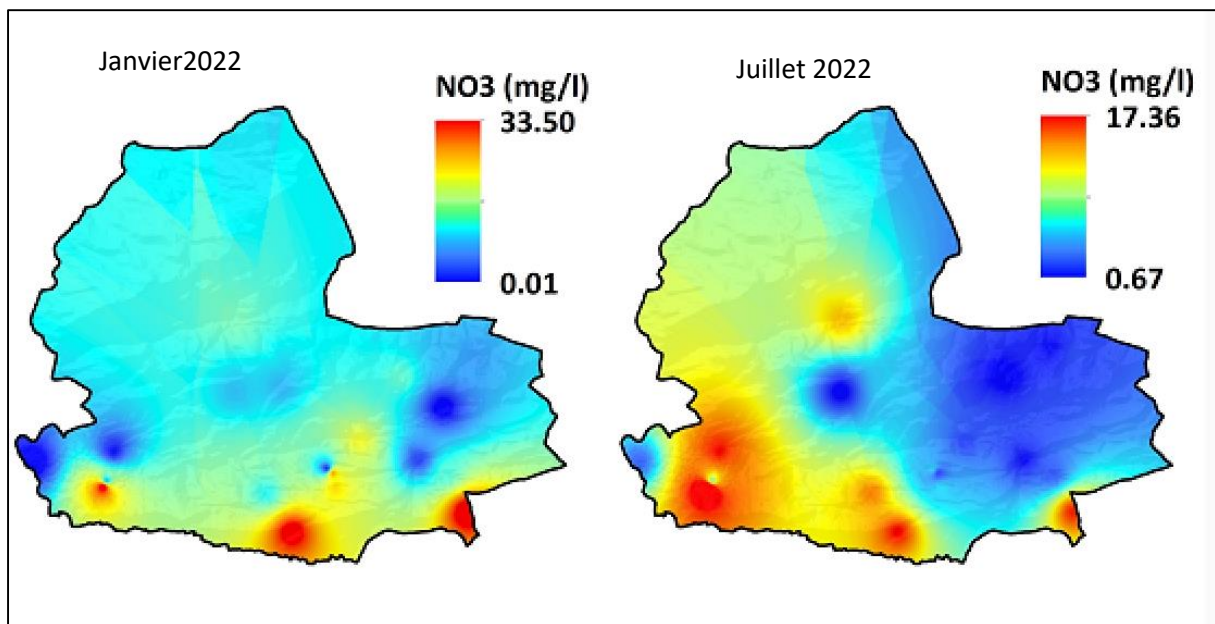


Figure V. 13: Carte de répartition de  $\text{NO}_3^-$  (Janvier, Juillet 2022).

Dans les eaux étudiées, les teneurs en nitrates ne dépassent pas un maximum de 35mg/l durant les deux périodes de prélèvements. Ainsi, ces valeurs ne dépassent pas la norme fixée de 50 mg/L par OMS, indiquant une absence de contamination.

Les eaux de source présentent des teneurs en nitrates variant de 0.17mg/l à 33.62 mg /l (S4 et (S8) avec une moyenne de 12.32 mg/pendant la période des crues, durant la période sèche les valeurs des nitrates fluctuent entre 0.67 mg/l (S17) à 17.51 mg/l (S8), avec une moyenne de 12.32mg/l. Suivant ces résultats on a décelé qu'il y a une diminution des concentrations durant la saison sèche au niveau de la même source (S8). La présence du nitrate dans les sources peut être due à l'utilisation des fertilisants dans les activités agricoles et les rejets d'eaux usées ce qui augmente le phénomène de dénitrification. Les nitrates ne produisent pas de couleur ou d'odeur dans l'eau et peuvent causer le cancer chez les humains lorsqu'ils sont consommés sur une longue période de temps (Alam et al. 2012). La forte concentration de nitrate dans l'eau potable est toxique et provoque bébé bleu (maladie méthémoglobinémie) chez les enfants et les carcinomes gastriques (Comly 1945 ; Gilly et al. 1984)

### V.3.3.2 Les nitrites (NO<sup>2-</sup>) :

Considérer comme un élément toxique et la forme la moins stable dans le cycle d'azote. (Samake, 2002), IL est issu soit de la réduction de l'ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup> par les bactéries Soit d'une réduction des nitrates (Dégbey et al., 2010 ; Bricha et al., 2007 ; Lagnika et al., 2014) Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels, donc c'est un signe d'une pollution d'origine bactériologique et organique. (Bengoumi et al., 2004).

Dans les eaux de la zone d'étude, les valeurs en nitrites varient de 0,005 mg/l à 0.09 mg/l ; presque les mêmes valeurs pour les deux périodes. Ces valeurs sont presque négligeables pour une norme admissible selon l'OMS de 0,1 mg/l (Fig.VI.16).

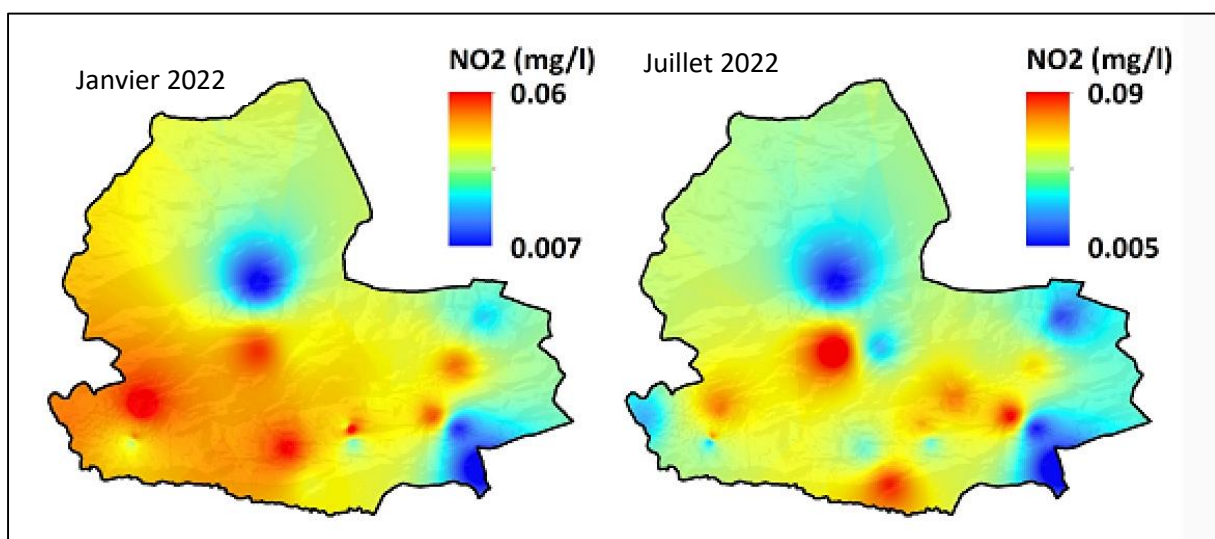


Figure V. 14: Carte de répartition de NO<sup>2-</sup> (Janvier, Juillet 2022).

### V.3.3.3 L'ammonium $\text{NH}_4^+$ :

L'ion ammonium est la principale forme de l'azote dans la nature (Derwich et al. 2013, Chahboune et al. 2014). Il est considéré comme la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans les eaux profondes résulte le plus souvent de la décomposition anaérobie de matières organiques azotées. (Detay, 1993). L'ammoniac se trouve dans l'eau naturelle sous deux formes ; forme non ionisée ( $\text{NH}_3$ ) et ionisé ( $\text{NH}_4^+$ ). La relation d'équilibre entre les deux est définie par la réaction réversible suivante :



La quantité de  $\text{NH}_3$  qui se transforme en  $\text{NH}_4^+$  est lié à la température et du niveau de pH de l'eau. Plus la température (ou le pH) est élevée, moins le  $\text{NH}_3$  devient  $\text{NH}_4^+$ . Par conséquent, le niveau toxique d'ammoniac dépend à la fois du pH et la température (Zhen-Gang 2008. (Pourriot et Meybeck 1995).

Les valeurs moyennes en  $\text{NH}_4^+$  trouvées durant toute notre étude sont inférieures à la norme préconisée par l'OMS (0,5 mg/l) à l'exception la source S11 où on a enregistré une valeur de 0.9 mg/l pendant la période humide.

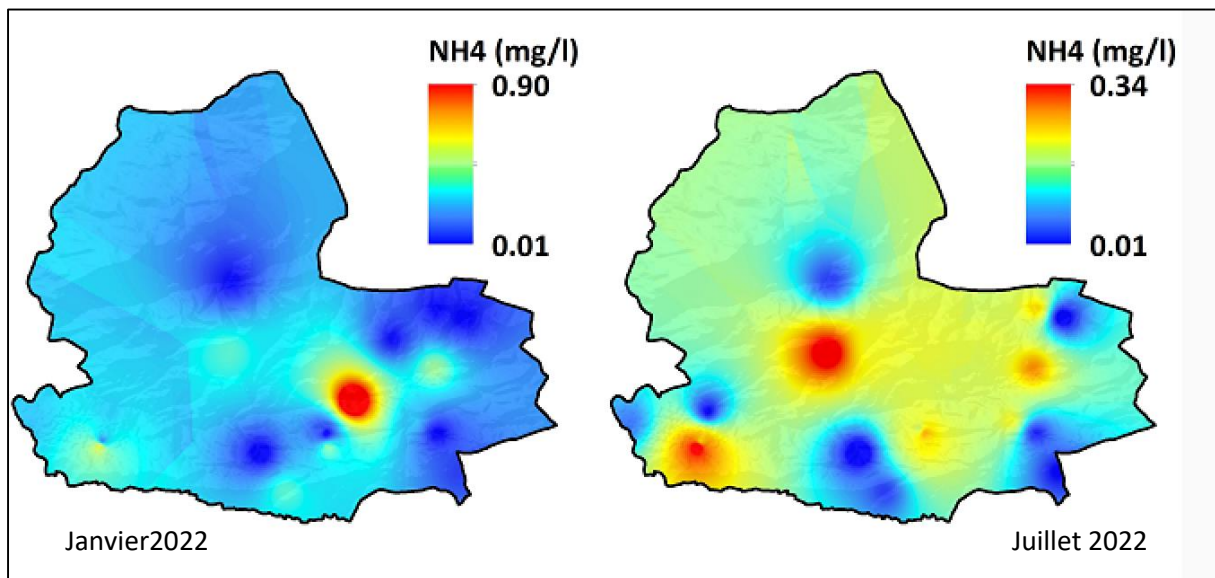


Figure V. 15: carte de répartition des concentrations en  $\text{NH}_4^+$   
(Janvier, Juillet 2022).

### V.3.3.4 Phosphate $PO_4^{-3}$ :

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (Beadry et Henry, 1984). Les fortes concentrations indiquent un enrichissement d'origine domestique et agricole, ainsi que des apports directs des activités industrielles. Ce dernier est indispensable à la vie et se retrouve sous forme de phosphates inorganiques dans la roche.

Le  $PO_4^{-3}$  affecte la qualité de l'eau en provoquant un développement énorme d'algues et en réduisant l' $O_2$  de l'eau. Le phénomène d'eutrophisation peut entraîner la mortalité des poissons et la perte d'habitat avec la disparition de diverses espèces (Soltani 2021). Il est considéré comme principale responsable du phénomène d'eutrophisation des eaux de surfaces. (Benouara, et al, 2016).

Il est constaté que dans les eaux analysées, les teneurs de cet élément sont largement au-dessous de la norme recommandée par l'OMS.

La valeur du phosphate dans les échantillons d'eau de source oscille de 0.17 mg/l à 0.006 mg/l pendant la saison humide et de 0.04 mg/l à 0.01 mg/l sèche Les valeurs obtenues sont admissibles aux normes de potabilité Figure V.18.

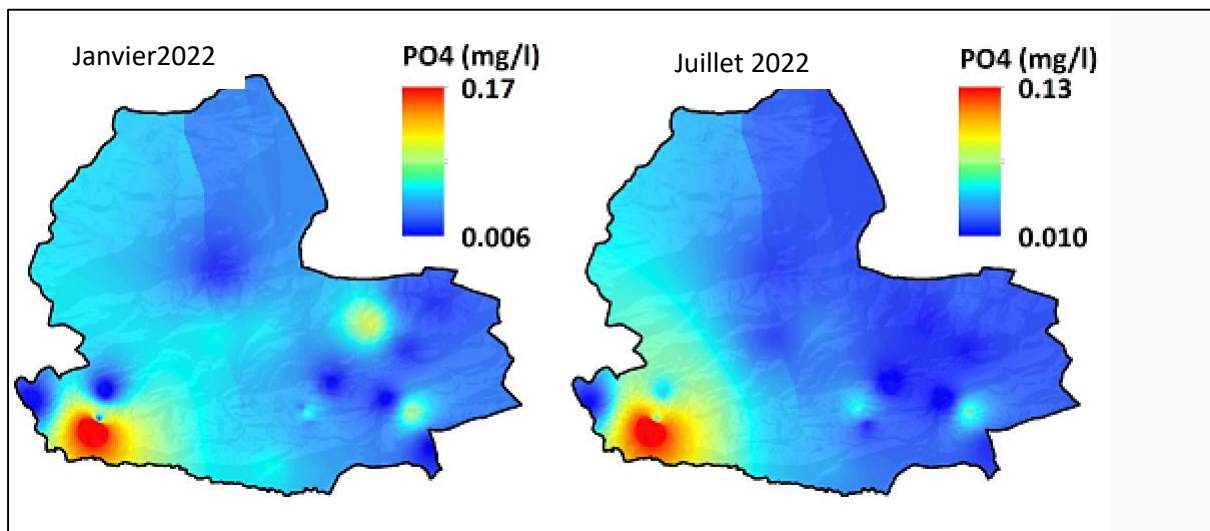


Figure V. 16: Carte de répartition de  $PO_4^{-3}$  (Janvier, Juillet 2022).

### VI.3.4. Bactériologie :

L'eau est indispensable à la survie de tous les êtres vivants. C'est donc une ressource non substituable. Cependant, L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) qui sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut

faire de l'eau (industrie, utilisation domestique...). Ce type de pollution est fréquent et provient généralement d'une pollution par des matières fécales animales ou humaines. (ZEGHID, 2013 ; BOTTA et BELLON, 2001). Elle est donc responsable de la transmission de maladies dites hydriques.

La potabilisation de l'eau destinée à la consommation humaine doit bénéficier d'une attention particulière. Cette eau ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes pathogènes nocifs susceptibles à plus ou moins long terme à la santé des individus. (John P.H. & Donald A.K., 2010). (OMS, 2003).

Universellement, la pollution bactériologique de l'eau est évaluée par la recherche et le dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale dont la présence en nombre élevé indique une pollution d'origine fécale et la présence probable de microorganismes pathogènes (Bricha et al., 2007 ; Aboukacem et al., 2007 ; Papaioannou et al., 2010 ; Lugoli et al., 2011).

Ces dernières années, la qualité des eaux à travers le monde a connu une dégradation significative en raison des rejets industriels non contrôlés et de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités (Reggam et al., 2015).

En Algérie, l'exploitation des ressources d'eau est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigation et en industrie (Mohammedi *et al.* 2015).

Les maladies à transmission hydrique (MTH), sont à l'origine de la mortalité élevée des populations des pays en voie de développement. L'eau contaminée par les microorganismes est une source d'infections très importante (Madigan et Martink, 2007) Le terme "MTH" englobe une variété de maladies d'origine bactérienne, parasitaire ou virale, dont le mode de contamination commun est l'eau.

Ce sont des maladies du péril fécal à allure épidémique dont la symptomatologie est la plus souvent digestive (diarrhée, vomissements...etc.) qui restent encore très répandues et constituent toujours une menace dans les pays pauvres et dont la mortalité est très élevée surtout pour les enfants en bas âge.

Les eaux souterraines jouent un rôle primordial dans la stabilité des populations rurales dans la région d'Ain Arbi wilaya de Guelma (Bureau d'Hygiène APC Ain Larbi, 2022).

Elles sont exploitées par des puits, des sources et forages ; drainées par différentes techniques traditionnelles et modernes utilisées pour extraire les eaux des nappes pour l'alimentation en

eau potable et l'irrigation. L'eau est exposée à de nombreux risques, dont la pollution de l'eau qui entraîne une dégradation de sa qualité, cette dernière à un impact direct sur la propagation des maladies parasitaires telles que le choléra, hépatite et la typhoïde. L'analyse bactériologique est donc une action obligatoire de l'expertise sanitaire ce qui lui permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. (Bureau d'Hygiène APC Ain Larbi, 2022).

Les analyses bactériologiques des eaux souterraines de la région d'Ain Larbi, ont été effectuées sur 10 sources, pendant la période janvier et juillet 2022, nous montrent une contamination bactérienne moyenne, dépassant légèrement les normes de potabilité.

Le paramètre bactériologique c'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau potable. Elle se mesure par la présence d'organismes indicateurs de pollution : les Coliformes (Totaux et Fécaux), les bactéries indicatrices de contamination fécale sont les Coliformes connus sous le nom d'Escherichia coli (E. coli), les Streptocoques Fécaux et les Clostridium Sulfite-Réducteurs (AYAD, 2017). Leur présence dans l'eau ou le sol indique une présence potentielle de microorganismes pathogènes et une contamination par des matières fécales d'origine animale ou humaine. (GUÉRINEAU, 2013). Dans le domaine des eaux d'alimentation, le risque microbien représente le risque à court terme. (DIRECTION GENERALE DE LA SANTE, 2005). Les paramètres bactériologiques ont été analysés au laboratoire selon le protocole d'analyse de (Rodier, 2009).

*Tableau V. 6 : Tableau des données statistiques des paramètres bactériologiques (Janvier et Juillet 2022).*

	Coliformes Totaux		Coliformes Fécaux		Streptocoques	
	janvier 22	Juillet 2022	janvier 22	Juillet 2022	janvier 22	Juillet 2022
<b>Max</b>	62	92	21	15	14	9
<b>MIN</b>	18	11	6	0	0	0
<b>Mediane</b>	46	31.5	11	6	0	3.5
<b>Ecart type</b>	16.52	23.79	4.32	5.63	4.62	2.95

#### **V.3.4.1 Coliformes Totaux (CT) :**

Les Coliformes Totaux sont des bacilles gram-négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, oxydase négatifs, capables de développer en présence de sels biliaires ou d'agents tensio-actifs qui fermentent le lactose en produisant de l'acide, du gaz et de l'aldéhyde à 37°C pendant 24 à 48 heures. Leur présence dans l'eau annonce une contamination de l'eau potable mais ne sont généralement pas dangereux pour la santé. Les coliformes totaux sont d'origine

animale et humaine, leur présence dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales (Chevalier, 2003).

La majorité des bactéries Coliformes appartiennent au genre *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* et *Enterobacter*. (Fondation nationale de la sante, 2013 ; agence de la sante et des services sociaux de l'chaudiere, 2011)

D'après les résultats obtenus et illustrés dans la Fig. VI.23, la présence de coliformes totaux est confirmée tout au long de la période des hautes eaux. Les valeurs les plus élevées atteignent **62 germes/100 ml** au niveau des sources S8 (S. Belhechani) et S10 (S. Ain El Beni), suivies de **56 germes/100 ml** pour S6 et S3 (S. Guebel El Karma et Oum El Touam). Les sources S5 et S2 présentent **46 germes/100 ml**, tandis que S1 et S11 affichent respectivement **38 et 26 germes/100 ml**. Enfin, les sources S4 et S9 enregistrent **22 et 18 germes/100 ml**.

En période de basses eaux, la contamination devient plus marquée avec une valeur maximale de **92 germes/100 ml** au niveau de la source S5 (Nakib Houcine). Les autres valeurs importantes sont de **54 germes/100 ml** (S4), **44 germes/100 ml** (S9), **39 germes/100 ml** (S6) et **35 germes/100 ml** (S8). Pour les autres points, les teneurs varient entre **11 et 28 germes/100 ml**. Les résultats obtenus dépassent largement la norme fixée par le Journal Officiel (<10 germes/100 ml), traduisant une contamination significative de l'eau, qui la rend impropre à la consommation et la classe dans la catégorie des eaux de mauvaise qualité bactériologique. Il est à noter que les analyses réalisées sur les eaux de sources se sont révélées positives durant les deux périodes d'échantillonnage, ce qui indique que la contamination n'est pas ponctuelle mais persistante. L'origine de cette pollution est principalement attribuée aux rejets fécaux d'animaux, qui constituent la source majeure de la contamination bactérienne.

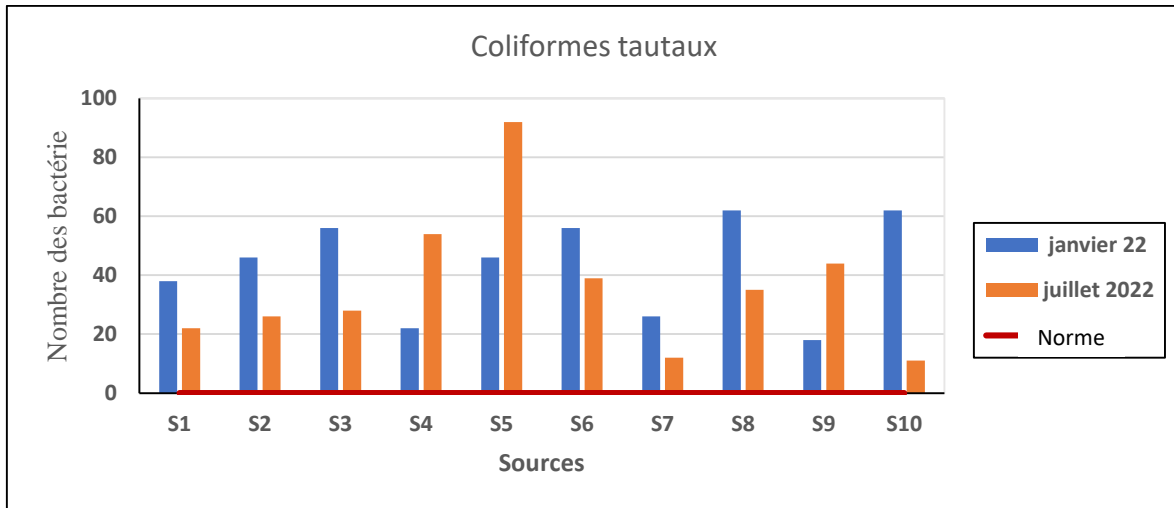


Figure V. 17: Evolution du nombre des coliformes totaux dans les sources de la région d'étude (Janvier – juillet 2022).

#### V.3.4.2 Coliformes Fécaux (CF) (*Escherichia coli*) :

La présence des coliformes thermo tolérants, signe l'existence quasi certaine de la contamination fécale d'une eau (Richard, 1996 ; Figarella et Leyral, 2002 ; El Haisoufi et al., 2011). Les Coliformes fécaux sont des bactéries associées très abondante dans les matières fécales des animaux à sang chaud, constituent des indicateurs fort dans le contrôle de la qualité des eaux énonce que la présence d'E. coli, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente (Rodier et al., 2009).

L'espèce la plus habituellement associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*) (Elmund et al., 1999 ; Edberg et al., 2000). C'est la bactérie la plus répandu pour l'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau aux prises d'eau potable. (VERHILLE, 2013).

Les Coliformes Fécaux ou Coliformes Thermo-Tolérants sont un sous-groupe des Coliformes Totaux, présentent les mêmes propriétés et caractéristiques de celle-ci, après incubation à la température de 44°C. (VERHILLE, 2013 ; ABIBSI). *E. coli* est considérée en fait comme le meilleur indicateur de contamination fécale de l'eau qui selon (Edberg et al., 2000) son origine, comporte des risques plus ou moins importants d'infection à caractère entérique (intestinal) (Bopp et al., 1999). Sa détection dans un puits peut donc être indicatrice d'une source ponctuelle de contamination (Gouvernement du Québec, 2004).

Les analyses montrent une contamination fécale dans la plupart des sources, plus élevée en période de hautes eaux (jusqu'à 21 UFC/100 ml à S9). En basses eaux, seules S6 et S5 sont exemptes de coliformes, avec une baisse générale des concentrations (2 à 15 UFC/100 ml), probablement grâce au suivi et aux traitements appliqués par le bureau d'hygiène.

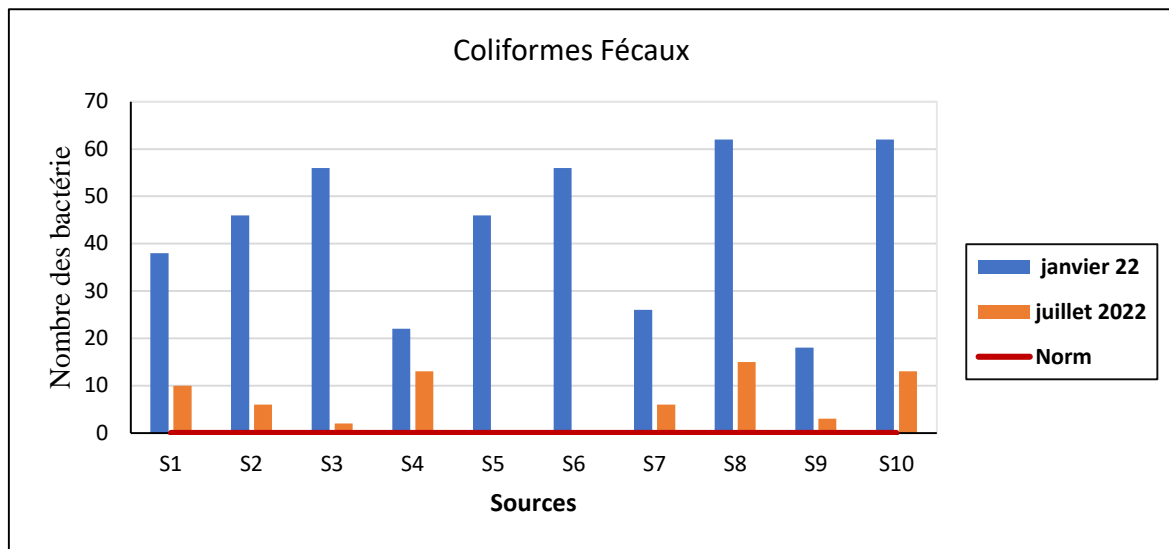


Figure V. 18: Evolution du nombre de coliformes fécaux dans les sources de la région d'étude (Janvier – juillet 2022).

#### V.3.4.3 Les streptocoques fécaux :

La détection d'entérocoques dans une nappe d'eau souterraine doit faire penser à une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéropathogènes (Chevalier, 2002 ; Ladjel, 2009). Selon Figarella et Leyral (2002). Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. L'identification de streptocoques fécaux donnera une confirmation importante du caractère fécal de pollution (Mehanned et al. 2014).

Les normes réglementaires algériennes relatives aux streptocoques fécaux imposent, tout comme pour les coliformes fécaux et *Escherichia coli*, une absence totale de ces germes dans 100 ml d'eau analysée. Cela signifie que toute présence, même minime, constitue un indicateur de contamination fécale et rend l'eau impropre à la consommation.

Les résultats des analyses effectuées durant la saison humide révèlent que la majorité des sources respectent cette exigence, puisque les streptocoques fécaux y sont totalement absents. Toutefois, trois sources présentent une contamination mesurable : la source S1 (Aïn Fras) avec une valeur de 14 UFC/100 ml, la source S5 (Nakib Houssin) avec 6 UFC/100 ml et la source S9 (Aïn Daba) également avec 6 UFC/100 ml. Ces valeurs, bien que faibles, restent significatives puisqu'elles traduisent une pollution bactériologique avérée.

Cette contamination ponctuelle peut s'expliquer par plusieurs facteurs. La période humide correspond à une recharge importante de la nappe phréatique, favorisant une dilution des germes dans la majorité des sources. Cela justifie l'absence totale des streptocoques dans la plupart des points d'eau. Cependant, dans certaines sources plus vulnérables, situées probablement à proximité de zones de pâturage ou de rejets domestiques, la recharge hydrique entraîne au contraire une infiltration rapide des contaminants vers l'aquifère.

La présence de streptocoques fécaux dans ces trois sites témoigne de la vulnérabilité de certains captages aux contaminations diffuses. Cette observation souligne l'importance d'instaurer des mesures de protection adaptées, telles que la mise en place de périmètres sanitaires autour des sources, la limitation des activités humaines et agricoles à proximité, ainsi que la réalisation d'un suivi microbiologique rigoureux et régulier. Ces actions contribueraient à préserver la qualité de l'eau et à assurer une meilleure sécurité sanitaire pour la population, en réduisant considérablement les risques liés à la consommation d'une eau contaminée.

Au cours de la période des basses eaux, seules deux sources, S6 et S10, présentent une absence totale de streptocoques fécaux. En revanche, l'ensemble des autres sources révèle la présence de ces germes, avec des concentrations variant de 2 à 9 UFC/100 ml. Ces valeurs dépassent les limites fixées par la réglementation nationale (JORA, 2011) ainsi que par les normes françaises (AFNOR, 1997), lesquelles stipulent l'absence totale de streptocoques fécaux dans les eaux destinées à la consommation humaine.

#### **V.3.4.4 Clostridium Sulfito-Réducteurs : ASR.**

Les entérocoques font partie d'un groupe de bactéries naturellement présentes dans la flore intestinale des animaux et des humains. Certains streptocoques fécaux sont très apparentés aux entérocoques et sont encore utilisés à titre d'indicateurs de contamination fécale (Gleeson et Gray, 1997). (Edmond et al. 1995 ; Madani et al. 1999).

Ils sont peu sensibles aux désinfectants. La présence de *Clostridium perfringens* dans une eau de boisson est synonyme d'une défaillance du processus de traitement ou une contamination intermittente à distance et ancienne (N. DIAYE, 2008).

Selon les analyses effectuées sur les échantillons on a constaté la présence des ASR dans les sources S8, S5, S9, avec une absence dans le reste des sources pendant la saison humide, tandis que pendant la période d'étiage deux sources sur dix présentent une contamination en ASR.

La présence des spores des *Anaérobies sulfito-réducteurs* dans une eau naturelle fait penser à une contamination fécale et en l'absence de bactéries *Coliformes*, à une contamination déjà

ancienne (OMS, 1994), Guessoum et al. (2014), elles sont très résistantes et leur présence est un bon indicateur de la vulnérabilité des aquifères et des puits (Travel et al., 2006).

La présence de ces bactéries pourrait être due à la mauvaise protection des puits (puits à ciel ouvert), à la pollution avoisinante (élevage des bétails, existence des fosses septiques et des latrines) et l'absence d'un réseau d'assainissement (Yapo et al. 2010). Les eaux de ces sources sont non potables car les normes de l'OMS exigent l'absence de ces bactéries dans les eaux destinées à la consommation humaine (WHO, 2008).

Cette contamination pourrait être due à la mauvaise protection des sources qui est très répandue dans cette région, aussi par des pollutions avoisinantes : lessivage des terres agricoles chargées d'énormes quantités de fumier, l'existence des fosses septiques et l'élevage de bétails.

#### **V.4 Hydrogéochimie des eaux souterraines :**

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer ; Le diagramme de Piper, Le diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff et celui de Chadha.

Afin d'illustrer la composition chimique des eaux souterraines dans la zone d'étude, nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon (version 6.5. 2009) qui nous a permis de classer les eaux (faciès chimique, classe d'irrigation) et de construire en particulier les différents diagrammes (Piper, Schoeller Berkaloff, et le diagramme de Riverside) (Daniele et al. 2000).

Le diagramme trilinéaire de Piper (1944) a été établi à l'aide du programme DIAGRAMS version 6.5 (Simler 2009) pour identifier le faciès hydrogéochimique des eaux souterraines.

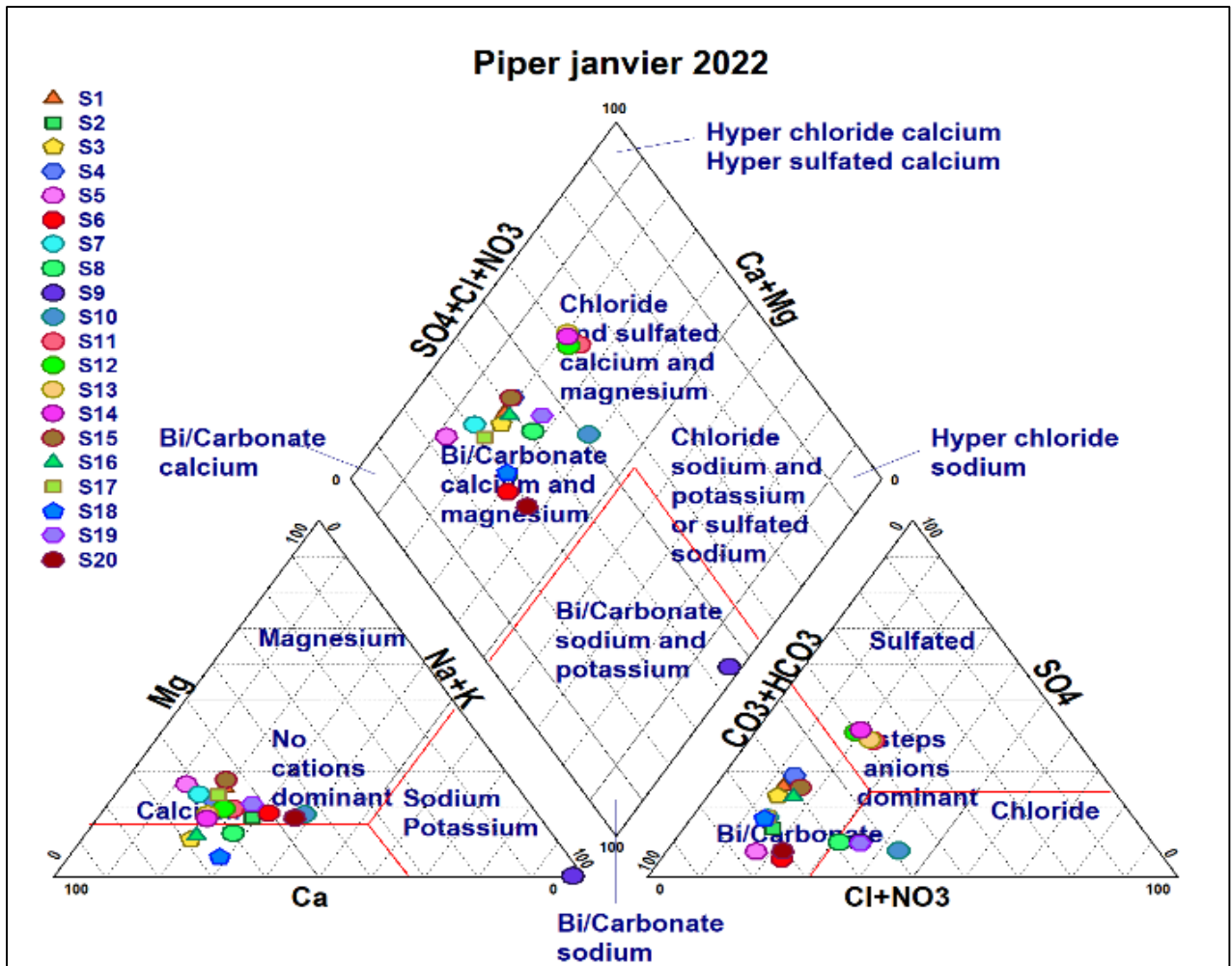
Dans le diagramme de Piper, les ions majeurs sont représentés dans les deux triangles de base en pourcentage milliéquivalent de cation et d'anion. Les cations totaux et les anions totaux sont considérés chacun à 100 %. Les emplacements respectifs des cations et des anions à analyser sont projetés dans le domaine de la diagonale, qui représente la relation ionique totale.

Le diagramme semi-logarithmique de Schoeller Berkaloff, permet de distinguer les différentes familles des eaux et les comparer entre elles. Les projections de Piper ne donnent en effet que les concentrations relatives à des éléments majeurs. Le diagramme de Schoeller, permet un aperçu des concentrations absolues des mêmes éléments, tout en permettant les relations entre eux (Freeze et Cherry, 1979).

Le diagramme de Chadha a été développé en 1990 pour analyser l'activité qui permet de mettre en relief l'évolution des cations et des anions (Chadah, 1990).

#### **V.4.1 Diagramme de Piper :**

La représentation du contenu ionique majeur des eaux de sources sur le diagramme triangulaire de Piper (1944) montre que la majorité des échantillons ont des cations, principalement du calcium, chlorure et du magnésium, tandis que les anions dominants sont le bicarbonate et les sulfates. En analysant le graphique (fig VI.23), on distingue deux groupes d'eau ou deux faciès ; 80 % type Bicarbonaté calcique reflétant les calcaires éocène et 20%, chloruré calcique influencées par les formations numidiennes de la région d'étude (J.M. Villa 1980). Avec une tendance vers le faciès hyper chloruré calcique et Hyper sulfaté calcique. En période de crue, le faciès des eaux est globalement identique à celui de la période d'été. La bonne corrélation entre les ions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Ca}^{2+}$  confirme la même origine de ces deux éléments.



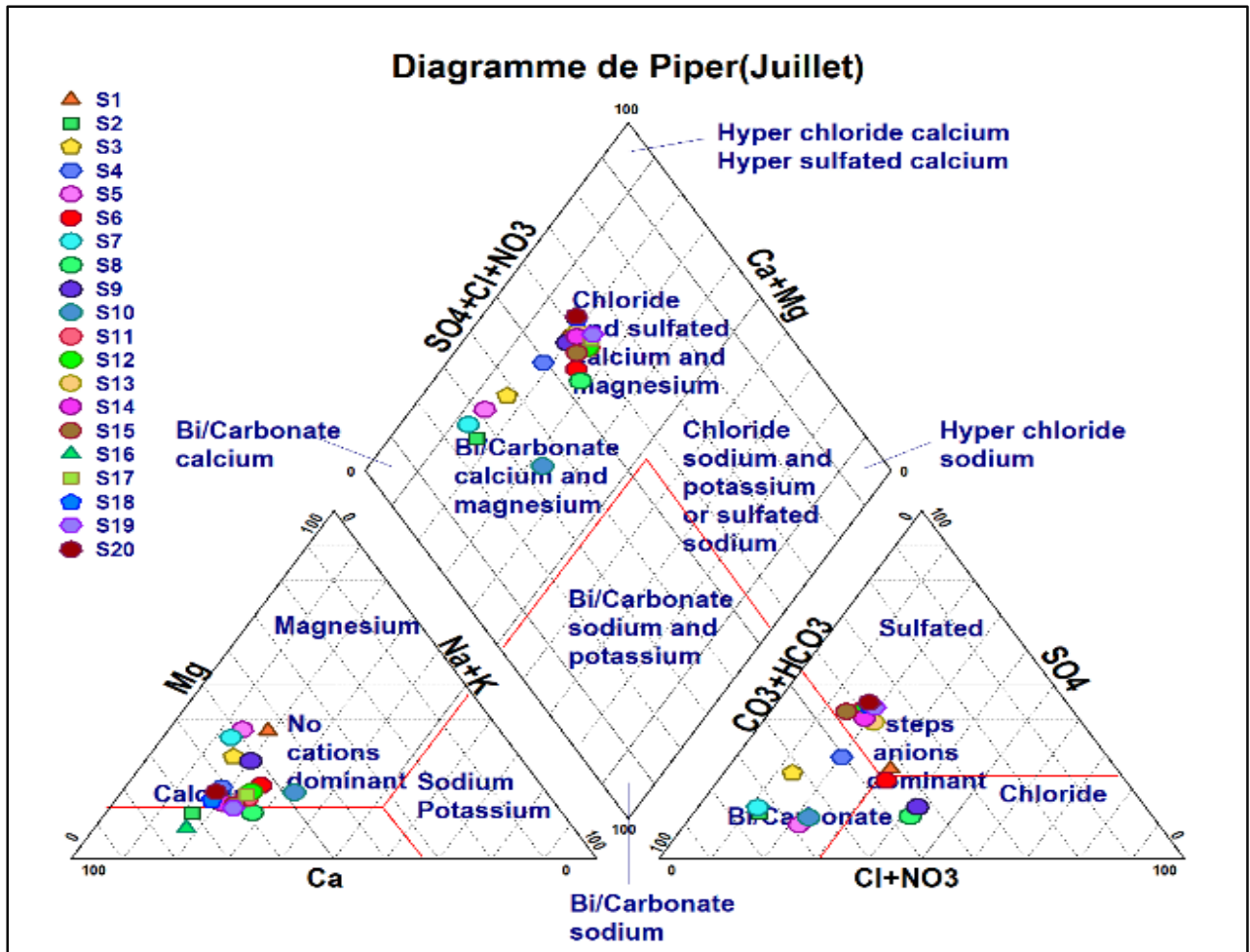


Figure V. 19: Représentation des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper (Janvier, Juillet 2022)

#### V.4.2 Diagramme de Schöeller-Berkaloff :

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff est un instrument largement utilisé en hydrogéologie et en hydrochimie pour analyser la composition chimique des eaux souterraines et comprendre les processus hydro chimiques qui façonnent cette composition. Ce diagramme s'appuie sur l'analyse des concentrations des principaux ions présents dans l'eau souterraine, tels que le sodium (Na), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le potassium (K), le chlorure (Cl), le sulfate (SO4), le bicarbonate (HCO3).

En examinant la position des données sur le graphique, les hydrogéologues peuvent déduire les processus géochimiques qui ont contribué à la composition chimique de l'eau souterraine, comme la dissolution des minéraux, les échanges ioniques, l'influence marine, etc. Ce diagramme se révèle être un outil inestimable pour appréhender la chimie des eaux souterraines,

repérer les sources éventuelles de contamination, évaluer la qualité de l'eau et guider la gestion des ressources en eau souterraine.

Contrairement à d'autres diagrammes, le diagramme de Schoeller représente les échantillons en fonction de leurs concentrations en éléments majeurs, ce qui permet d'identifier les différentes familles chimiques caractérisant les eaux souterraines du système aquifère étudié.

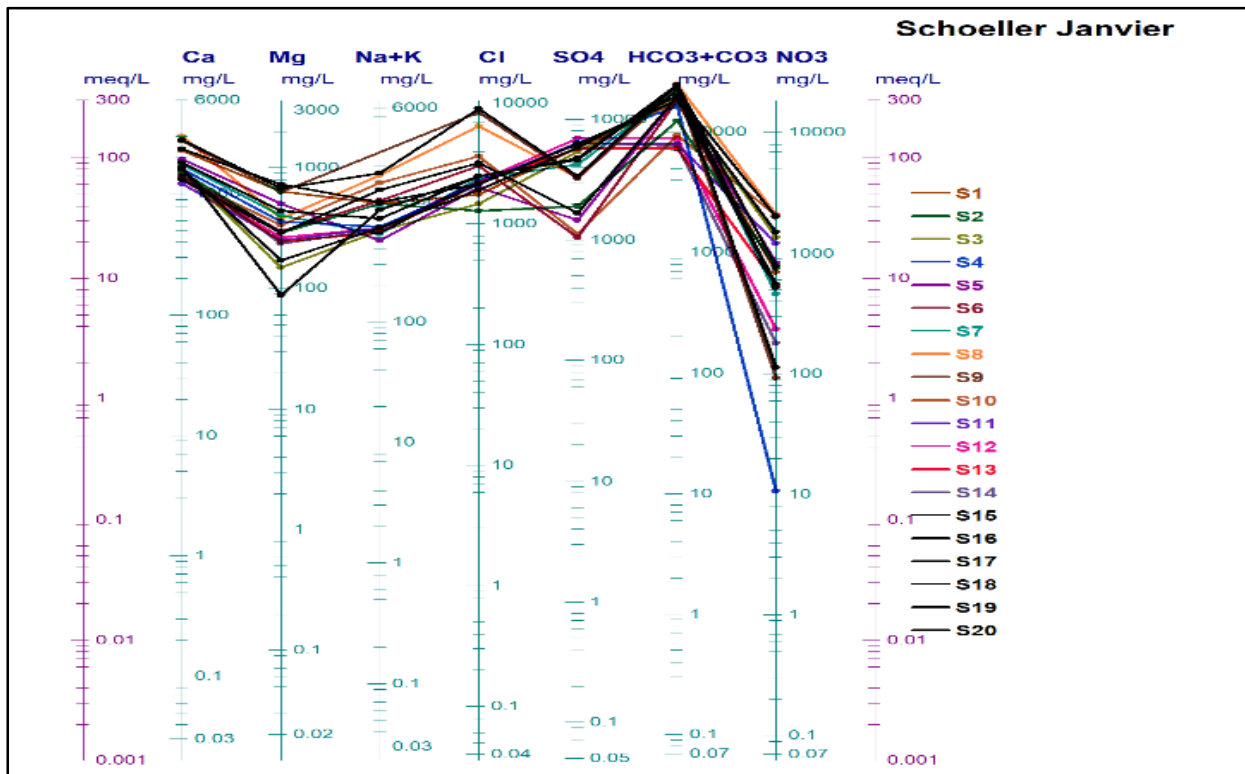


Figure V. 20: Représentation des analyses chimiques des eaux de sources sur le diagramme Schöeller-Berkalof (Janv. 2022).

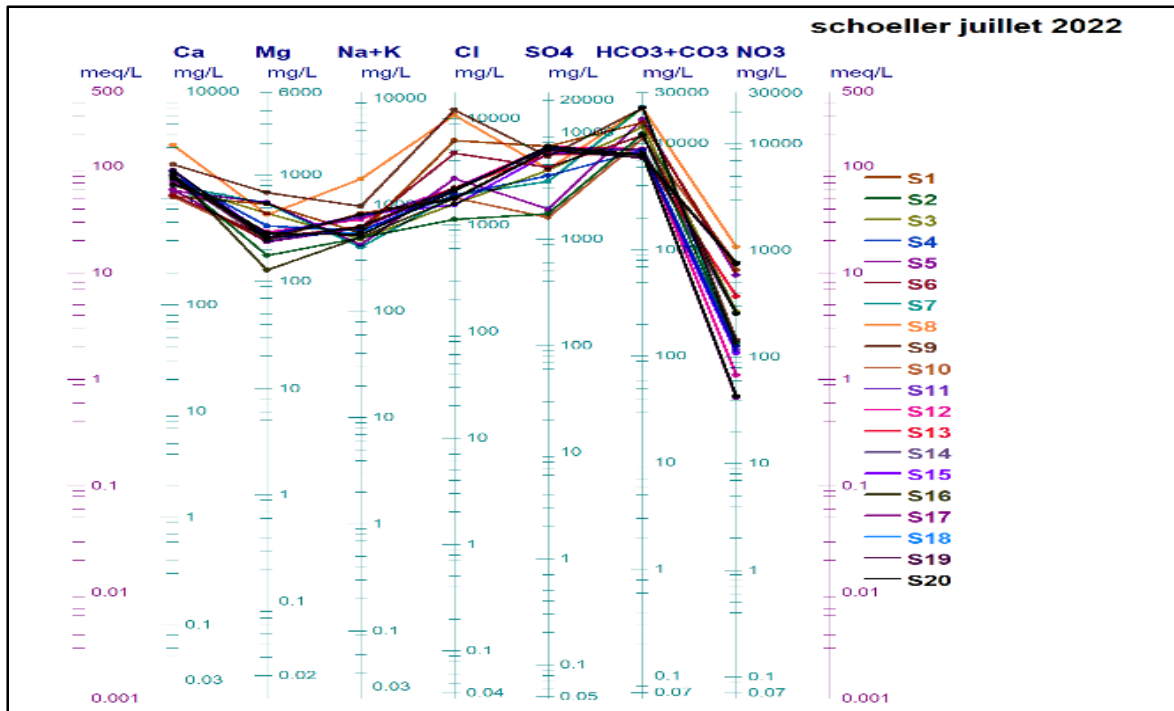


Figure V. 21: Représentation des analyses chimiques des eaux de sources sur le diagramme Schöeller-Berkaloff (Juillet. 2022)

Sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (figure V.24 et Figure V.25), les échantillons se divisent en deux familles distinctes. L'une de ces familles est caractérisée par un faciès chimique Bicarbonaté calcique, qui prédomine sur l'autre famille présentant un faciès chimique Chloruré calcique, et parfois Sulfaté. Cette distinction (est en relation avec les formations géologiques du calcaire éocène et les formations numidiennes précédemment énoncé

#### V.4.3 Diagramme de Chadha :

Le graphique de Chadha représente un outil essentiel en hydrochimie, développé par (Chadha 1999), pour scruter la composition chimique des eaux souterraines et éclairer les processus hydro chimiques à l'œuvre dans leur formation. Le graphique de Chadha se présente sous la forme de divers champs ou zones, chacun caractérisant un faciès chimique spécifique de l'eau souterraine. Les axes du graphique de Chadha reflètent les rapports entre les concentrations des différents ions. Selon l'emplacement des données sur le graphique, il est possible de déduire les processus géochimiques ayant influencé la composition chimique de l'eau souterraine, tels que la dissolution de minéraux, les échanges ioniques, ou l'influence marine, par exemple (Alam M. et ai, 2012).

Le diagramme de Chadha se révèle être un outil extrêmement précieux pour la compréhension de la chimie des eaux souterraines. Il permet d'identifier les sources potentielles de contamination, d'évaluer la qualité de l'eau, et de guider la gestion des ressources en eau souterraine. Il s'avère particulièrement utile pour les hydrogéologues et les chercheurs cherchant à mieux appréhender les processus influant sur la composition chimique des eaux souterraines dans une région donnée.

Ce diagramme a été appliqué avec succès à travers le monde par Karmegam et al. (2010), Vandenoobede et al. (2010), Thilagavathi, (2012) et en Algérie par Alligui, (2011) pour déterminer l'évolution des différents processus hydrogéochimiques.

Les processus hydro chimiques proposés par Chadha (1999) permettent de classer les eaux en quatre groupes :

- Groupe 1 : Eaux de recharge de type  $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3$ .
- Groupe 2 : Eaux avec un excès en  $\text{Ca-Mg-Cl- SO}_4$  ayant subi un échange ionique inverse.
- Groupe 3 : Eaux salées riches en  $\text{Na-Cl}$  qui sont soit des eaux de mer soit ayant séjourné en contact avec des formations salées.
- Groupe 4 : Eaux ayant subi un échange ionique  $\text{Na - HCO}_3$ .

L'application de ce diagramme pour les eaux souterraines de Ain Larbi, permet de voir que la majorité des échantillons se trouvent classer dans le groupe II et à moindre degré dans le groupe I. Le groupe 3 et 4 ne contient aucun échantillon (figure VI.26), pendant la saison humide.

Les eaux du groupe 1, représente les eaux de recharges, caractérisées par l'association  $\text{Ca HCO}_3$ .

Les échantillons d'eaux des sources S3, S4, S7, S8 et S10 se trouvant dans le groupe I.

Les eaux du second(II) groupe, présentant un excès en  $\text{Ca-Mg-Cl- SO}_4$  et ayant subi un échange ionique inverse (figure VI.22). Cela suggère que l'aquifère est constamment alimenté par les eaux de pluie d'une part et que ces eaux séjournent plus ou moins longtemps dans la formation encaissante, ce qui justifie une interaction eau-roche effective (altération chimique). Le reste des échantillons d'eaux de sources se trouvant dans le groupe II.

Dans les deux cas, il y a un excès des métaux alcalino-terreux ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) sur les alcalins ( $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ), la différence réside dans le fait que, contrairement au groupe I, le groupe II présente un léger déficit des anions acide faible ( $\text{HCO}_3^-$ ) sur les anions acide fort ( $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ). (Sont des eaux caractérisées par un excès en Ca et Mg au détriment de Na et de K. Ce sont des eaux de salinité moyenne où la présence de Ca et Mg est due à l'altération des minéraux riches en  $\text{Ca}^{+2}$  autre que les carbonates probablement le gypse et/ou l'anhydrite).

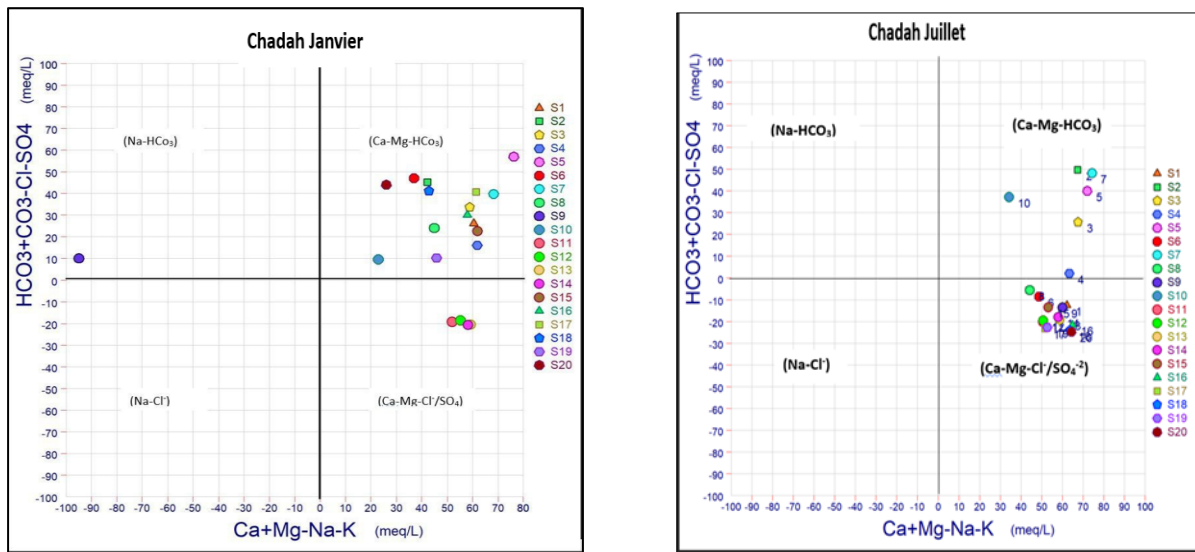


Figure V. 22 :Représentation des échantillons d'eau sur le diagramme de Chadha (Janvier, Juillet 2022)

## V.5 les mécanismes contrôlant la chimie des eaux souterraines :

### V.5.1 Indice de saturation (IS) :

L'examen de l'origine des minéraux de l'eau est essentiel pour déterminer l'équilibre entre l'eau et les minéraux, et mettre en lumière les processus hydro chimiques (Hem 1989). L'évaluation de l'IS s'avère précieuse pour comprendre processus géochimiques dans la zone étudiée et peut identifier l'origine des ions dissous (Hendry & Wassenaar 2000).

Cette analyse contribue à une compréhension plus complète de la composition chimique de l'eau et de ses interactions géologiques. (Zaidi et al. 2015). Pour cela, la tendance des formes chimiques entre la phase dissoute et la phase minérale a été examinée.

L'indice de saturation (SI) du logiciel Phreeqc est généralement utilisé pour déterminer l'origine des ions dissous dans l'eau (Parkhurst 1999) et également essentiel pour déterminer la saturation de l'eau en minéraux (Figure.3). Son utilisation nous a permis de calculer les indices de saturation de certains minéraux tels que la calcite, l'aragonite, la dolomite, le gypse, l'anhydrite et l'halite dans des échantillons d'eau (Garrels et Mackenzie 1967).

Cette simulation montre que l'indice de saturation des minéraux carbonatés (aragonite, calcite et dolomite) indique une saturation élevée et donc une tendance à la précipitation. Le facteur d'altération des minéraux carbonatés a contribué à la saturation ou à la saturation élevée de ces eaux (Datta, 1996).

L'indice de saturation est important Pour déterminer le degré d'équilibre entre l'eau et les minéraux. On a pu calculer l'indice de saturation de l'anhydrite, de l'aragonite, de la calcite, de la dolomite, du gypse et de l'halite. L'indice de saturation des eaux souterraines est exprimé par la formule ci-dessous :

$$IS = \text{Log PAI}/K_{sp}$$

**IS** : Indice de saturation.

**IAP** : est le produit de l'activité ionique des espèces qui composent la minéralisation.

**K<sub>sp</sub>** : constante de solubilité à l'équilibre.

Le minéral est saturé ou sursaturé par rapport à la solution lorsque l'indice de saturation est positif et sa tendance à se précipiter dans les eaux souterraines. La valeur négative d'IS suggère que l'eau est sous-saturée par rapport au minéral indiquant la dissolution de ce dernier. Le minéral est en équilibre avec les eaux souterraines, si la valeur IS est nulle et n'a pas tendance à précipiter ou à dissoudre les minéraux.

*Tableau V. 7: Résultat de l'indice de saturation dans les minéraux carbonatés et évaporitiques (janvier 2022).*

Nom	Anhydrite	Aragonite	Calcite	CO2(g)	Dolomite	Dolomite(d)	Gypsum	Halite
S1	-1,69	0,68	0,83	-2,63	1,54	0,95	-1,44	-7,28
S2	-2,22	0,95	1,1	-3,42	1,88	1,29	-1,97	-7,39
S3	-1,78	0,58	0,73	-2,59	0,88	0,3	-1,53	-7,61
S4	-1,75	1,34	1,5	-3,75	2,74	2,13	-1,5	-7,38
S5	-2,3	1,12	1,27	-3,12	2,37	1,77	-2,05	-7,57
S6	-2,53	1,03	1,19	-3,25	2,09	1,49	-2,28	-7
S7	-1,88	1,08	1,24	-3,07	2,22	1,62	-1,63	-7,4
S8	-1,6	0,82	0,94	-1,49	1,72	1,29	-1,62	-6,6
S9	-1,9	0,95	1,1	-2,49	2,11	1,56	-1,67	-6,37
S10	-2,5	0,31	0,45	-2,88	0,8	0,23	-2,26	-6,79
S11	-1,8	0,08	0,23	-2,97	0,19	-0,4	-1,55	-7,37
S12	-1,74	-0,18	-0,03	-2,57	-0,32	-0,91	-1,49	-7,38
S13	-1,78	0,4	0,56	-3,32	0,77	0,18	-1,53	-7,42
S14	-1,72	-0,32	-0,17	-2,47	-0,7	-1,28	-1,48	-7,42
S15	-1,66	0,67	0,82	-2,63	1,55	0,96	-1,41	-7,19
S16	-1,75	0,85	1	-2,75	1,52	0,95	-1,51	-7,47
S17	-1,84	0,96	1,12	-2,81	2,02	1,42	-1,59	-7,27
S18	-1,83	0,65	0,8	-2,5	0,72	0,11	-1,58	-7,18
S19	-1,76	1,31	1,44	-2,3	3	2,55	-1,7	-6,42
S20	-2,38	1,21	1,36	-3,3	2,57	1,99	-2,14	-6,91

Les valeurs de l'indice de saturation pour l'halite, le gypse et l'anhydrite sont négatives, de sorte que tous les échantillons sont sous-saturés en ces éléments, ce qui traduit l'enrichissement de

l'eau en sulfates et en calcium (Figure.VI.28). Le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) et l'halite ( $\text{NaCl}$ ) peuvent donner plusieurs types de minéraux tels que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{SO}_4$  (Runnels, 1956). En outre, cela suggère que la dissolution de l'halite est un processus majeur dans la zone d'étude et qu'elle n'est donc qu'une source de  $\text{Na}^+$  et de  $\text{Cl}^-$  (Dib.H, 2008)

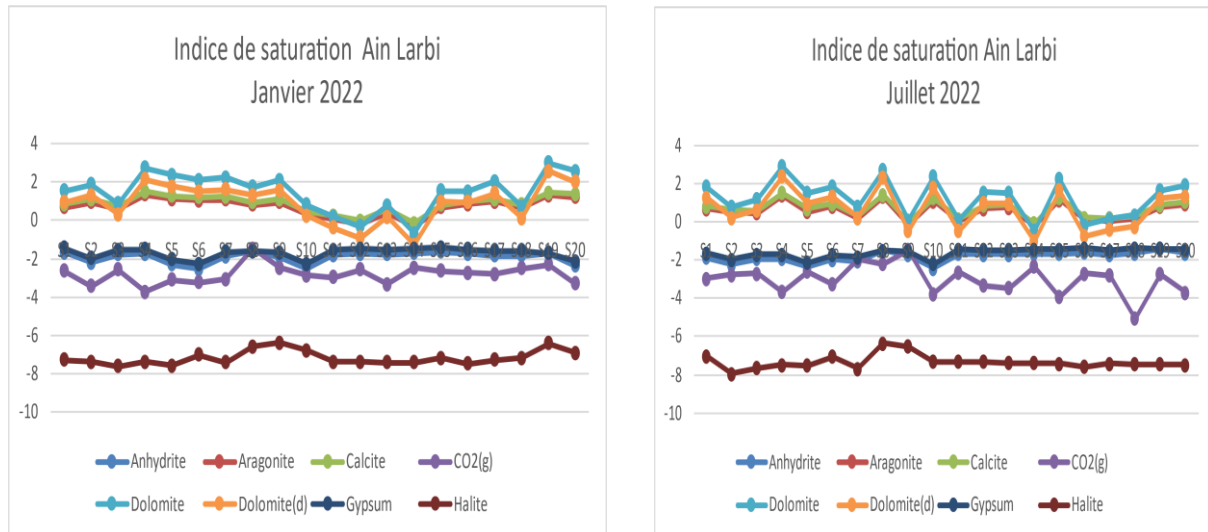


Figure V. 23: Changement de l'indice de saturation dans les minéraux carbonatés et évaporitiques (janvier .Juillet 2022).

Les indices de saturations obtenues pour l'Aragonite varient de -0,32 à 1,34 suivi par celui de la Calcite qui varie de -0.03 à 1,5 et enfin celui de la dolomite varie de -0,32 à 3. La Dolomite varie de - 0.4 à 2.55 Tous les points ont atteint les degrés de saturation c'est-à-dire que l'eau ne peut plus dissoudre l'aragonite ni la calcite ni la dolomite d'où l'appauvrissement en calcium et magnésium (Figure VI. 23).

Les degrés de saturation de l'anhydrite enregistrent des indices qui varient de -2,53 à -1,6 (Où tous les points d'eau analysés n'ont pas atteint le degré de saturation), suivi de gypse dont l'indice varie entre -2,28 jusqu'à -1,41, suivit par celui de l'Halite varie entre -7,57 à -6,91 traduisant le degré de sous-saturation ce qui implique que l'eau peut dissoudre ces deux minéraux (appauvrissement en calcium et de sulfates).

### V.5.2 Diagramme de Gibbs :

Le chimisme des eaux souterraines est un aspect majeur de la détermination de son utilisation à des fins domestiques et d'irrigation. Le chimisme des eaux souterraines est grandement contrôlé par l'interaction de l'eau souterraine avec les minéraux de l'aquifère. Les contributions

de l'interaction roche/sol-eau et des influences anthropiques sur les eaux souterraines peuvent être étudiées par divers processus hydrogéochimiques (Singh et al 2011). Pour obtenir un aperçu des processus hydrogéochimiques, Gibbs (1970) a proposé deux diagrammes de dispersion illustrant trois mécanismes naturels importants contrôlant le chimisme des ions majeurs de l'eau souterraine ; l'interaction eau-roche, l'évaporation et la précipitation.

Le diagramme de Gibbs a été utilisé pour étudier la relation entre la chimie de l'eau et la lithologie des aquifères.

A cet effet, les diagrammes ont été tracés en fonction des concentrations de TDS en fonction des rapports pondéraux de  $Na^+ + K^+ / (Na^+ + K^+ + Ca^{2+})$  pour les cations et  $Cl^- / (Cl^- + HCO_3^-)$  pour les anions (fig. V.29).

Il a été constaté que la majorité des échantillons prélevés des eaux de source sont dominés par la dissolution des roches, ce qui reflète le rôle de ce phénomène sur la chimie de ces eaux (Adams et al. 2001).

Cela a reflété l'importance des interactions eau-roche en tant que principale source d'ions dissous contrôlant la composition chimique de ces eaux (Li et al., 2015, Raju et al., 2015).

Les différents ions observés dans l'eau de source de la zone d'étude sont supposés résulter de l'altération des roches carbonatées situées dans le bassin (Hendry 2000 ; Zaidi et al. 2015).

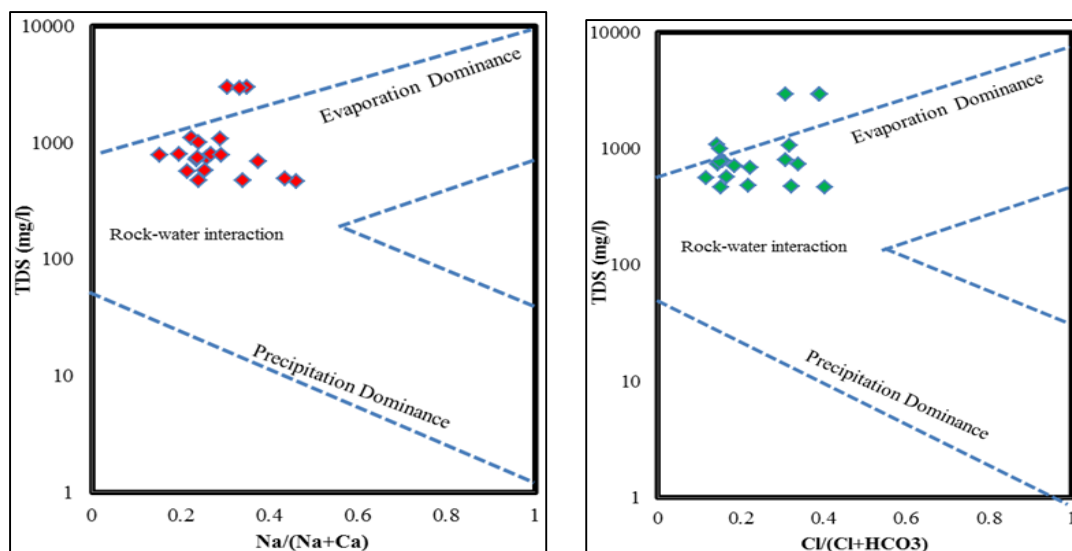


Figure V. 24: Diagramme de Gibbs présentant les mécanismes contrôlant la chimie des eaux souterraines.

En tenant compte du contexte géologique de la zone d'étude, on peut également penser que le calcium  $Ca^{++}$  peut provenir de l'altération de la calcite (ou des carbonates de calcium). Le

magnésium est supposé provenir des processus de dissolution de la dolomie. L'augmentation des proportions de magnésium peut s'expliquer par le phénomène de dissolution de la dolomie et la formation de carbonates de calcium. Les ions bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) peuvent provenir de l'altération de minéraux tels que la calcite ou de la combinaison du dioxyde de carbone atmosphérique ou contenu dans le sol avec des molécules d'eau lors des précipitations (Meybeck 1987).

### **V.5.3 Approche statistique pour la corrélation des minéraux dans les eaux souterraines :**

L'ACP est une technique statistique multi variée. Elle est utilisée pour diminuer le nombre de variables, sans sacrifier trop d'informations (Farnham et al. 2003 ; Chitrakar et al. 2020). Chaque échantillon d'eau d'une campagne de prélèvement constitue une unité statistique, les différents paramètres soumis à l'analyse constituent les variables qui caractérisent ces unités statistiques (Ghrieb, 2011).

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive son objectif est de présenter, sous forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Diday et al. 1982, philipeau, 1992). Ce tableau doit être constitué en lignes par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives (Gaudin, 1982, Dervin, 1992).

Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque (Biémi 1992). Elle permet de mettre en évidence les ressemblances et la position graphique que présenteraient deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0. (Logiciel utilisé pour l'analyse de la statistique élémentaire. Il se caractérise par sa rapidité et ces différents modules. L'analyse de l'A.C.P. est faite par ce logiciel qui donne des résultats complets. Il permet de calculer la matrice de corrélation, L'étude des variables, L'étude des individus, et l'établissement des cercles de corrélation, ainsi que le calcul de paramètres de base tel que le maximum, la moyenne, l'écart-type, le coefficient de variation. Il permet de tracer les histogrammes de fréquence avec des courbes normales (Cloutier et al. 2008).

Cette technique a été utilisée dans l'évaluation de la qualité des eaux souterraines, où la possibilité est de regrouper les échantillons d'eaux souterraines grâce à l'établissement de

corrélations entre les paramètres de qualité physico-chimiques et de connaitre l'origine (Prasanna et al. 2010).

L'ACP appliquée sur les paramètres standardisés, confirme les résultats relatifs à la source de minéralisation précédemment obtenus par l'approche de l'indice de saturation.

Les résultats obtenus à partir de la matrice de corrélation montrent des corrélations hautement significatives, avec un coefficient supérieur à 0.60 pour les couples  $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ , EC, Sal avec  $0,62 > r < 0,81$ , et  $Na^+$  ( $K^+$ ,  $Cl^-$ , EC, Sal) avec  $0,74 > r < 0,87$ , et les couples  $K^+$  ( $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ , EC, Sal) avec  $0,68 > r < 0,84$ , les derniers couples  $Cl^-$  (EC, Sal) avec  $r = 0,92, 0,93$  respectivement. Il n'y a pas de corrélation inverse hautement significative entre les variables (Zhu, X. 2022). Ces corrélations ( $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ) avec la salinité et l'EC identifient les principaux éléments contribuant à l'augmentation de la salinité des eaux souterraines (sources) dans la zone d'étude. La corrélation la plus forte entre  $Na^+$  et  $Cl^-$  ( $R = 0,87$ ) indique la dissolution de l'halite dans les sédiments aquifères (Tableau. VI.7).

*Tableau V. 8:Matrice de corrélation inter-éléments.*

Variables	Ph	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub>	CE	Sal
<b>Ph</b>	1.00													
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	-0.35	1.00												
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	-0.02	<b>0.68</b>	1.00											
<b>Na<sup>+</sup></b>	-0.24	<b>0.63</b>	0.49	1.00										
<b>K<sup>+</sup></b>	-0.33	<b>0.77</b>	0.38	<b>0.77</b>	1.00									
<b>HCO<sub>3</sub></b>	0.08	<b>0.62</b>	0.34	0.37	<b>0.68</b>	1.00								
<b>SO<sub>4</sub></b>	-0.31	-0.10	-0.10	-0.45	-0.35	-0.27	1.00							
<b>Cl<sup>-</sup></b>	-0.30	<b>0.73</b>	0.48	<b>0.87</b>	<b>0.84</b>	0.45	-0.31	1.00						
<b>NO<sub>3</sub></b>	-0.31	0.11	-0.13	-0.01	0.21	0.02	-0.11	-0.13	1.00					
<b>PO<sub>4</sub></b>	-0.34	0.42	0.00	0.19	0.39	0.35	-0.14	0.14	0.50	1.00				
<b>NO<sub>2</sub></b>	-0.10	0.26	0.37	0.20	0.17	0.11	0.50	0.28	-0.36	-0.04	1.00			
<b>NH<sub>4</sub></b>	-0.12	-0.12	-0.27	0.00	-0.01	-0.22	0.21	0.11	0.19	0.09	0.18	1.00		
<b>EC</b>	-0.40	<b>0.79</b>	0.43	<b>0.74</b>	<b>0.80</b>	0.51	-0.13	<b>0.92</b>	-0.02	0.33	0.29	0.24	1.00	
<b>Sal</b>	-0.41	<b>0.81</b>	0.45	<b>0.76</b>	<b>0.82</b>	0.51	-0.14	<b>0.93</b>	-0.03	0.32	0.29	0.18	1.00	1.00

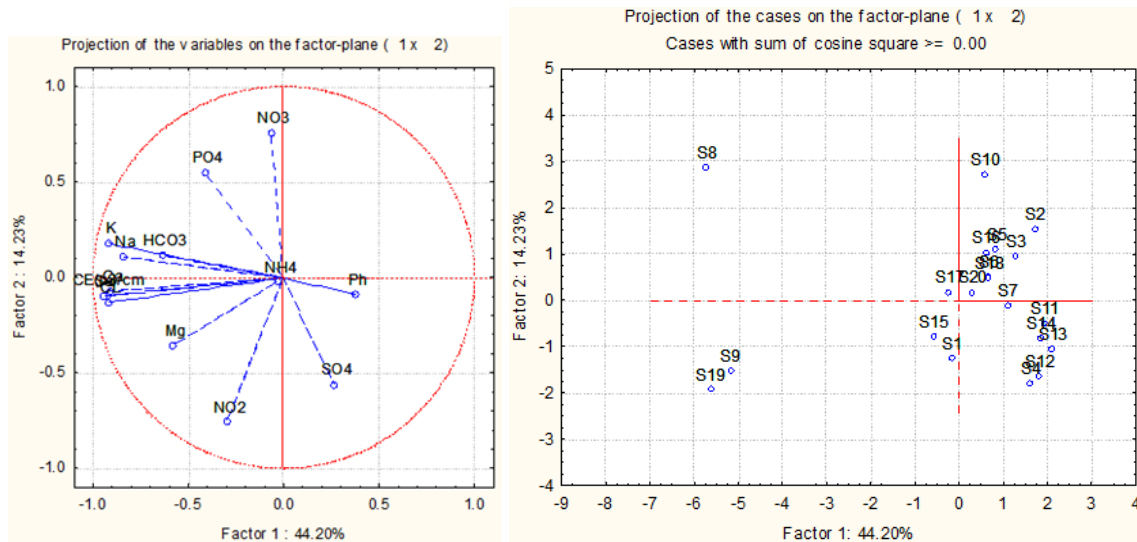


Figure V. 25: Projection des variables et des individus sur le plan factoriel F1/F2 (janvier 2022).

L'étude des valeurs propres montre qu'il y a deux axes à utiliser pour l'interprétation des résultats puisqu'ils représentent 58,43% de la variance totale. Le facteur F1 représente 44,20% de la variance totale et est exprimé positivement par la Salinité, la Conductivité électrique et les éléments  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  et  $SO_4$ . Confirmant la dominance des éléments carbonatés (établis par l'indice de saturation). Ce facteur nous informe sur le résultat de la minéralisation de ces eaux. Entre ces différents éléments, il existe un coefficient de corrélation élevé. (Figure VI.25).

Le facteur F2, qui ne représente que 14,23% de la variance totale, reflète une opposition entre les nitrates, les nitrites et le pH. Cela peut montrer une probable pollution agricole avec la possibilité d'une réaction de dénitrification.

Sur le plan factoriel F1/F2 des individus presque tous les échantillons sont regroupés au centre montrant une légère minéralisation sauf pour certains des individus tels que S8, S19 et S9, S10 [10] ou la minéralisation peut être plus importante ceci peut être expliqué par la conductivité de ces trois individus qui dépasse  $4000\mu S/cm$ .

#### V.5.4 Les mécanismes d'échanges d'ions :

L'utilisation de l'indice d'échange de base (i.e.b.) permet de mettre en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain. Il indique le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existant dans l'eau (Scholler 1934).

Au cours de son trajet souterrain, l'eau rentre en contact avec différentes substances qui ont la propriété d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans l'eau. Parmi ces substances, nous avons les minéraux argileux : l'hydroxyde ferrique et les substances organiques .

Schoeller en 1934 a précisé que l'indice d'échange de base ou l'Indice Chloro-Alcalin (I.C.A) comme étant le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants, lorsqu'il y'a échange de Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> de l'eau, contre les alcalino –terreux des argiles alors ; les résultats trouvés des valeurs d'indice d'échange de base sont tous inférieurs à 1.

Tableau V. 9: Classification de l'eau selon le l'indice d'échange de base ICA (1).

Limite	Processus d'échange
CAI<0	Ca <sup>2+</sup> et Mg <sup>2+</sup> de l'eau sont échangés par Na <sup>+</sup> et K <sup>+</sup> .
CAI=0	Pas d'échanges.
CAI>0	Na <sup>+</sup> et K <sup>+</sup> de l'eau sont échangés par Ca <sup>2+</sup> et Mg <sup>2+</sup> .

Un deuxième indice d'échange (ICA) est proposé par Schoeller en 1977 qui permet de mettre en évidence les modifications de la chimie de l'eau au cours de son circuit souterrain, c'est la relation entre les ions échangés et les ions de même nature existant initialement dans l'eau (Brown et al. 1972 ; Kankal et al. 2012).

Pour comprendre les réactions chimiques sous-jacentes à cet échange ionique, l'étude des Indices Chloro-alcalins ICA (1) et ICA (2) est essentielle, offrant ainsi des informations précieuses sur les mécanismes hydro chimiques dans l'aquifère de la région d'étude ainsi que les eaux de source (Z. ALIA & al. 2018) (India.t et all.2009).

L'ICA (1) et l'ICA (2) se calculent par les relations suivantes :

$$CAI(1) = \frac{Cl-(Na+K)}{Cl} \quad CAI(2) = \frac{Cl-(Na+K)}{SO4+HCO3+NO3} \cdot \text{En meq/l}$$

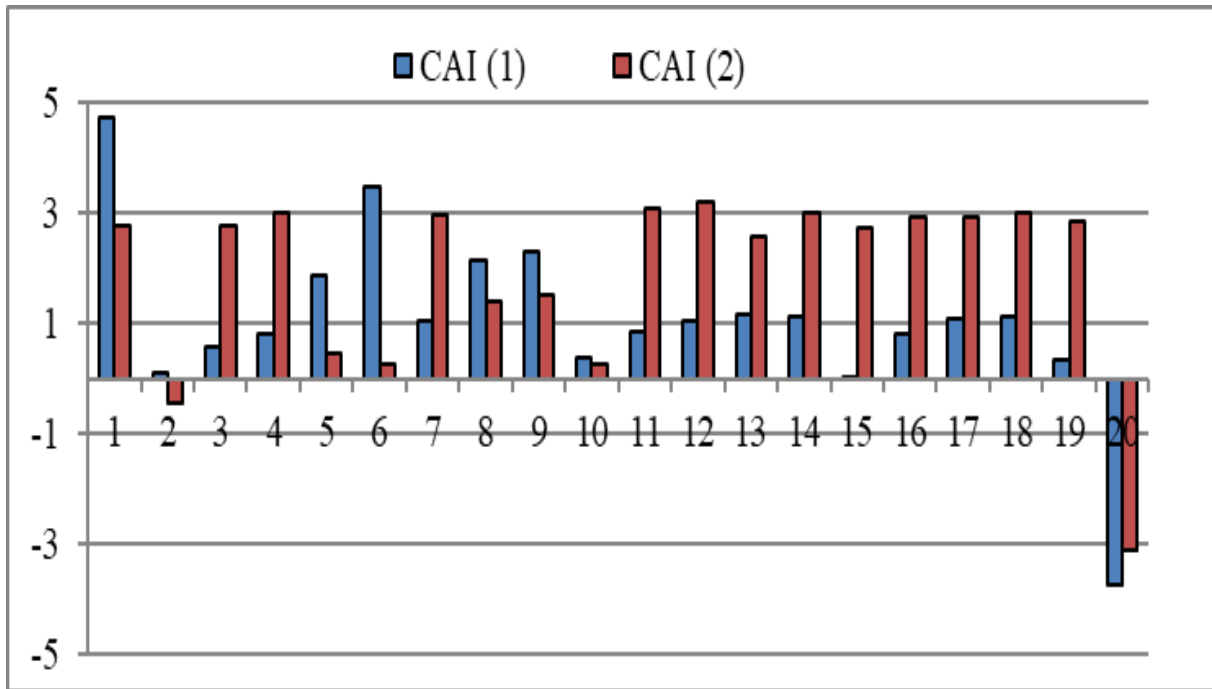


Figure V. 26: Valeurs des indices d'échange CAI (1) et CAI (2) (juillet, janvier 2022)

La prédominance des valeurs positives de CAI (1) reflète la substitution des ions de sodium et potassium du sol par le calcium et le magnésium de l'eau.

Un échantillon (S20) a une valeur CAI (1), CAI (2) négative montrant que les ions calcium et magnésium de l'eau sont échangés par les ions potassium et sodium de l'aquifère du sol. Et la teneur en sodium et en potassium est élevée, c'est-à-dire que l'eau a été fortement en contact avec des minéraux capables de céder facilement ces cations interchangeables (Abderamane, 2012 ) ayant une concentration plus élevée en  $\text{HCO}_3^-$  ( $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) (Ravikumar et al. 2011).

Cela confirme que la minéralisation est influencée par les processus d'interaction eau-roche démontrés par le diagramme de Gibbs utilisé précédemment pour montrer les mécanismes contrôlant la chimie des eaux souterraines (Vadde et al. 2018, Singh A. K., et al. 2005).

### V.6 Indice de la qualité de l'eau :

L'un des moyens les plus efficaces à décrire la qualité de l'eau est l'indice de qualité de l'eau (IQE), qui fournit un nombre unique qui exprime la qualité globale de l'eau à un certain endroit et à un moment donné en fonction de plusieurs paramètres de qualité physiques, chimiques et biologiques de l'eau qui sont difficile à évaluer à partir d'un grand nombre d'échantillons, chacun

contenant des concentrations pour de nombreux paramètres. L'objectif de l'IQE de réduire une masse de données complexes sur la qualité de l'eau en une seule valeur pour exprimer les données sous une forme simplifiée et logique.

#### **V.6.1 Historique Des Indices De La Qualité De L'eau :**

Les modèles d'indice de qualité de l'eau (IQE) sont des outils utiles pour agréger et évaluer ces données, produisant un indice unique qui représente la qualité de l'eau d'un plan d'eau. Ces indices sont largement utilisés par les agences de gestion de l'eau en raison de leur simplicité et de leur facilité d'interprétation. Les modèles IQE se composent généralement de quatre étapes : la sélection des paramètres de qualité de l'eau, la conversion des données en sous-indices adimensionnels, l'attribution de pondérations aux paramètres et le calcul de l'indice global. De nombreux modèles IQE existent, chacun ayant ses spécificités et ses sources d'incertitude. L'histoire du développement de l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) est Bien que les modèles IQE n'aient été développés que ces 50 dernières années. (Horton, 1965) a développé le premier modèle IQE dans les années 1960, en se basant sur 10 paramètres de qualité de l'eau jugés significatifs dans la plupart des plans d'eau. (Brown 1970), avec le soutien de la National Sanitation Foundation, a développé une version plus rigoureuse du modèle IQE de Horton, le IQE de NSF, pour lequel un panel de 142 experts en qualité de l'eau a contribué à la sélection et à la pondération des paramètres.

Plusieurs autres modèles IQE ont été développés par la suite, en se basant sur l'IQE de NSF. En 1973, le Scottish Research Développement Département (SRDD) a développé son propre IQE de SRDD, qui était également basé en partie sur le modèle de Brown, utilisé pour évaluer la qualité de l'eau des rivières. L'indice Bascaron (1979), l'indice House (1986) et l'indice Dalmatian sont tous des dérivés ultérieurs de l'IQE de SRDD. Le SRDD a ensuite développé le modèle Environnemental Quality Index (EQI) pour l'évaluation de la qualité de l'eau dans les écosystèmes des Grands Lacs.

Un autre développement important a été l'indice de qualité de l'eau de la Colombie Britannique, développé par le ministère de l'Environnement, des Terres et des Parcs de la Colombie Britannique au milieu des années 90. Il a été utilisé pour évaluer l'état de qualité de nombreux plans d'eau dans la province de la Colombie-Britannique, au Canada. Il convient de noter que l'IQE de la Colombie-Britannique s'est révélé être le plus sensible à la conception de l'échantillonnage et le plus dépendant de l'application spécifique des objectifs de qualité de

l'eau. Le groupe de travail sur les lignes directrices de qualité de l'eau du Conseil canadien des ministres de l'Environnement a développé l'IQE de CCME en 2001 après avoir examiné et révisé le modèle IQE de la Colombie-Britannique. Ce modèle est reconnu par le CCME depuis 1990. Récemment, des modèles tels que l'indice Liou, l'indice malaisien et l'indice Almeida ont également été développés. À ce jour, plus de 35 modèles IQE ont été introduits par différents pays et/ou organismes pour évaluer la qualité de l'eau de surface dans le monde entier.

### V.6.3 L'indice De Qualité De L'eau Arithmétique Pondérée :

Dans le but de voir l'aptitude dans le domaine d'alimentation en eau potable des eaux de source de la commune de Ain Larbi ; on a utilisé l'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée selon (Brown et al. 1972).

Il peut être calculé à l'aide de onze variables mesurées de chaque échantillon d'eau de source prélevé dans la zone d'étude. Les étapes de calcul de l'indice sont suivies, d'abord un poids ( $W_i$ ) est attribué de 1 à 5 pour chacun des paramètres (pH, CE,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $HCO^{-3}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{-2}$ , TH,  $NO^{-3}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$  et  $NO^{-2}$ ) selon leur importance dans la qualité.

Le tableau ci-dessous présentant les paramètres de qualité de l'eau, ses unités et les limites admissibles selon (World Health Organization (WHO), 1993 & 2011) , (ICMR, 1975), (BIS, 2012).

*Tableau V. 10 : Paramètres de qualité de l'eau, ses unités et limites admissibles.*

Parameter	Units	Permissible limits	Ideal value
Potential Hydrogen (pH)	-	8,5	7
Electrical Conductivity (EC)	$\mu S/cm$	2800	0
Dissolved Oxygen (DO)	mg/l	5	14,6
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	mg/l	0,5	0
Phosphate (PO <sub>4</sub> )	mg/l	0,5	0
Nitrate (NO <sub>3</sub> )	mg/l	50	0
Nitrite (NO <sub>2</sub> )	mg/l	0,1	0
Total Alkalinity (TA)	mg/l	200	0
Total Hardness (TH)	mg/l	500	0
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/l	1000	0
Calcium (Ca)	mg/l	200	0
Magnesium (Mg)	mg/l	150	0
Sodium (Na)	mg/l	200	0
Potassium (K)	mg/l	12	0
Chloride (Cl)	mg/l	250	0
Sulphate (SO <sub>4</sub> )	mg/l	250	0

**V.6.4 Calcul de l'indice de qualité de l'eau (méthodologie) :**

Dans notre étude, les différentes composantes de la qualité de l'eau sont multipliées par un facteur de pondération (c'est quoi ce facteur ??) et sont ensuite agrégés en utilisant moyenne arithmétique simple. La méthode de l'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée classe la qualité de l'eau en fonction du degré de pureté en utilisant des variables de qualité de l'eau les plus couramment mesurés. La méthode a été largement utilisée par les différents scientifiques (Chauhan & Singh 2010 ; Rao et al. 2010 ; Abbasi & Abbasi 2012 ; Balan et al. 2012 ; Chowdhury et al. 2012) et le calcul de l'IQE a été fait (Brown et al. 1972) en utilisant l'équation suivante :

$$IQE = \sum Qi Wi / \sum Wi.$$

$Q_i$  = cote de qualité pour le ième paramètre de qualité de l'eau

$W_i$  = poids unitaire pour le ième paramètre.

- **Calcul du sous-indice de la cote de qualité ( $Q_i$ ) :**

Soit  $i$  des paramètres de qualité de l'eau où la cote de qualité ou le sous-indice ( $Q_i$ ) correspondant aux paramètres de l'eau polluée par rapport à sa valeur standard admissible, donc cette valeur  $Q_i$  peut être calculée en utilisant cette expression :

$$Q_i = 100 [(V_i - V_0) / (S_i - V_0)]$$

$V_i$  = Valeur estimée du ième paramètre à une station d'échantillonnage d'eau donnée (valeur mesurée à la station).

$S_i$  = valeur standard admissible du ième paramètre.

$V_0$  = Valeur idéale du ième paramètre dans l'eau pure (normalement 0 pour tous les autres paramètres à l'exception des paramètres pH et oxygène dissous qui sont respectivement de 7 et 14,6 mg/l).

Le poids unitaire peut être calculé par une valeur inversement proportionnelle à la valeur standard recommandée  $S_i$  du paramètre correspondant :

$$W_i = K S_i$$

Où **K** : Constante de proportionnalité, qui peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$K = 1/\sum\left(\frac{1}{S_i}\right)$$

Le Tableau VI.15 représente les cinq (05) classes de qualité de l'eau basée sur la méthode IQE Arithmétique Pondéré où la valeur maximale admissible pour l'eau potable a été prise comme 100 points.

Tableau V. 11: Evolution de la qualité de l'eau selon L'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée.

WA-WQI value	Water status	Indicator
0-25	Excellent water quality.	Safe water uses without treatment
26-50	Good water quality.	
51-75	Poor water quality.	Water Treatment before use
76-100	Very poor water quality.	
>100	Unsafe for human consumption.	

UN exemple de calculs de l'indice de la qualité de l'eau arithmétique pondéré sur les 20 sources, en utilisant les normes de potabilité OMS, est mentionnés dans le tableau ci-dessous (Tab VI.16)

Tableau V. 12 :Exemple de calcul de l'indice de qualité de l'eau pour la source S1, (les échantillons de la campagne Juillet 2022).

Parameter	S <sub>i</sub>	1/S <sub>i</sub>	∑(1/S <sub>i</sub> )	K = 1/∑(1/S <sub>i</sub> )	W <sub>i</sub> = K/S <sub>i</sub>	V <sub>0</sub>	V <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	W <sub>i</sub> * Q <sub>i</sub>
Ph	8,5	0,1176	6,175	0,161	0,019	7	8,3	86,66	1,650
EC	2500	0,0004	6,175	0,161	6,47698E-05	0	1010	40,4	0,002
DO	5	0,2	6,175	0,161	0,032	14,6	6	89,58	2,901
NH4	0,5	2	6,175	0,161	0,323	0	0,013	2,6	0,842
PO4	0,3	3,33	6,175	0,16	0,539	0	0,031	10,33	5,577
NO3	50	0,02	6,175	0,161	0,003	0	10,53	21,06	0,068
NO2	3	0,33	6,175	0,161	0,053	0	0,041	1,36	0,073
TA	200	0,005	6,175	0,161	0,0008	0	210,00	105	0,085
TH	500	0,002	6,175	0,161	0,0003	0	312,95	62,59	0,020
TDS	600	0,0016	6,175	0,161	0,0002	0	715,46	119,243	0,032
Ca	75	0,013	6,175	0,16	0,0021	0	52,6	70,13	0,151
Mg	30	0,03	6,175	0,16	0,0053	0	44,1	147	0,793
Na	200	0,005	6,175	0,16	0,0008	0	21,05	10,52	0,008
K	10	0,1	6,175	0,16	0,016	0	1,5	15	0,242

Cl	250	0,004	6,175	0,16	0,00064	0	175,3	70,12	0,045
SO4	150	0,006	6,175	0,16	0,001079497	0	154,15	102,76	0,110
		<b>6,175</b>			1			<b>WQI =</b>	<b>12,61</b>

Dans notre étude, l'indice de qualité de l'eau de sources de la région de Ain Larbi, concernant les 16 paramètres physico-chimiques à savoir pH, EC, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, TA, TH, TDS, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub>, a été calculé, les résultats sont indiqués dans le tableau VI. 13 ci-dessus, la même procédure a été suivie pour calculer le reste des indices pour l'ensemble des sources, durant la période janvier et juillet 2022.

Les échantillons d'eau de source prélevés à Ain Larbi présentent des valeurs de pH légèrement supérieures à la neutralité, tout en restant conformes aux normes de potabilité établies par l'OMS. De même, les teneurs en ions majeurs (Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>) demeurent inférieures aux seuils recommandés par cette organisation, traduisant une qualité chimique globalement satisfaisante de l'eau.

Tableau V. 14 :Les valeurs globales de L'IQW de ( Janvier 2022).

Date	WA-WQI	Excellent WQ	Good WQ	Poor WQ	Very Poor	Poor
S01	42,02	25	50	75	100	
S02	13,54	25	50	75	100	
S03	31,36	25	50	75	100	
S04	45,43	25	50	75	100	
S05	10,56	25	50	75	100	
S06	37,51	25	50	75	100	
S07	20,10	25	50	75	100	
S08	42,53	25	50	75	100	
S09	41,51	25	50	75	100	
S10	9,58	25	50	75	100	
S11	55,41	25	50	75	100	
S12	43,49	25	50	75	100	
S13	40,64	25	50	75	100	
S14	32,13	25	50	75	100	
S15	45,52	25	50	75	100	
S16	37,52	25	50	75	100	
S17	32,43	25	50	75	100	
S18	24,56	25	50	75	100	
S19	48,92	25	50	75	100	
S20	47,97	25	50	75	100	

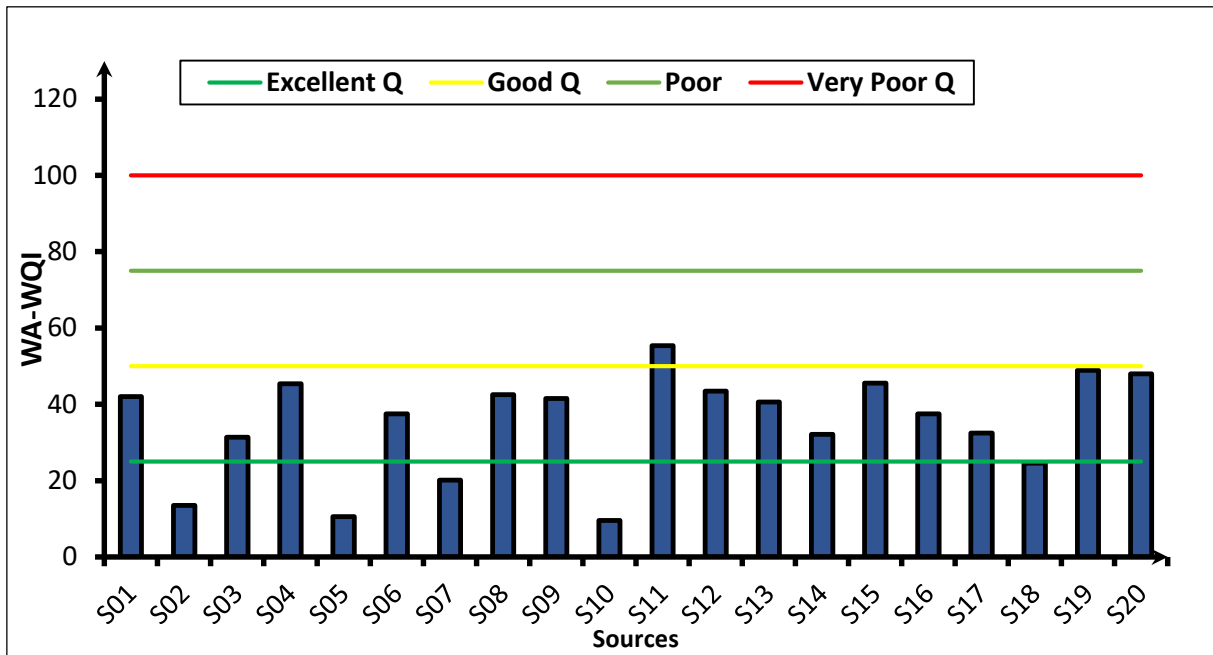


Figure V. 27: Valeur de l'indice de qualité arithmétique pondérée des eaux de sources, (Janvier 2022).

En fait, la qualité des eaux de sources en saison humide 2022 basée sur le nombre d'indice arithmétique pondéré (Brown et al. 1972) représentant presque l'aptitude globale de l'eau énoncée par les classes de qualité excellente 25% (S2, S5, S7, S10) et bonne 70 % (S1, S4, S6, S8, S9, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20). (Adams et al. 2001) indiquant l'utilisation de l'eau sans danger pour la consommation humaine et à des fins domestiques et agricole. Alors que 5% des échantillons analysés (S11) présente un risque pour la consommation humaine en raison de la concentration élevée de  $\text{NH}_4$ , dont l'origine dans les échantillons d'eau provient d'engrais chimiques tant que la région étudiée a une vocation agricole (Zaidi et al. 2015).

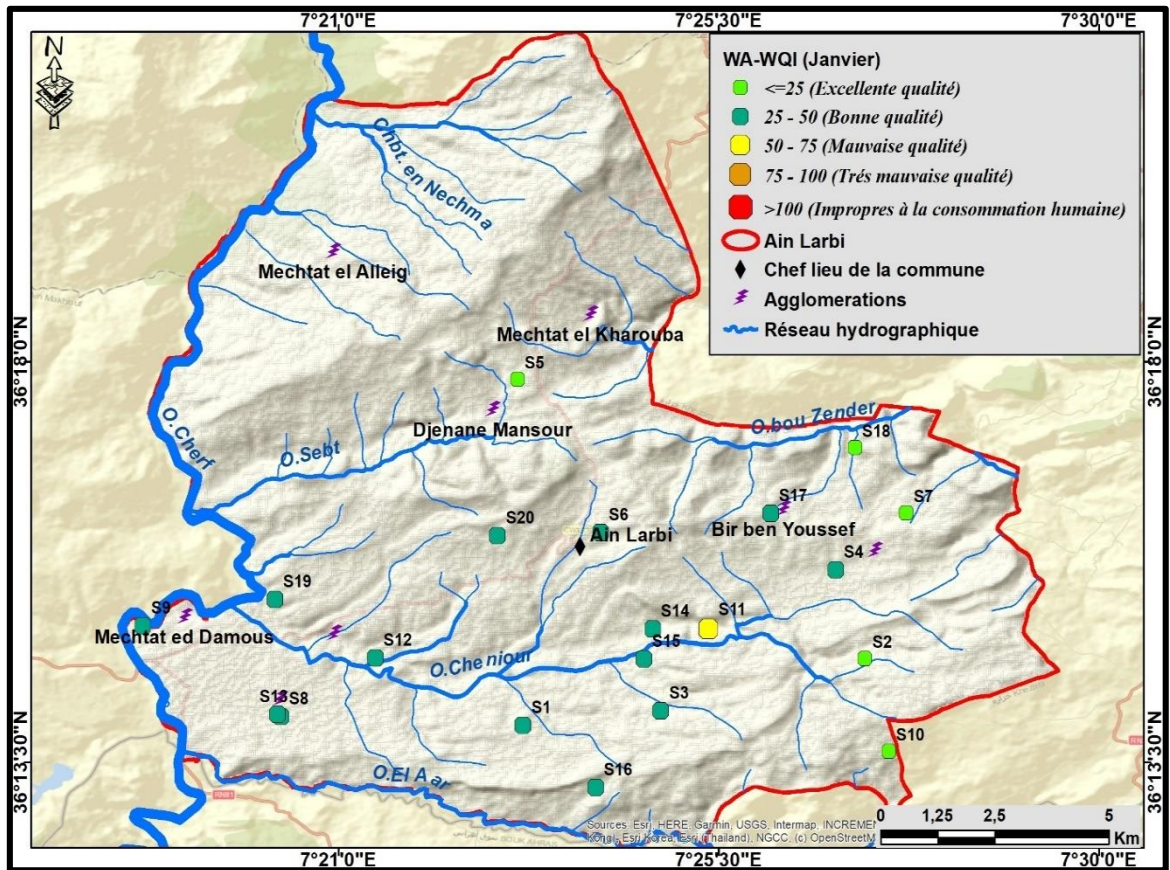


Figure V. 28: indice de qualité de l'eau (IQE) (janvier 2022).

Durant la période humide (janvier), la majorité des stations basculent vers la classe **excellente** à **bonne (25–50)**, sauf le point S11, se classent dans la catégorie dégradée. Cette amélioration est directement liée à la **recharge hivernale** qui favorise la dilution des polluants et le renouvellement de la nappe. Ainsi, la qualité des eaux souterraines est **fortement dépendante du régime pluviométrique**, avec une vulnérabilité accrue en saison sèche.

Tableau V. 15: Les valeurs globales de L'IQW ( Juillet 2022)

Date	WA-WQI	Excellent WQ	Good WQ	Poor WQ	Very Poor WQ	Poor
S01	31,74	25	50	75	100	
S02	15,38	25	50	75	100	
S03	36,11	25	50	75	100	
S04	51,24	25	50	75	100	
S05	14,01	25	50	75	100	
S06	29,93	25	50	75	100	
S07	17,43	25	50	75	100	
S08	36,78	25	50	75	100	

S09	24,80	25	50	75	100
S10	7,15	25	50	75	100
S11	55,88	25	50	75	100
S12	63,39	25	50	75	100
S13	55,90	25	50	75	100
S14	52,86	25	50	75	100
S15	52,79	25	50	75	100
S16	58,21	25	50	75	100
S17	42,15	25	50	75	100
S18	37,07	25	50	75	100
S19	52,02	25	50	75	100
S20	73,69	25	50	75	100

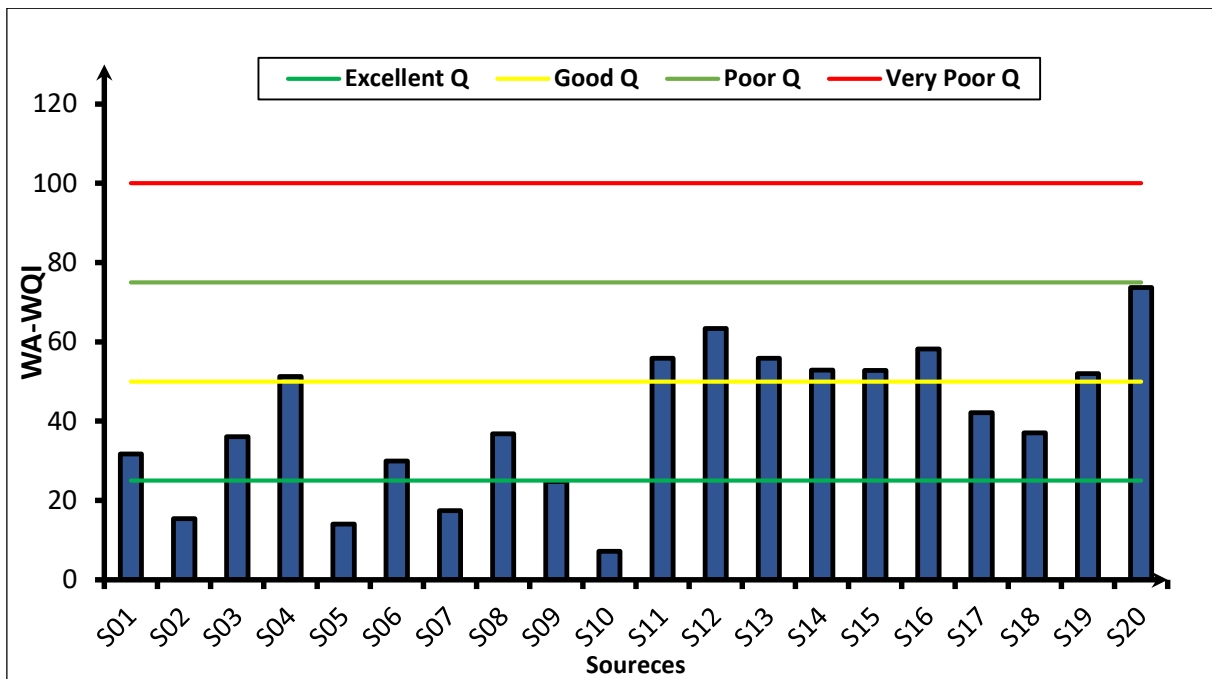


Figure V.34 : Valeur de l'indice de qualité arithmétique pondérée des eaux de sources (Juillet 2022)

D'après l'analyse du graphe, il ressort que durant la saison sèche, cinq (05) échantillons d'eau de source (S2, S5, S7, S9 et S10), soit 25 % du total, présentent une qualité **excellente**, rendant leur consommation sans risque pour la santé humaine (Mahmood et al., 2020). Six (06) autres échantillons (S1, S3, S6, S8, S17 et S18), représentant 30 %, se classent dans la catégorie de **bonne qualité**, ce qui autorise leur utilisation sans traitement préalable (Fig. VI.34). En revanche, les neuf (09) échantillons restants (S4, S11, S12, S13, S14, S15, S16, S19 et S20), soit 45 % du total, sont classés dans la catégorie de **mauvaise qualité**. Cette dégradation est principalement attribuée au paramètre **nitrates (NO<sub>2</sub>)**, dont la moyenne pondérée ( $W_i \times Q_i$ )

atteint 50, suivi du paramètre **ammonium** ( $\text{NH}_4^+$ ) avec une valeur moyenne de 10. Ces résultats soulignent la nécessité d'un suivi rigoureux de la qualité des eaux dans la région, en particulier en lien avec l'utilisation d'engrais chimiques, identifiés comme principale source de contamination.

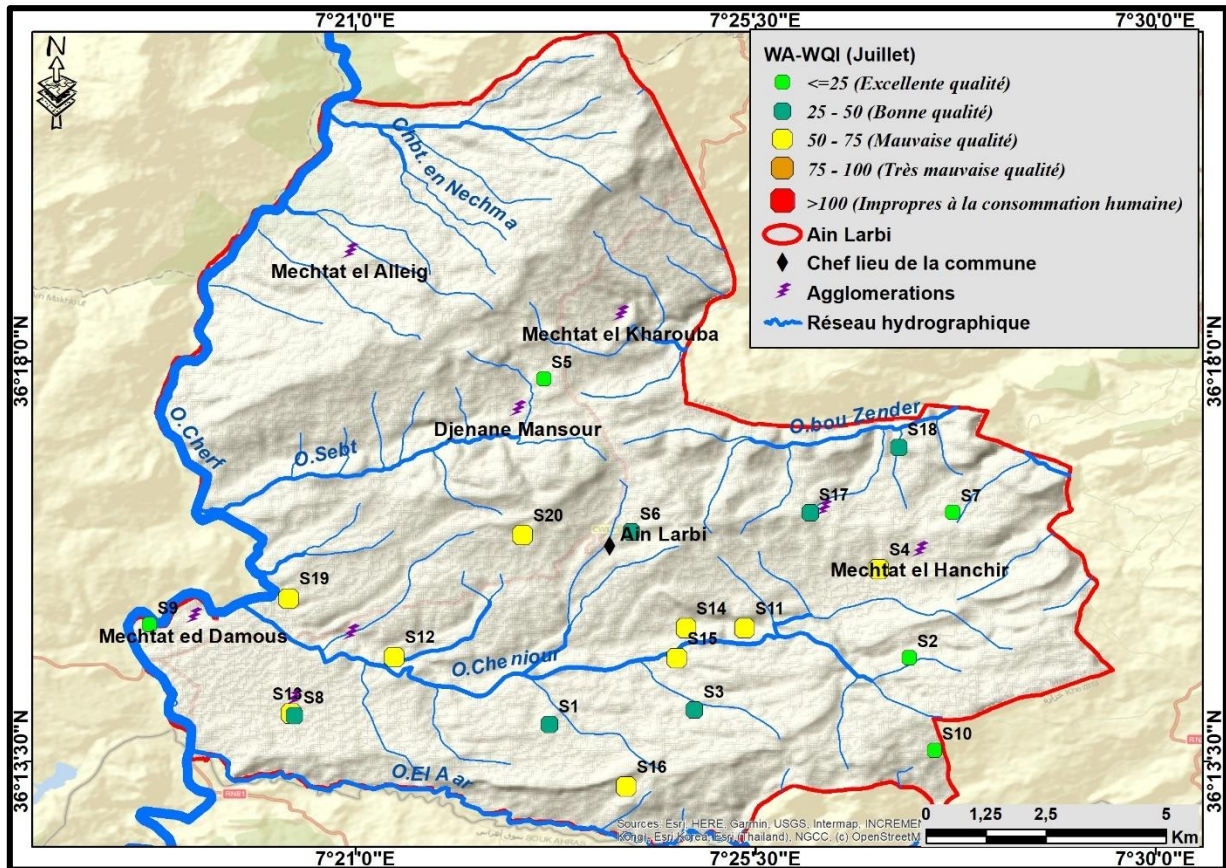


Figure V. 29: indice de qualité de l'eau (IQE) (Juiellet 2022).

La carte de l'indice de qualité de l'eau (IQE) de la commune d'Aïn Larbi pendant la saison sèche révèle une **forte hétérogénéité spatiale**. Les points situés au Nord et ponctuellement à l'Ouest présentent une **qualité excellente à bonne (IQE < 50)**, Cela reflète la préservation relative des zones de recharge. En revanche, la majorité des stations, notamment au centre et au Sud, appartiennent à la classe de **mauvaise qualité (50–75)**, en lien avec l'agriculture, les rejets domestiques et le lessivage des sols à proximité des oueds. Ainsi, les eaux souterraines sont **partiellement aptes à la consommation**, mais nécessitent un **traitement adapté** dans les secteurs dégradés.

**Conclusion :**

Les eaux souterraines de la région de Ain Larbi sont la principale ressource en eau pour l'irrigation et l'usage domestique. Cette ressource s'est considérablement détériorée tant en qualité et en quantité, en raison de l'utilisation excessive de l'aquifère, l'augmentation de la population et par le changement climatique. La variation des paramètres physico-chimiques des eaux de sources, est due soit à des facteurs naturels (terrains) ou bien facteur entropiques (activité humaine).

Le pH des eaux varie pour la plupart des échantillons entre 7 et 8.5, ce qui indique que les eaux analysées sont pour la plupart neutres à alcalines et ne dépassent pas les normes établies par l'OMS. Les résultats des valeurs de la conductivité électrique lors des deux campagnes de prélèvements indiquent des variations entre 361  $\mu\text{S}/\text{cm}$  1625  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les sources froides, et de 4020  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 4430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pour les eaux thermales. Ces résultats dépassent quelque peu (relativement) les normes recommandées par l'OMS dans quelques sources (pour les eaux froides), contrairement pour les eaux chaudes, ou les valeurs de CE sont très élevées).

L'analyse descriptive des éléments nutritifs (nitrates, nitrites, ammonium et orthophosphate) montre des concentrations inférieures aux normes établis par l'OMS, ce qui indique l'absence de pollution agricole. Indépendamment de l'unique valeur de  $\text{NH}_4$  enregistré au niveau de la source S11 (0.9 mg/L) qui dépasse la norme (0.5 mg/l), ceci est dû à l'utilisation des engrais agricole et l'élevage intensif de la région.

Les eaux souterraines appartiennent au faciès hydro chimique des eaux de type :

80 % type Bicarbonaté calcique reflétant les calcaires éocène et 20%, chloruré calcique influencées par les formations numidiennes de la région d'étude.

L'application du diagramme Chahda pour les eaux souterraines de Ain Larbi, a permet de voir que la majorité des échantillons se trouvent classer dans le groupe II et à moindre degré dans le groupe I.

Selon les diagrammes de piper et Chadah en ressort que l'eau des ressources étudiées est riche en  $\text{Ca\_Mg\_HCO}_3$  et  $\text{Ca\_Mg\_Cl}$ .

Les résultats obtenus des analyses bactériologiques indiquent une contamination par des germes microbiologiques permettant de conclure que les eaux de ces sources que consomme la communauté d'Ain Arbi, ne répondent pas aux normes d'une eau potable et présente un risque sanitaire à moyenne terme pour la population.

Les indices de saturation montrent que la plupart des échantillons sont en sursaturation par rapport aux minéraux carbonatés (calcite, aragonite et dolomite) et en sous-saturation par rapport au gypse, anhydrite et halite (minéraux évaporitiques).

D'après le diagramme de Gibbs, les échantillons prélevés pendant les deux périodes basses et hautes eaux (janvier, juillet 2022) indiquent une interaction entre les échantillons étudiés et les formations rocheuses, ce qui suggère une dissolution des minéraux évaporitiques tels que le gypse [CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O] et l'halite [NaCl].

L'indice d'échange de base est remarqué par une prédominance des valeurs positives de CAI (1) reflète la substitution des ions sodium et potassium du sol par le calcium et le magnésium de l'eau. Cela signifie que les ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> présents dans l'eau sont remplacés par les ions Mg<sup>2+</sup> et Ca<sup>2+</sup> provenant des formations géologiques encaissées.

L'analyse de l'indice de qualité de l'eau (IQE) dans la commune d'Aïn Larbi met en évidence une **forte variabilité saisonnière**. En période sèche (juillet), la majorité des stations présentent une **qualité moyenne à mauvaise**, traduisant l'effet de la concentration des sels dissous et des pollutions agricoles et domestiques. En revanche, en période humide (janvier), la qualité s'améliore nettement, avec la plupart des points classés en **excellente ou bonne qualité**, (à l'exception de la station S11) grâce à la recharge et à la dilution liées aux précipitations. Ainsi, la qualité des eaux souterraines est **largement influencée par le régime pluviométrique**, ce qui souligne la nécessité d'une **surveillance régulière et d'un traitement adapté** dans les zones les plus vulnérables.

Afin d'assurer une gestion durable de la ressource en eau souterraine dans la commune d'Aïn Larbi, plusieurs actions sont à envisager. Il est recommandé de :

- Mettre en place un **suivi régulier de la qualité** à travers des campagnes d'analyses physico-chimiques et bactériologiques, particulièrement (surtout en saison sèche).
- Réduire la **pollution agricole** par une gestion raisonnée des engrais et pesticides.
- Améliorer les **infrastructures d'assainissement** pour limiter les rejets domestiques.
- **Protéger les zones de recharge** de la nappe.
- Sensibiliser la **population locale** à la préservation de la ressource.
- Recourir à des **traitements adaptés** dans les zones vulnérables.

## **Chapitre VI : Aptitude des eaux de sources à l'irrigation**

## **Introduction :**

Actuellement, la croissance démographique et les activités agricoles menacent les ressources en eaux souterraines et de surface dans le monde entier, modifiant ainsi leur quantité et leur qualité. Etant donné que notre région d'étude est une commune à vocation agricole par excellence, elle n'est pas à l'abri de ce fléau.

On définit généralement l'irrigation comme étant l'apport d'eau au sol dans le but d'assurer l'humidité nécessaire au développement des plantes. Le risque de pollution est lié à des facteurs agricoles provoqués par l'utilisation d'engrais et de pesticides, et à des facteurs anthropiques tels que le rejet de déchets et l'utilisation de fosses septiques (Amrani 2016). L'irrigation joue un rôle essentiel dans la quantité et la qualité du rendement des cultures. Les pratiques d'irrigation agricole visent principalement à améliorer les rendements des cultures ( Foster & Perry 2010 ; Rao et al. 2021 ).

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer la qualité des eaux souterraines de l'aquifère de la zone d'étude à des fins d'irrigation.

Des études ont été réalisées précédemment concernant l'hydrochimie et l'utilisation des eaux souterraines à des fins agricoles. En conséquence, une évaluation complète de la qualité des eaux souterraines est essentielle à la gestion de l'eau agricole, à une production alimentaire adéquate et à la compréhension de son utilité pour divers besoins.

La qualité chimique des eaux souterraines est influencée par plusieurs éléments tels que l'interaction entre l'eau et la roche, la durée de cette interaction, le changement climatique, la recharge, la structure géologique, la lithologie et les processus géochimiques de l'aquifère. Cette interaction pourrait conduire à la dégradation des eaux souterraines à partir de composants indésirables qui affectent leur qualité (Drever 1997 ; Salama et al. 1999 ; Subramani et al. 2010 ; Hassen et al. 2016). Les eaux souterraines sont également affectées par les activités humaines qui introduisent des contaminants dans l'environnement (Amrani et al.2019 ; Kadaoui et al.2019 ; Zakaria et al.2020).

Dans cette partie, notre attention est portée sur les eaux de sources, qui sont les seules ressources d'approvisionnements en eau potable dans cette région. L'évaluation de la qualité de ces ressources à des fins agricoles repose sur des analyses physiques et chimiques.

## **VI.1 Aptitude de la Qualité des eaux souterraines à l'irrigation :**

Afin d'évaluer et classer la qualité des eaux souterraines utilisées pour l'irrigation dans la zone d'étude, divers paramètres responsables de la qualité de l'eau d'irrigation ont été mesurés et analysés, citant le taux d'adsorption du sodium (SAR), le pourcentage de sodium (Na %), conductivité électrique (CE), l'indice de perméabilité (IP), risque de magnésium (MH), salinité potentielle (PS), indice de Kelley (KI), dureté totale (TH), (TDS).

Des paramètres comme Na%, CE, SAR, IP, ont été utilisés pour des présentations graphiques à l'aide de diagrammes. Le diagramme de Richards (Riverside) a été utilisé à l'aide du programme DIAGRAMS version 6.5 (Simler 2009) pour déterminer l'effet commun du risque de salinité ; EC par rapport au risque SAR de sodium correspondant.

Le diagramme de Wilcox a été utilisé à l'aide du programme DIAGRAMS version 6.5 (Simler 2009) pour examiner l'effet commun du danger du sodium  $\text{Na}^+$  (%) par rapport au danger de la salinité EC correspondante.

Le diagramme de Doneen, dont le quel Doneen a présenté les divisions de la qualité de l'eau d'irrigation sur la base de l'indice des IP. Les eaux des classes I et II sont classées comme « bonnes » et « adaptées » à leur perméabilité maximale supérieure (El-Amier, Y.A. ; et al.2021). Ce Diagramme a été généré à partir du programme Microsoft Excel en traçant les valeurs de la concentration totale d'ions par rapport à leurs valeurs IP correspondantes.

Le diagramme de salinité des États-Unis a été préparé à l'aide des paramètres EC et SAR de tous les échantillons d'eau souterraine. Le diagramme de la salinité (le diagramme USSSL) représente la relation entre les dangers de salinité (exprimés en valeurs communautaires) et la teneur en sodium dans l'eau (exprimée en termes de coefficient d'absorption du sodium, SAR ; concentrations en  $\text{meq L}^{-1}$ ).

### **VI.1.1 Conductivité Electrique (Ce) :**

Elle évalue la capacité de la matière ou de la solution à transporter le courant électrique. La conductivité électrique des eaux souterraines augmente en fonction de la température et fluctue en fonction de la quantité de TDS.

Il s'agit le plus souvent de chlorure de sodium (sel de table) et peut être représenté par du sulfate de sodium, du chlorure de calcium, du sulfate de calcium, du chlorure de magnésium et autres. Certains des nombreux éléments dissous dans l'eau favorisent la plante et leur présence est utile, mais parfois ces éléments utiles peuvent devenir nocifs si leur concentration est trop élevée. Ce paramètre et déjà soulevé au début du chapitre.

La classification de l'eau d'irrigation repose principalement sur la CE et la concentration en sodium. En plus d'avoir un impact direct sur la croissance des plantes, les sels ont également un impact sur la structure, la perméabilité et l'aération du sol, ce qui a un impact indirect sur la croissance des plantes.

Tableau VII.1. Il ressort que les conductivités électriques appartiennent aux classes (C2 et C3), ce qui traduit qu'elles sont aptes pour l'irrigation. Merabet (2010) Présente une classification détaillée avec les classes suivantes :

*Tableau VI. 1 : Classification de la conductivité électrique Merabet (2010).*

Conductivité électriques ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Qualité des eaux	%
C.E. < 100	minéralisation très faible	00
100 < CE < 200	minéralisation faible	00
200 < CE < 333	minéralisation moyenne	00
333 < CE < 666	minéralisation moyenne accentuée	20%
666 < C.E. < 1000	Minéralisation importante	55%
C.E. > 1000	minéralisation élevée	25%

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Metahri, 2012), et d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous.

### **VI.1.2 Total des solides dissous TDS :**

Le taux des sels dissous est la quantité totale des sels minéraux dissous dans l'eau. L'avantage d'utiliser de l'eau avec une valeur TDS inférieure à environ 300 à 500 mg L<sup>-1</sup> est souvent considérée comme excellente, tandis qu'un niveau TDS supérieur à environ 1 200 à 1500 mg L<sup>-1</sup> n'est pas acceptable pour l'irrigation

La minéralisation est en fonction de la géologie des terrains traversés. Cette quantité influence la conductivité. La TDS est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles ? La TDS est composé des sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans les eaux incluent le Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, et Na<sup>+</sup>, qui sont des cations et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, NO<sup>3-</sup>, HCO<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> qui sont des anions. Ces minéraux peuvent provenir d'un certain nombre de sources naturelles ainsi que des activités humaines.

Dans les échantillons d'eau d'irrigation testés, la plage de TDS allait de 492.74 à 3765.5 mg/L<sup>-1</sup> il est mentionné qu'une EC élevée dans l'eau peut rendre le sol salin. Ainsi, la valeur EC joue un rôle essentiel dans la détermination de l'aptitude de l'eau à des fins d'irrigation (Tableau VII.3 ). Parmi les échantillons analysés, 20 % des échantillons étaient dans la bonne catégorie (TDS compris entre 300 et 600 mg L<sup>-1</sup>), 20 % des échantillons appartenaient à la catégorie passable (TDS compris entre 600 et 900 mg L<sup>-1</sup>), 30% des échantillons appartenaient à la catégorie faible et les 30% restants appartenaient à la catégorie inacceptable (TDS > 1200 mg L<sup>-1</sup>).

LA periode

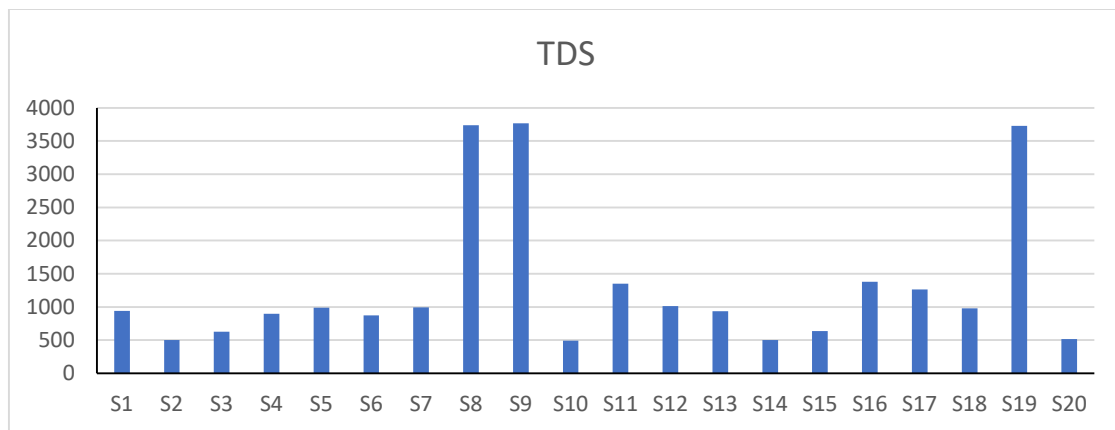


Figure VI. 1 : *Hystogramme de TDS*

Tableau VI. 2: *Grille de classement des TDS des eaux de la région de Ain Larbi.*

TDS (mg/l)	Evaluation	%TDS calculés (échantillons)
Moins de 300	Excellent	0 %
300-600	Bien	20%
600-900	Passable	20%
900-1200	Faible	30%
Plus de 1200	Inacceptable	30%

### VI.1.3 Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le potentiel d'hydrogène est défini par la concentration en ions d'hydrogène (H<sup>+</sup>). Cette mesure est représentée sur une échelle allant de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), et le point neutre à 7 pour une solution à 25°C. La précision de la mesure du pH est essentielle sur le terrain et peut être réalisée à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie. (Rodier, 1996). Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons. (VILLERS Juliette et al.2005)

Les résultats de PH des eaux de source dans la région étudiée varie entre 7.3 et 9 ; en moyenne, mais sans écarts notables (Fig VII.3). 50 % Alcalin et 50% normale et répondant à la norme de de sécurité de l'OMS, qui fixe des valeurs de pH entre 7.0-8.5.et de 6.5 à 8.5 pour les normes Algériennes. L'OMS précise qu'un faible pH peut poser des problèmes de corrosion et un pH élevé peut entraîner des problèmes de goût et de consommation accrue de savon ; elle recommande un pH inférieur à 8 pour une bonne désinfection par le chlore. (Rodier, 2009).

Tableau VI. 3 :classification des eaux selon leur pH (C.I.E, 2005).

Ph < 5	Acidité forte ; présence d'acides minéraux ou organique dans les eaux de naturelles.
Ph = 7	Ph neutre.
7 < pH < 8	Neutralité approchée ; majorité des eaux de surface.
5.5 < Ph < 8	Majorité des eaux souterraines.
PH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense.

#### VI.1.4 Risque de sodium (Na%) :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est vitale pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité des sols et la protection de l'environnement au même temps, la qualité de l'eau d'irrigation est fortement influencée par les constituants terrestres de la source d'eau. Pour cette raison, La qualité de l'eau d'irrigation est généralement évaluée en fonction de facteurs. Le pourcentage de sodium est l'un des indicateurs les plus importants. Il est largement utilisé pour évaluer la qualité de l'eau à des fins d'irrigation (Wilcox, 1948). Il est calculé par la formule proposée par Doneen (1962) ;

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

Le % de Na est déterminé en calculant la proportion relative de tous les cations disponibles dans l'eau à l'aide de l'équation précédente.

Dans cette formule, les concentrations de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> sont exprimées en méq/L. Un excès de sodium avec des ions carbonate contribuera à transformer le sol en sol alcalin, tandis que, le sodium mélangé à des ions chlorure accélérera la formation de sol salin, ce qui à terme aggravera la capacité d'infiltration du sol et réduira la croissance des plantes (Rao, N.K. ; Latha, P.S. 2019). (Sutradhar, S. ; Mondal, P. 2021).

Le pourcentage de sodium (%Na) est souvent utilisé comme paramètre pour évaluer l'adéquation de la qualité de l'eau d'irrigation (Wilcox, L.V,1955). En raison de sa réactivité avec le sol, le sodium est considéré comme un ion important pour la classification de l'eau d'irrigation et, s'il est présent en excès, réduit la perméabilité à l'eau du sol (Vasanthavigar, M. et al., 2012), (Taloor, AK ; et al., 2020). Ainsi que l'augmentation de la concentration de sodium disperse le sol et l'augmentation de la salinité le floccule (Hanson et al., 1999).

Les résultats analytiques ont été tracés sur un diagramme de Wilcox, dont il propose 5 classes d'eau pour l'agriculture pour classer les échantillons d'eau d'irrigation, comme Il montre aussi la relation entre les risques de salinité (exprimés à l'aide des valeurs EC en  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) et la teneur en sodium de l'eau (exprimée en % Na) ( **Salifu, M.** et al., 2017). La distribution spatiale de la teneur en Na% est illustrée à la figure VII.5.

La valeur limite du paramètre spécifié ne doit pas dépasser 60 % dans les eaux d'irrigation. Selon le Tableau **VII.5** la classification de Wilcox (1955) suggère que les eaux de sources étudiées réparties en deux classes ; celle du premier groupe, ou les valeurs de Na % sont compris entre **21.33 %** et **43.30 %** (des eaux bonnes à permmissible pour l'irrigation) ; dont 90% appartiennent à la classe Good ; **10 %** Permissible.

*Tableau VI. 4: Classification des eaux d'irrigation selon le Na (%) (DONNEN 1964)*

Parameter	Range	Water class	%
Na%	< 20	Excellent	0
	20-40	Good	90%
	40-60	Permissible	10%
	60-80	Doubtful	0
	> 80	Insuitable	0

La combinaison du taux de sodium et conductivité électrique nous a permis d'élaborer le Diagramme de Wilcox (1955). Il ressort de ce diagramme que les eaux sont classées dans la catégorie des eaux excellente à bonnes et bonne à permmissible donc aptes pour l'irrigation (Fig VI.5)

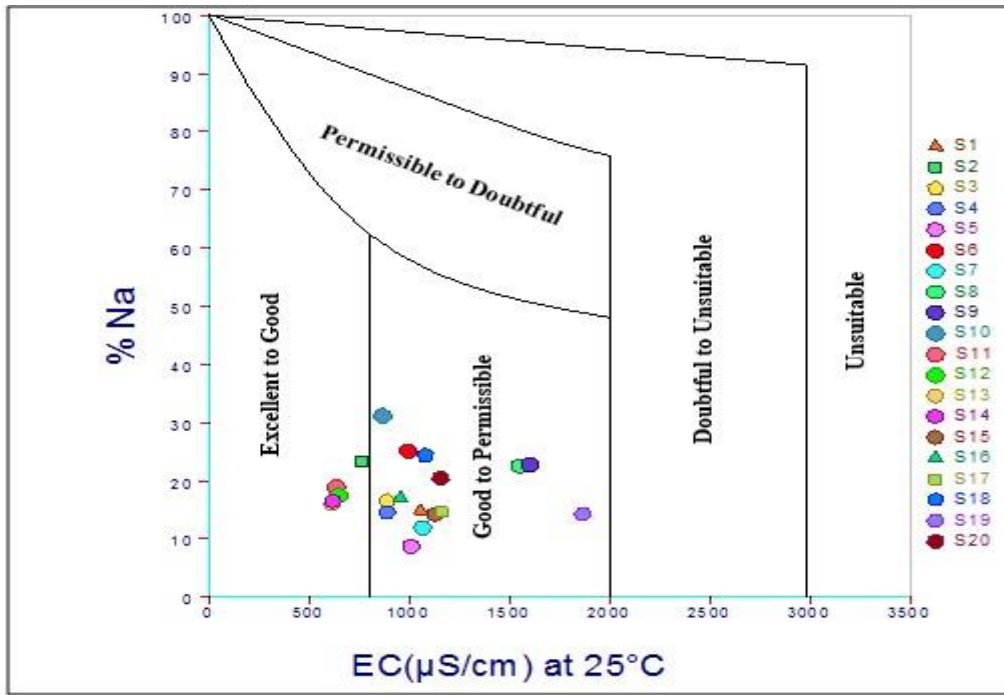


Figure VI. 2: Diagramme de Wilcox dans la zone d'étude

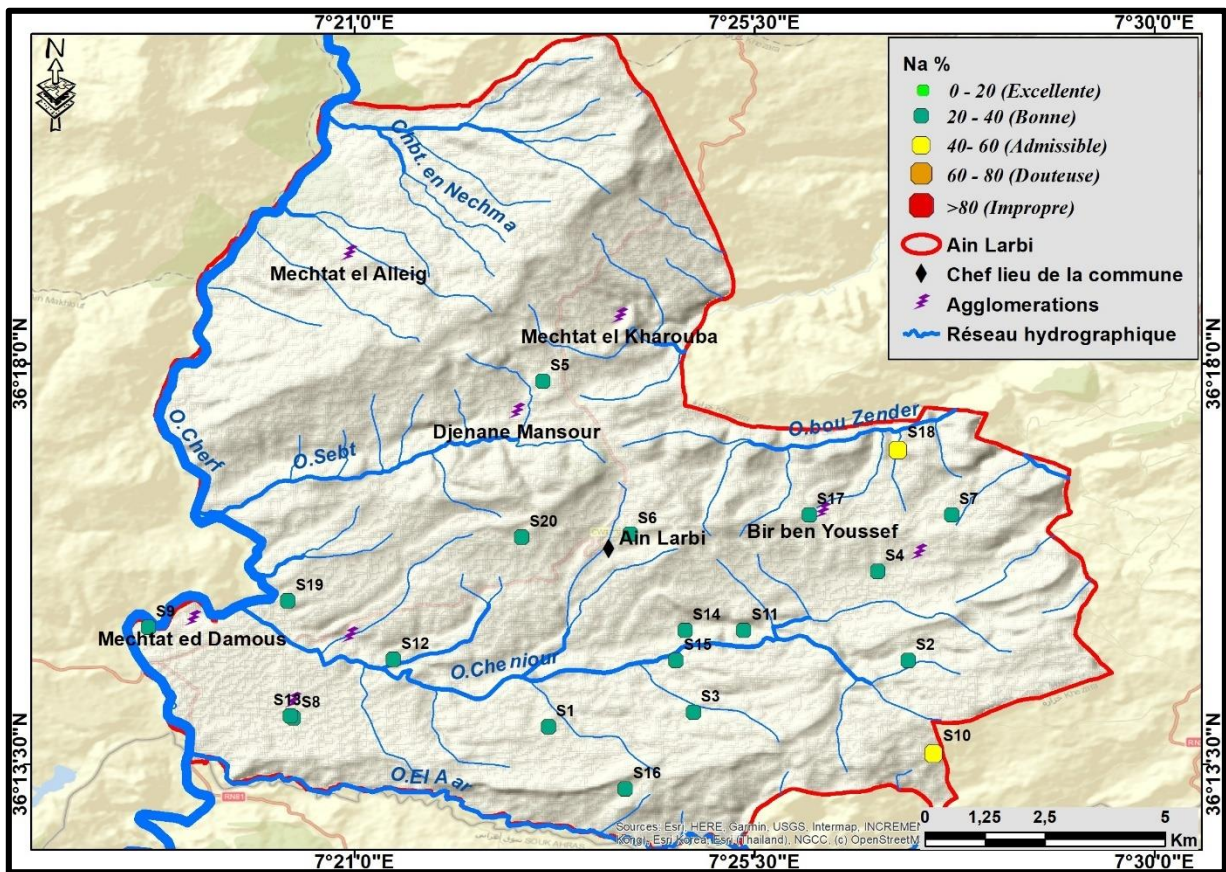


Figure VI. 3 : Distribution spatiale du risque de Na %.

**VI.1.5 Sodium Adsorption Ratio (Sar) (Richards 1954) :**

Le degré auquel l'eau d'irrigation a tendance à entrer dans la réaction d'échange de cations dans le sol peut être indiquée par le rapport d'adsorption de sodium (Richards 1954). Puisque le sodium remplace le calcium adsorbé et le magnésium dans le sol, il est donc exprimé comme suit :

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

Avec : Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> sont en méq/l.

L'excès de sodium dans les eaux souterraines s'adsorbe sur les particules du sol, modifiant ainsi les propriétés du sol et réduisant également la perméabilité du sol (Ayers et Bronson, 1975). Comme montre le Tableau VII.6.

L'irrigation avec de l'eau avec un SAR élevé peut conduire à la formation d'une couche imperméable, ce qui entraîne une réduction de la perméabilité du sol, du drainage interne et de la circulation de l'air, ou une détérioration de la structure du sol.

Selon **Richards (1954)**, le rapport d'adsorption de sodium permet d'évaluer le degré à l'quel l'eau d'irrigation a tendance à participer à la réaction d'échange de cations dans le sol. Étant donné que le sodium substitue le calcium adsorbé et le magnésium présents dans le sol, L'ensemble de tous nos échantillons ont un SAR <10 ; donc excellente pour l'irrigation.

*Tableau VI. 5 : Classification de l'eau d'irrigation en fonction des valeurs du SAR.*

Valeurs du SAR	Qualité de l'eau	%
< 10	Excellente	100 %
10-18	Bonne	0
18 – 26	Médiocre	0
> 26	Impropre	0

Le diagramme de Richards (1954) combine la conductivité et la valeur du SAR. Cette Combinaison, nous a permis d'élaborer le diagramme suivant (**Fig VII.3**). Les seize classes du Diagramme indiquent la mesure dans laquelle les eaux peuvent affecter le sol en termes de risque de salinité. Ces classes sont : faible salinité (C1), moyenne (C2), haute (C3) et très forte salinité (C4) et danger de sodium similaire faible (S1), moyen (S2), élevé (S3) et très élevé (S4).

L'observation de la figure 4 montre que les eaux de sources dans notre région d'étude se répartissent au niveau des classes suivantes : C3S1, C2/S1, Dans le détail et on se référant à l'interprétation globale de la méthode, nous pouvons réaliser les constatations suivantes :

- C2S1 désignent des eaux de bonne qualité convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels.
- C3S1, désignent des eaux médiocres, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.

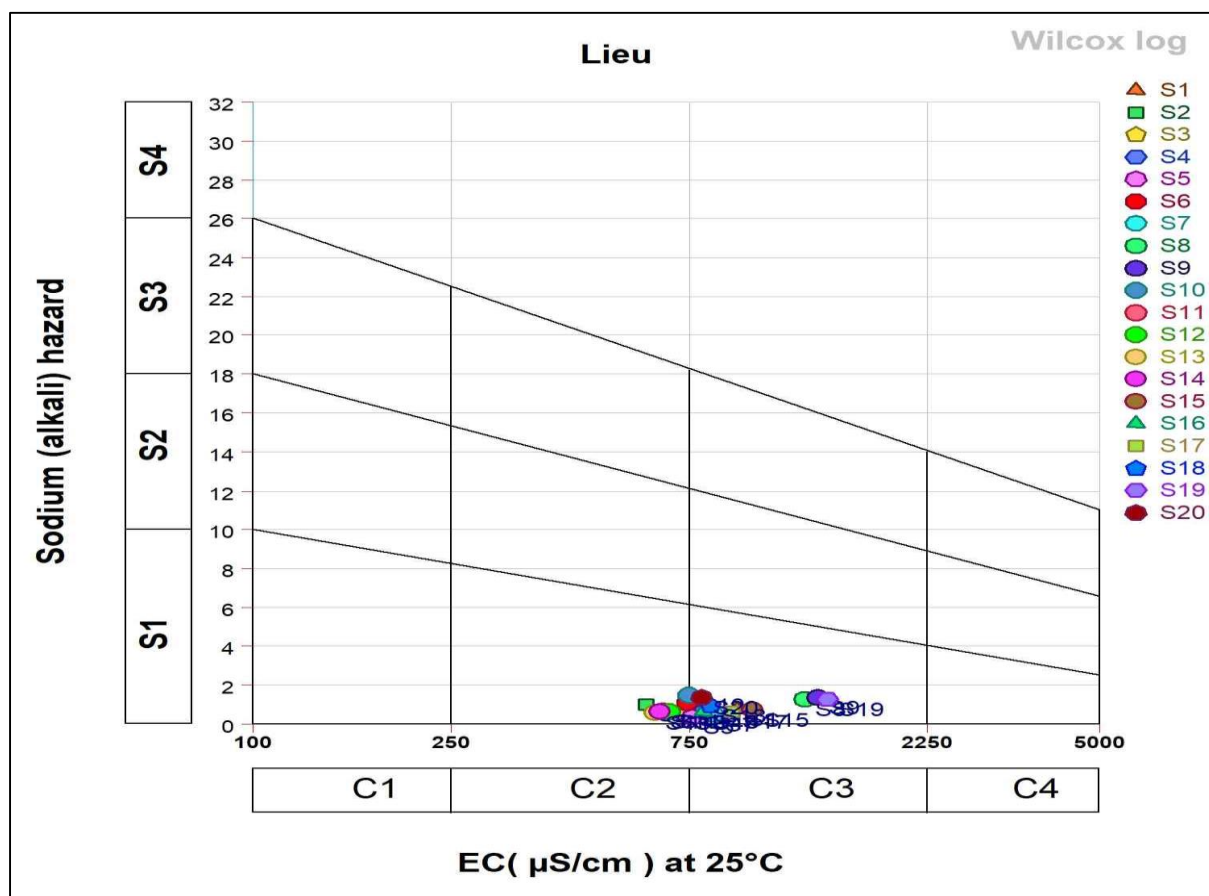


Figure VI. 4:sodium adsorption ratio (SAR) (Richards 1954 )

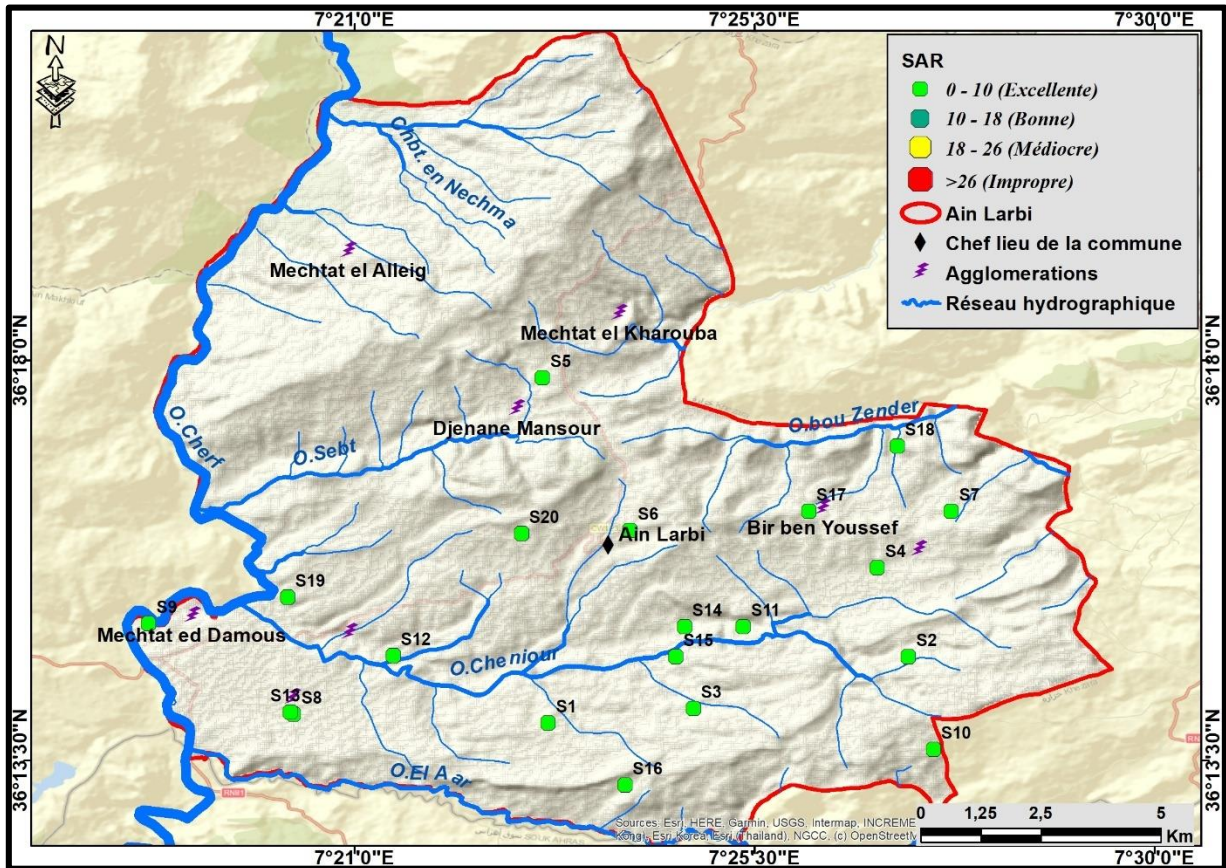


Figure VI. 5: Distrubition spatiale du SAR.

### VI.1.6 Carbonate De Sodium Residuel(Rsc) :

Le carbonate de sodium résiduel (SRC) est un paramètre important, utilisé pour évaluer la tendance de l'eau à précipiter les carbonates de calcium et de magnésium. Il se réfère à l'alcalinité résiduelle. Une valeur élevée de RSC entraîne une augmentation de l'adsorption de  $\text{Na}^+$  dans le sol ce qui réduit la perméabilité du sol et ne favorise pas la croissance des plantes (Rao, 2012), il est calculé pour l'eau d'irrigation par la formule suivante :

$$\text{RSC} = (\text{HCO}_3^- \times 0.0333) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Où  $\text{HCO}_3^-$  est exprimé en mg/l et  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont en méq/l.

En mesurant la différence entre la somme des carbonates et des bicarbonates et la somme du calcium et du magnésium. La valeur résiduelle du carbonate de sodium (RSC) est calculée selon la proposition d'Eaton afin d'évaluer l'effet du danger d'utilisation d'eau d'irrigation, qui est une réaction alcaline.

Ceci est particulièrement important lorsqu'il s'agit de la qualité de l'eau, en particulier de l'eau contenant de fortes concentrations d'ions bicarbonate. **(Desjardins R. 1997).**

Les sols irrigués avec de l'eau de qualité déclarée, avec un niveau élevé de sécurité, peuvent perdre leur capacité de production en raison de la détérioration structurelle due au dépôt de carbonate de sodium.<sup>44</sup> Singraja <sup>62</sup> déclare que l'augmentation de l'alcalinité peut affecter la décomposition de la matière organique du sol, ce qui est également l'une des conséquences négatives de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation qui est de qualité insuffisante.

La capacité d'échange de cations élevée des sols argileux permet d'évaluer l'adéquation de l'eau à l'irrigation en utilisant l'indice RSC. En présence d'une plus grande quantité de sodium dissous par rapport au calcium dissous et au magnésium dans l'eau d'irrigation, les sols argileux gonflent ou se dispersent, ce qui peut entraîner une diminution considérable de sa capacité d'infiltration.

Selon le RSC, les eaux souterraines peuvent être utilisées pour l'irrigation si le système de sécurité est inférieur à 1,25, marginal, si elle est supérieure à 1,25 mais inférieure à 2,50 et ne sont pas adaptées si elle dépasse 2,5 et mauvaise si elle dépasse 5

*Tableau VI. 6: Classification de l'eau pour le RSC.*

RSC	Qualité	Echantillons %
RSC<1.25	Apte à l'irrigation.	50%
1.25 et 2.5	Médiocre	35%
2.25< RSC < 5	Mauvaise pour l'irrigation	15%

Le carbonate résiduel de sodium est classé en 3 catégories : bon, moyen et mauvais. Parmi les échantillons examinés, 50% appartenaient à la classe des eaux dont la valeur du RSC était inférieure à 1,25. Ces eaux sont généralement sans danger pour l'irrigation et 15 % appartenaient au groupe dont la valeur était classée entre 1,25 et 2,5, c'est-à-dire ne se prêtait généralement pas à l'irrigation sans amélioration (moyenne) et 35% de mauvaises qualité

- Les sources S1, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S19 représentent des valeurs de RSC < 1.25 qui sont apte à l'irrigation.
- Les sources S4, S5 et S9 ont des valeurs de RSC comprises entre 1.25 et 2.50 qui sont marginale à l'irrigation.

-Les sources S3, S6, S7, S8, S16, S17, S18 ont des valeurs de RSC supérieures à 2,5 compris entre 2.50 et 4.82 qui sont mauvaises pour l'irrigation.

### VI.1.7 Indice de perméabilité (IP) :

L'indice de perméabilité (IP) est un paramètre essentiel pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation par rapport au sol pour l'amélioration de l'agriculture. L'utilisation à long terme de l'eau d'irrigation peut affecter la perméabilité du sol, influencée par les teneurs en Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> du sol (Ishaku et al. 2011).

Des études récentes ont indiqué que la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tels que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même, Les trois premiers termes ont été combinés dans une seule formule donnant ce que l'on appelle l'indice de perméabilité (IP) défini par (Doneen, 1961).

Pour quantifier l'impact de l'irrigation à long terme sur la qualité du sol, (Doneen,1964) a proposé un critère d'évaluation de l'aptitude de l'eau à l'irrigation basé sur l'indice PI déterminé par une équation pour l'amélioration de l'agriculture. L'indice de perméabilité est calculé à l'aide de la formule suivante ;

$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO-3}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na} \times 100$$

Les eaux classées I et II sont considérées comme « bonnes » et « adaptées » en raison de leur perméabilité maximale plus élevée.

- **PI > 75%** : l'eau est bonne pour l'irrigation. Classe I.
- **PI 25% < PI < 75%** : l'eau est admissible sous certaines conditions pour son utilisation. Classe II
- **PI < 25%** : l'eau n'est plus utilisable. Classe III. Tableau VII.8

Tableau VI. 7: Classification de l'eau pour le PI.

Limite de PI	Qualité d'eau	%
PI < 75%	L'eau est excellente pour l'irrigation	0
25% < PI < 75%	L'eau est de bonne qualité pour l'irrigation	100%
PI < 25%	L'eau est de mauvaise qualité	0

Les échantillons d'eau en provenance des différentes sources présentent des valeurs qui varient entre 26 et 65 avec une moyenne de 43.2%. De ces valeurs on peut classer les eaux selon (Donneen, 1964) dans la deuxième : où les valeurs de PI sont comprises entre 25-75%. Ce qui traduit que ces eaux sont admissibles pour l'irrigation, donc 100% de ces eaux sont réparties dans la classe =bonne pour l'irrigation.

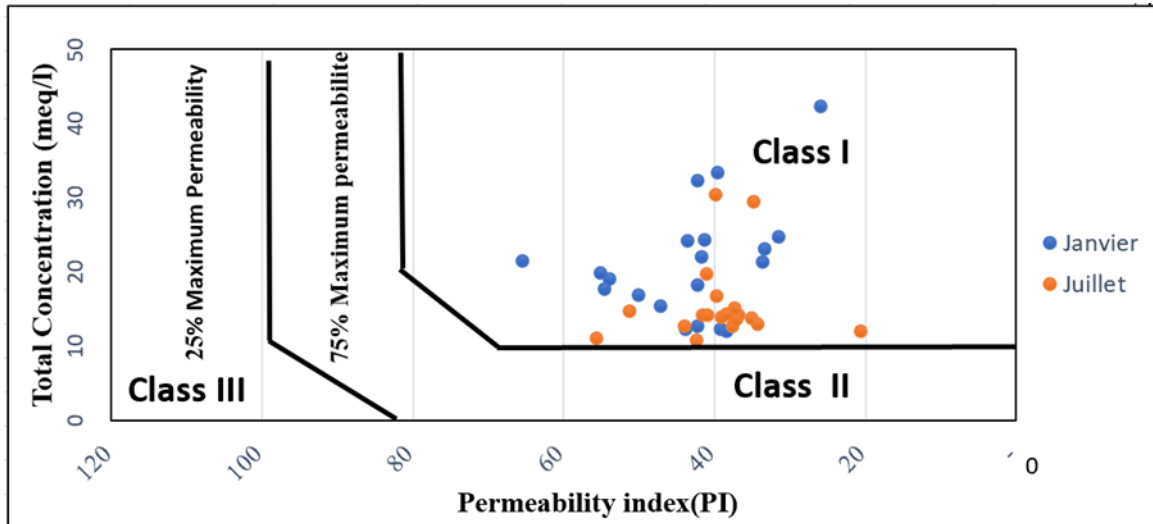


Figure VI. 6 : Classification de la qualité de l'eau d'irrigation basée sur l'IP.

La répartition spatiale de l'indice IP spécifique des échantillons d'eau d'irrigation testés sont présentée dans la Figure VI.6.

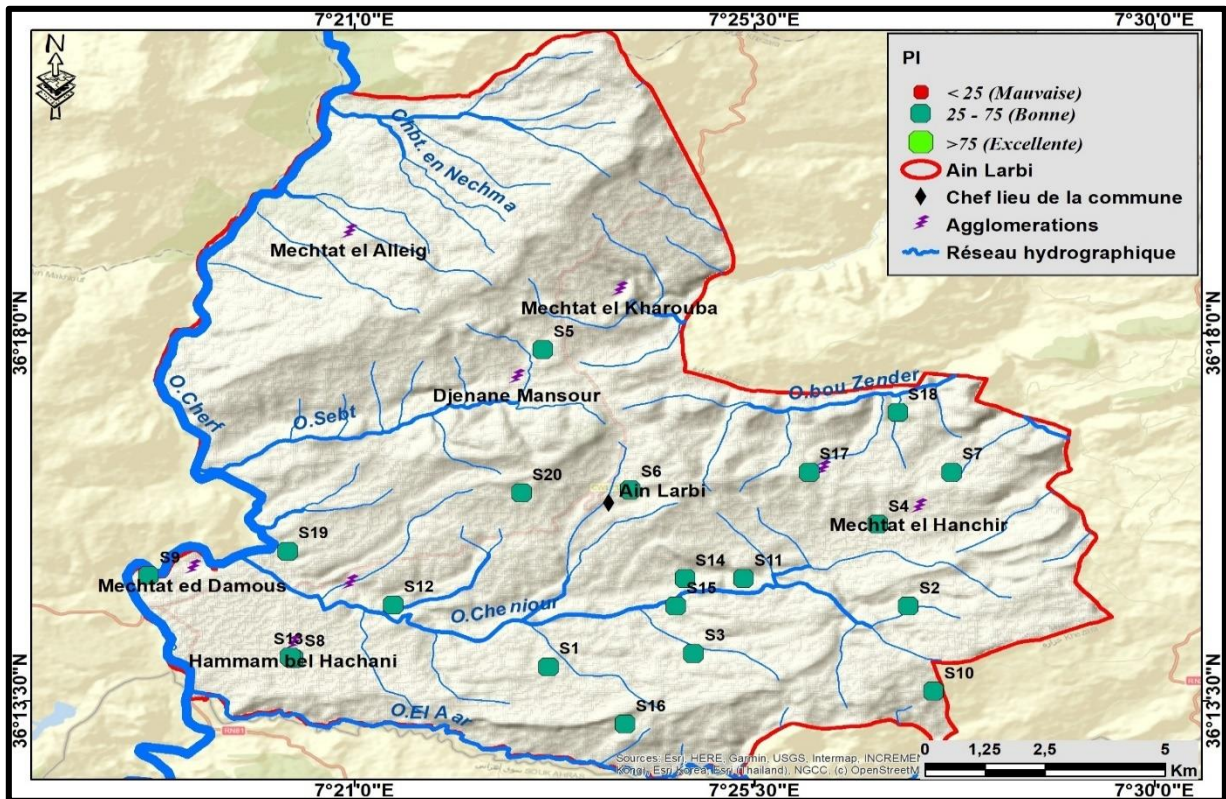


Figure VI. 7 : Distrubition spatiale de l'Indice de perméabilité (IP).

### VI.1.8 Magnesium ratio (MR) :

En générale, le calcium et le magnésium sont à l'état d'équilibre dans l'eau, le taux élevé du magnésium dans l'eau influe sur la qualité et affecte souvent les propriétés du sol agricole, où il devient de nature alcaline ce qui entraine une diminution du rendement des cultures.

Le risque d'excès de  $Mg^{2-}$  dans l'eau peut être estimé par le rapport du magnésium (MH) proposé par Szabolcs et Darabin est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$MR = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100$$

Où  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  sont exprimés en méq/L.

Si le magnésium Ratio est supérieur à 50%, il est considéré comme inapproprié pour l'irrigation (Palliwal, 1972). Dans notre cas les valeurs du magnésium ratio oscillent entre 12.75% et 62%. Donc 90 % (18 échantillons) sont appropriée à l'irrigation, tandis que 2 % (2 échantillons) ne conviennent pas comme eau d'irrigation Tableau VII.9.

Tableau VI. 8: Classification de l'eau pour le MH.

Limite	Qualité	Echantillons%
MH<50	Appropriée à irrigation	90%
MH> 50	Inappropriée à irrigation	10%

Cet indicateur (MH) permet de préciser le risque magnésium proposé par (**Szabolcs et Darab .1964**) pour évaluer et utiliser la classification de l'eau à des fins utilitaires mais aussi pour déterminer divers facteurs sur lesquels les caractéristiques chimiques de l'eau dépendent (**Sadashivaiah et al., 2008**).

### VI.1.9 Indice de Kelley (KI) :

L'indice de Kelley (KI), (Kelley, W.P. **1940**) est utilisé pour déterminer si l'eau convient à l'irrigation. Les concentrations des paramètres Na, Ca et Mg dans l'eau sont utilisés pour calculer la valeur du KI, à l'aide de l'équation ci-dessous :

$$KI = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$$

L'augmentation des concentrations de Sodium (Na), Calcium (Ca) et du Magnesium (Mg) dans l'eau présente un risque d'alcalinité. Des valeurs de KI inférieures à un ( $KI > 1$ ) indiquent que l'excès de sodium a été trouvé dans l'eau.

Tableau VI. 9: Classification de l'eau pour le KR.

Limite de KR	Qualité de l'eau	%
K.R < 1	Appropriée pour l'irrigation	100%
K.R > 1	Inappropriée pour l'irrigation	0

L'indice de Kelley (KR) a été calculé pour tous les échantillons d'eau (tableau .11). Il varie de 0,09 à 0.44 meq L<sup>-1</sup> indiquant que toutes les eaux de sources étudiées sont appropriées à l'irrigation. (Tableau VI.9).

La répartition spatiale de l'indice de Kelly (KI) des échantillons d'eau d'irrigation étudiées est indiquée à la Fig VI.8.

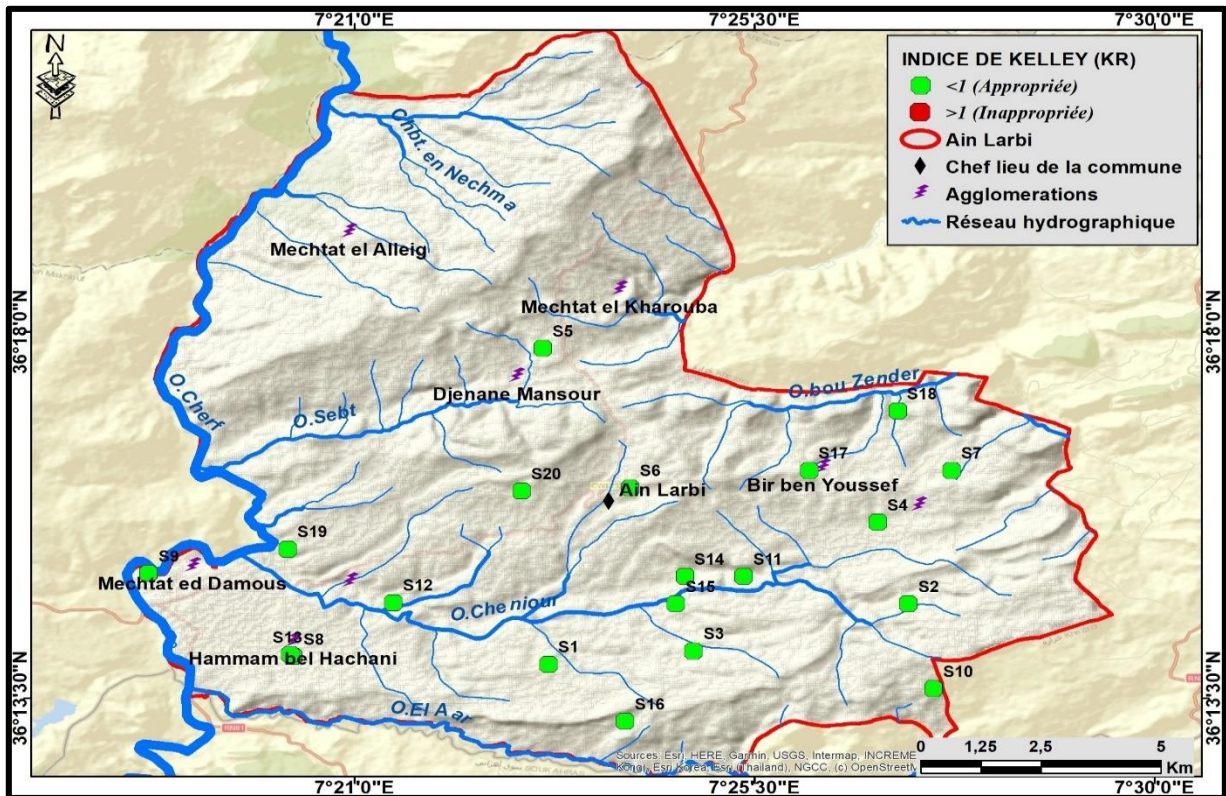


Figure VI. 8 : Distribution spatiale de l'Indice de Kelly (KR).

**VI.1.10 Salinité potentielle (PS) :**

La salinité potentielle est déterminée comme la somme de  $Cl^-$  et la demi-concentration de  $SO_4$ . Elle fait partie des classifications utilisées pour évaluer la capacité de l'eau à l'irrigation. La formule suivante permet de calculer la salinité potentielle :

$$PS = Cl^- + \sqrt{SO_4^{-2}}$$

CL et  $SO_4$  sont exprimés en meq/l.

Le tableau ci-dessous montre que la salinité potentielle inférieure à 5 indique que les eaux sont d'excellente qualité à des fins d'irrigation, si elle varie de 5 à 10 indique que ces eaux sont de bonne à médiocre, alors que si elle est supérieure à 10 ces eaux sont médiocre à mauvaises pour l'irrigation. Tableau VI.10

Tableau VI. 10: Classification de l'eau selon la Salinité Potentielle.

Classe	Salinité Potentielle	Echantillons	
		Nombre	%
Excellente à Bonne	< 5	17	85
Bonne à médiocre	5-10	3	15
Médiocre à Mauvaise	>> 10	0	0

En ce qui concerne les valeurs de PS, 17 échantillons, soit 85 % ont été classés comme excellents à bons ; 3 échantillons, soit 15 % bon à médiocre sur le total des échantillons d'eau analysés.

La distribution spatiale des valeurs de la salinité potentielle est illustrée sur la **figure VII.8**.

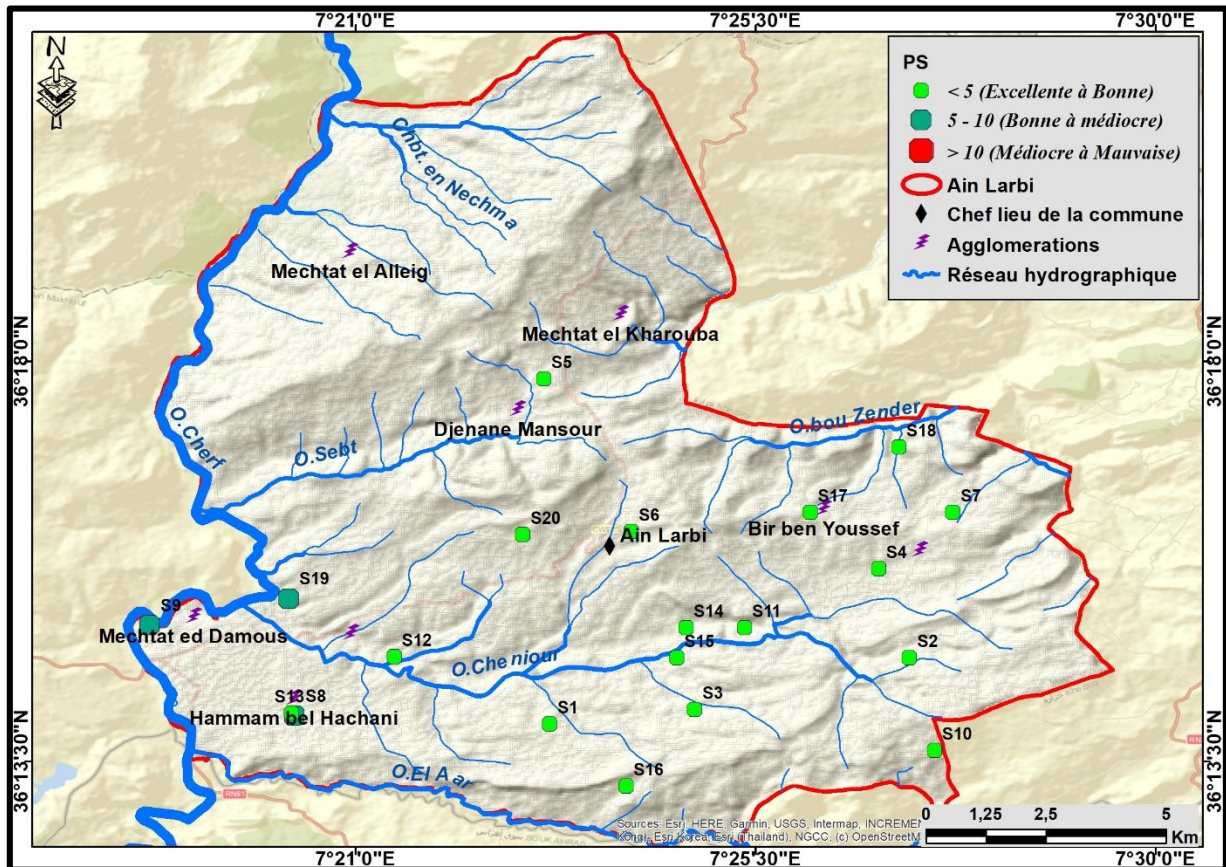


Figure VI. 9 : Distrubition spatiale de la Salinité potentielle (PS)

### VI.1. 11 Diagramme de salinité de l'USSL :

Le Diagramme de salinité des États-Unis (USSL) a été préparé à l'aide des paramètres EC et SAR de tous les échantillons d'eau souterraine. Il représente la relation entre le risque ou le danger de la salinité et la teneur en sodium, dans l'eau (exprimée en termes de coefficient d'absorption du sodium, SAR; concentrations en  $\text{meq L}^{-1}$ ).

Selon Lui et Li, (He, S. ; Li, P. A MATLAB 2019), les valeurs du SAR de l'eau sont considérées comme "excellentes" si elles sont inférieures à 10  $\text{meq/L}$ , tandis que les valeurs du SAR comprises entre 10 et 18  $\text{meq L}^{-1}$  sont considérées comme "bonnes", alors que «

suspectes" si les valeurs du SAR sont comprises entre 18 et 26 meq L-1. Les eaux dont le SAR dépasse 26 meq L-1 sont considérées comme « inappropriées » pour l'irrigation (Salifu, M. et al., 2017),

( Sadashivaiah, C. et al.,2008).

La zone d'étude a été classée en trois zones, sur la base des diagrammes de l'USSL (Fig VII.8) comme suit : (1) C2S1, (2) C3S1, (3) C4S1, D'après ce schéma, nos 'échantillons étaient situées dans les zone C2S1, elles pourraient être considérées comme bonnes, c'est-à dire bonne catégorie d'eau d'irrigation. Si les échantillons appartenaient à la catégorie C3S1, ils appartenaient à des eaux d'irrigation modérément adaptées, en raison du risque élevé de salinité. Les échantillons des catégories C4S1 ont été classés comme eau d'irrigation de qualité moyenne à médiocre, en raison du risque élevé de salinisation, et ils ne conviennent pas à une utilisation sur des sols lourds et des plantes sensibles au sel.

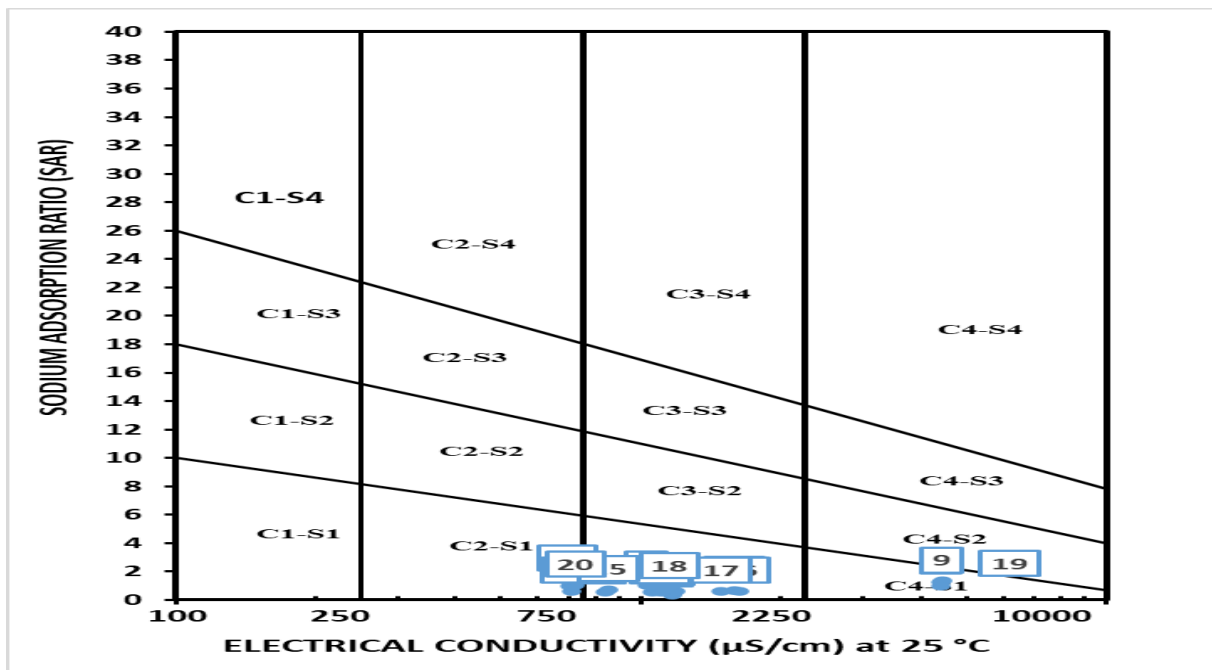


Figure VI. 10: représentation graphique (Diagramme USSL) des échantillons d'eau de source (2021/2022).

*Résultats des Indices de Qualité des Eaux (Irrigation)*  
 Tableau VII. 11 :Irrigation water suitability.

Classification Pattern	Sample Range				Categories	Range	Description	Number of Samples	Sample (%)
	Min.	Max	Mean	St Dev					
Sodium absorption ratio (SAR)	0.37	1.50	0.83	0.25	Excellent	0–10	Don't have sodium hazard	20	100
					Good	10–18	Low sodium hazard		
					Fair	18–26	Harmful for almost all types of soils		
					Poor	>26	Unsuitable for irrigation		
Percent sodium (% Na)	8.69	31.16	18.24	4.24	Excellent	0–20	Excellent for irrigation		
					Good	20–40	Good for irrigation	18	90
					Permissible	40–60	Permissible for irrigation	2	10
					Doubtful	60–80	Doubtful for irrigation		
					Unsuitable	>80	Unsuitable for irrigation		
Residual sodium carbonate (RSC)	-5.38	8.55	1.84	3.29	Good	<1.25	Generally safe for irrigation	10	50
					Marginale	1.25–2.5	Marginal as an irrigation source	3	15
					Médiocres	2.5-5	Generally, not suitable for irrigation without improvement	7	35
Permeability index (PI)	25.89	65.46	43.26	9.26	Class-I	>75	Good for irrigation		
					Class-II	25–75	Suitable for irrigation	20	100

Classification Pattern	Sample Range				Categories	Range	Description	Number of Samples	Sample (%)
	Min.	Max	Mean	St Dev					
					Class-III	<25	Unsuitable for irrigation		
Electrical conductivity (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	694	4430	1569.3	1253.18	Excellent	50-400	Medium salinity water		
					Good Quality	400-750	High-salinity water	4	20
					Poor	750-1500	Doubtful for irrigation	11	55
					excessive	>1500		5	25
Total dissolved salts (TDS, $\text{mg L}^{-1}$ )	492.7	3765.5	1305.7	743.87	Excellent	<300			
					Bien	300-600		4	20
					Passable	600-900		4	20
					Faible	900-1200		6	30
				Inacceptable	1200>		6	30	
Magnesium Hazard (MH)	12.76	62.50	36.99	8.20	Appropriée à l'irrigation	<50%	Suitable	18	90
					Inappropriée à l'irrigation	>50%	Unsuitable	2	10
	0.09	0.44	0.29	0.42	Appropriée à l'irrigation	<1	Suitable	20	100
					Inappropriée à l'irrigation	>1	Unsuitable		
Potential Salinity (PS) ( $\text{meq L}^{-1}$ )	2.85	9.807	4.62	1.31	Excellente	<5	Excellent to good	17	85
					Bonne à médiocre	5-10	Good to injurious	3	15
					Mediocre à mauvaise	>10	Injurious to unsatisfactory		
Total Hardness (TH) ( $\text{meq L}^{-1}$ )	4.71	18.70	7.57	2.50	TH	0-60	Soft	20	100
					TH	61-120	Moderate		
					TH	121-180	Hard		

Classification Pattern	Sample Range				Categories	Range	Description	Number of Samples	Sample (%)
	Min.	Max	Mean	St Dev					
					TH	>181	Very hard		

**CONCLUSION :**

Les eaux de source de la commune d’Ain Larbi, ont été étudiées pour évaluer leurs aptitudes à des fins d'irrigation. Les analyses physico-chimiques et les paramètres de qualité de l'eau calculés (risque de salinité, conductivité électrique CE, SAR, indice de perméabilité, indice de Kelly..). Ainsi que le diagramme de Richards, diagramme de Wilcox, USSSL diagramme et le Diagramme de Donnén. Indiquent que la majorité des échantillons d'eau sont considérés comme bons et adaptés à l'irrigation.

La qualité des eaux souterraines pour l’irrigation dépend généralement des valeurs relatives de l’EC, du Na<sup>+</sup> et d’autres cations et anions D’après le pourcentage de sodium, 90 % des échantillons sont de bon (%Na 20-40) pour l’irrigation, 10 % sont de qualité permmissible (%Na 40-60).

D’après le rapport d’adsorption du sodium, 100 % des échantillons sont jugés excellents (SAR < 10).

De plus, les données de l’indice de perméabilité ont montré que l’eau dans 100 % des échantillons était bonne (IP < 75 %).

D’après la salinité potentielle, 85 % des échantillons sont excellents à bons pour l’agriculture (PS < 5), 15 % ont une qualité bonne à nuisible (5 à 10) pour l’irrigation.

Sur le modèle des carbonates de sodium résiduels, 50 % des échantillons (RSC < 1.25) sont aptes à l’irrigation et 35 % (RSC entre 1.25 et 2.5) médiocre peuvent être utilisés pour des pratiques d’irrigation, avec seulement 15 % des échantillons > à 5 tombant dans la classe mauvaise pour l’irrigation.

De plus, les données de l’indice de perméabilité ont montré que l’eau dans 100 % des échantillons était bonne (IP < 75 %).

L'indice de Kelly a produit des résultats similaires ; tous les échantillons sont jugés aptes à l'irrigation ( $KR < 1$ ). Cependant, dans 90 % des échantillons ( $MH < 50$ ) et 10 % des échantillons ( $MH > 50$ ), on générale le risque de magnésium a été classé comme approprié pour l'agriculture.

La représentation des échantillons d'eau souterraine sur le diagramme basée sur les valeurs de Na% et de conductivité électrique (EC), a montré que la majorité des échantillons appartenait à la classe « bon », et à la classe « admissible », pour l'agriculture.

Les résultats des données analytiques tracées sur le diagramme de salinité, en tenant compte des valeurs de conductivité au SAR, montrent que les eaux sont principalement représentées dans les classes C2. S1 et C3. S1. La classe C2. S1 indique une eau de bonne qualité convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels. la deuxième classe C3.S1 désignent des eaux médiocres, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.

Selon la classification basée sur le diagramme de l'USSL, la zone d'étude a été classée en trois zones comme suit : (1) C2S1, (2) C3S1, (3) C4S1, les échantillons situées dans les zone C2S1, sont considérées comme bonnes, les échantillons appartenaient à la catégorie C3S1, sont des eaux d'irrigation modérément adaptées, en raison du risque élevé de salinité. Les échantillons des catégories C4S1 ont été classés comme de l'eau d'irrigation de qualité moyenne à médiocre.

La représentation des échantillons d'eau souterraine sur le diagramme de Doneen (1964), basée sur la concentration ionique totale (TDS) et l'indice de perméabilité (IP), montre que tous les échantillons d'eau souterraine appartenait à la classe I, donc bonne pour l'irrigation.

***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

### **Partie I : Importance de la gestion en eau.**

#### **Introduction :**

L'eau est une ressource vitale mais limitée : seulement **2,5 %** de l'eau terrestre est douce, dont **2/3** dans les glaciers, **1/3** dans les nappes souterraines, et à peine **0,3 %** disponible dans les rivières et lacs (soit **0,007 %** de toute l'eau de la planète). Les usages mondiaux se répartissent entre **67 % pour l'agriculture**, **23 % pour l'industrie** et **10 % pour les besoins domestiques**.

Aujourd'hui, les ressources en eau sont menacées par le changement climatique, la croissance démographique, la pollution et les conflits d'usage. Pour y répondre, la **gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)** apparaît indispensable : elle consiste à protéger et planifier la ressource, promouvoir l'économie d'eau, prévenir les conflits et préserver les écosystèmes, tout en répondant équitablement aux besoins de la société.

#### **VII.1 Situation des ressources en eau dans le monde**

##### **VII.1.1 Importance et enjeux autour des ressources en eau :**

L'accès à l'eau est crucial pour le développement, notamment dans les pays en développement comme ceux d'Afrique. L'eau, ressource limitée, est essentielle à la vie, aux systèmes écologiques et au développement économique et social. Les populations ont besoin d'eau de qualité et en quantité pour leur santé et leurs activités économiques.

##### **VII.1.1.1 Les enjeux actuels autour des ressources en eau :**

L'organisation sectorielle des institutions complique la gestion de l'eau, qui doit être multifonctionnelle. Il est urgent d'adopter de nouvelles méthodes de gestion pour équilibrer l'utilisation de l'eau et sa protection. Les enjeux clés sont :

- Garantir de l'eau aux populations.
- Garantir de l'eau pour la production alimentaire.
- Couvrir les besoins en eau pour d'autres activités créatrices d'emploi.
- Protéger les écosystèmes vitaux.
- Gérer la variabilité spatio-temporelle de l'eau.

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

Gérer les risques. (Gérer les risques. (2) 1 Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement « Manuel technique de gestion intégrée des ressources en eau » Juillet 2010.)

### **VII.1.1.2 Situation actuelle de l'eau dans le monde :**

L'accès à l'eau salubre et à un assainissement adéquat peine à suivre la croissance démographique : 1,1 milliard de personnes manquent d'eau salubre, un tiers de la population mondiale n'a pas accès à l'eau potable, et près de 2,5 milliards n'ont pas d'installations d'assainissement adéquates. La disponibilité en eau est inégale, exacerbée par la demande croissante, la pollution et l'utilisation inappropriée.

- **La demande en eau :**

On prévoit une augmentation de 40% de la consommation d'eau par individu dans les deux prochaines décennies, avec un besoin supplémentaire de 17% d'eau pour la production vivrière. Un tiers des pays arides devraient faire face à de graves pénuries d'eau. Entre 1950 et 1990, la croissance des prélèvements en eau a été plus de deux fois supérieure à celle de la population, et la quantité d'eau douce disponible par habitant a chuté de 17 000 m<sup>3</sup> en 1950 à 7 500 m<sup>3</sup> en 1995, avec une prévision de 5 100 m<sup>3</sup> en 2025.

*Tableau VII. 1 :Disponibilité en eau douce – Ressources en eau renouvelables internes (RERI).*

<b>Continent/Région</b>	<b>Ressources en eau renouvelables internes</b>		
	<b>Volume par an (km<sup>3</sup> ou 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>En % des ressources mondiales en eau douce</b>	<b>Par habitant en 2003 (m<sup>3</sup>)</b>
Monde	43 659	100,0	6 900
Afrique	3936	9,0	4 600
Océanie	11 594	26,6	3 000
Amérique latine	13 477	30,9	26 700
Caraïbes	93	0,2	2 400
Amérique du Nord	6 253	14,3	19 300
Océanie	1 703	3,9	54 800
Europe	6 603	15,1	9 100

### **VII.1.1.3 Situation des ressources en eau en Algérie :**

Les ressources hydrauliques en Algérie, hormis les eaux fossiles du Sahara, dépendent principalement de la pluviométrie, qui est inégalement répartie. Les précipitations varient considérablement : le Nord reçoit des pluies concentrées sur quelques mois, tandis que le Sud en reçoit peu. Les fluctuations des pluies entraînent des variations des ressources renouvelables disponibles d'année en année. La région littorale du Nord, représentant 7% de la surface, concentre 90% des écoulements superficiels (12,4 milliards de m<sup>3</sup>/an), tandis que les Hauts Plateaux et les bassins sahariens se partagent le reste. Les précipitations sont en moyenne deux fois plus importantes à l'est qu'à l'ouest. Le volume total annuel des eaux renouvelables est évalué à 14,4 milliards de m<sup>3</sup>, mais seulement 10 milliards sont exploitables. En outre, l'Algérie fait face à une pénurie d'eau avec 350 m<sup>3</sup>/habitant/an, exacerbée par l'irrégularité des ressources et les impacts du changement climatique.

**VII.1.2 Une approche nouvelle de la gestion de l'eau :** La situation préoccupante des ressources en eau a conduit la communauté internationale à revoir ses stratégies de gestion. (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement « Manuel technique de gestion intégrée des ressources en eau » Juillet 2010).

#### **VII.1.2.1 Les éléments de la crise :**

L'eau n'est pas inépuisable ni éternellement pure. La hausse de la population diminue le volume d'eau douce par habitant. La pollution, d'origine anthropique et naturelle, aggrave la crise. Les principales raisons de cette crise incluent :

1. Pression croissante sur les ressources en eau due à la démographie et à l'économie.
2. Les extractions d'eau augmentent plus vite que la population, un tiers des personnes vivent dans des pays sous stress hydrique.
3. La pollution réduit l'utilité de l'eau.
4. Une gestion non coordonnée des ressources. Les conséquences incluent la réduction des ressources, la dégradation des écosystèmes, la pauvreté croissante et des tensions internationales.

### **VII.1.2.2 Les perspectives ou voies de sortie de crise :**

Des solutions techniques existent, mais des problèmes institutionnels persistent, tels que :

- Approches sectorielles inadaptées et bureaucratie.
- Absence de cadres réglementaires et non-implication des acteurs.
- Méconnaissance des ressources et manque de formation. Une gestion améliorée des ressources en eau nécessite une approche intégrée, visant à :
- Protéger et mieux connaître la ressource.
- Planifier son utilisation et promouvoir l'économie d'eau.
- Impliquer équitablement tous les acteurs et gérer les conflits.
- Satisfaire les différentes demandes légitimes.
- Préserver les écosystèmes et prévenir les risques. Une volonté politique forte et une sensibilisation de la population sont essentielles pour une mise en œuvre efficace. Une politique nationale doit être définie avec des outils appropriés pour responsabiliser les citoyens et promouvoir une gestion solidaire et respectueuse de l'eau. (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement)

## **Partie II**

### **Gestion des ressources en eau région Ain Larbi : (Bilan et perspectives).**

L'identification des domaines d'utilisation de l'eau avec précision en AEP que ce soit agricole ou industrielle nous aide à une planification exacte de la demande future en eau et suffisamment d'une manière durable pour les générations futures.

Ainsi que la connaissance des facteurs de la demande en eau ;tels que le haut revenu de l'individu, l'urbanisation et l'expansion urbaine, l'augmentation de logements et leur type, la croissance démographique, le nombre et le genre ,aussi la capacité des industries et le climat (en termes de température et de l'humidité ), la croissance du secteur touristique et les facteurs sociaux, le mode de vie, la disponibilité du réseau d'eau, la tarif de l'eau (les frais pour son utilisation), et la période d'utilisation aux moments réguliers ou pic (heures de pointe) été et hiver.

## Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi

Ce chapitre traite la relation entre la population et l'eau, en termes de l'évolution et la croissance démographique et leurs effets sur la quantité de demande en eau dans les domaines économiques (AEP, industriel et agricole).

### VII.2 Etude Socio-économique :

La commune d'Aïn Larbi représente environ 1 % de la superficie totale de la wilaya de Guelma, selon les données issues du dernier recensement réalisé en 2022. En 2008, sa population était estimée à 7 580 habitants, dont 82 % résidaient au chef-lieu de la commune (figure 19). En 2011, le nombre d'habitants a atteint 7 976, soit une densité moyenne de 45 habitants/km<sup>2</sup> et un taux de croissance démographique de l'ordre de 3,4 %. En 2020, la population a été estimée à 9 616 habitants, traduisant une évolution démographique soutenue.

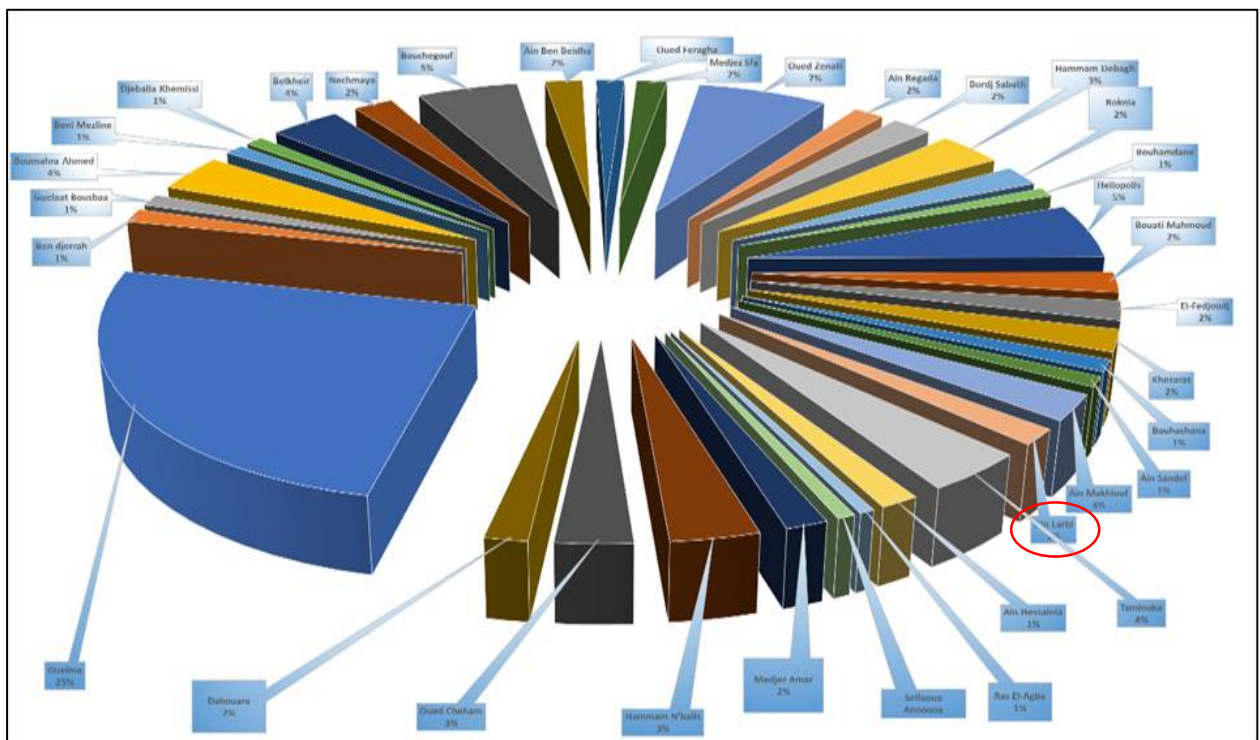


Figure VII. 1: Répartition de la population de la wilaya de Guelma.

### **VII.2.1 Evolution de la population de la Commune :**

Selon les besoins des prévisions, il existe deux types d'estimations des populations : l'estimation à court terme, de 5 à 10 ans, et l'estimation à long terme, de 10 à 50 ans.

Les estimations à long terme constituent un défi, étant donné la grande incertitude entourant les conditions qui existeront dans un avenir lointain.

Il semble utile, dans ce cas, d'analyser la courbe de croissance des années passées pour tenter d'y déceler une tendance, même si, souvent, des facteurs sociaux et économiques (guerre, récession économique, installation ou départ d'une importante entreprise, etc.) perturbent la croissance des agglomérations urbaines.

La plupart des méthodes d'estimation des populations ne peuvent décrire le comportement de ces dernières que pour une période relativement brève de leur croissance.

Elles constituent cependant des modèles utiles qui peuvent aider l'estimateur à se faire une opinion adéquate, qu'il précisera en interrogeant les notables, en prenant connaissance des dossiers des services techniques de la municipalité et en consultant des professionnels d'autres disciplines (urbanistes, économistes, démographes, sociologues, etc.).

Dans plusieurs parties du globe, notamment en Afrique et en Amérique du Sud, on continue d'observer des croissances de populations très élevées. En revanche, dans les pays les plus riches du monde occidental, on a mis un frein à l'essor démographique. (1 François G. Brière.)  
« Distribution et collecte des eaux » 2012.

La composante population étant le critère principal de toute étude liée aux domaines économiques, nous aborderons dans cette étude à l'estimation des scénarios de croissance démographique de la commune de Ain Larbi à court et long terme, ainsi que l'estimation des scénarios de besoins en eau potable. Pour estimer ces scénarios, nous nous appuierons sur l'analyse des données démographiques historiques.

L'évolution de la population a toujours été soumise aux différents facteurs politiques, économiques, mais surtout sociaux. Située à proximité du principal pôle urbain de la Wilaya, la commune de Ain Larbi, à l'instar des autres communes limitrophes, a connu des départs massifs de populations, ce qui a directement ou indirectement, influencé l'activité essentielle de la commune. (PDAU Ain Larbi 2012). Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme).

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

Selon les données de la RGPH, (recensement général de la population et de l'habitat) la population est répartie sur la commune de Ain Larbi comme suit (Figure V.2).

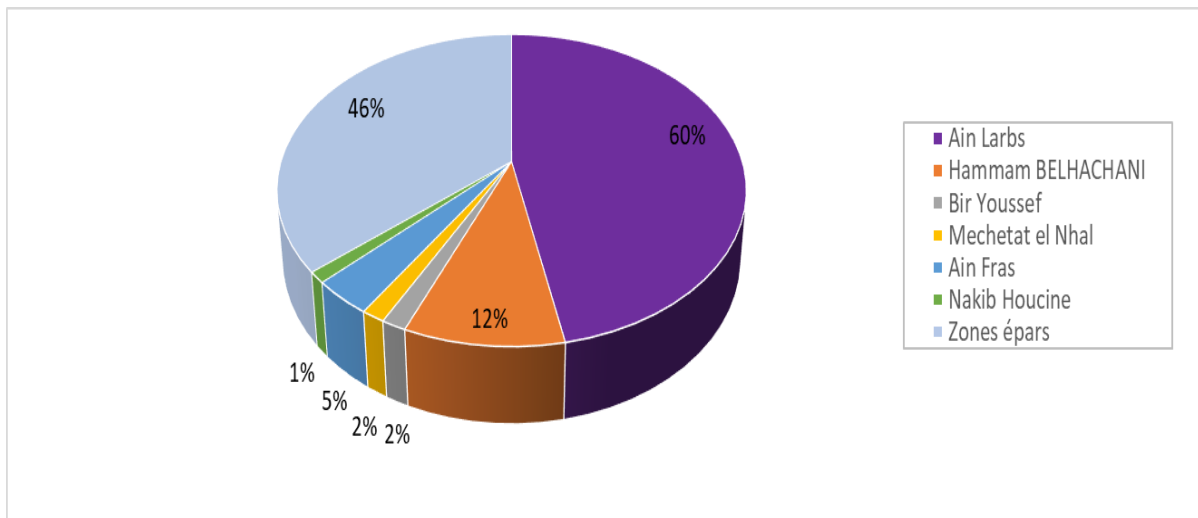


Figure VII. 2: Répartition géographique de la population de Ain Larbi (2020) RGPH.

La population de la commune de Ain Larbi s'est considérablement développée ces dernières années. Elle est passée de 8168 habitants en 2012 à 9616 habitants en 2020.

(Une augmentation de 1348 habitant).

Tableau VII. 2 : Evolution de la population de la commune A.L de 1994 à 2012.

(PDAU Ain Larbi 2012).

Agglomération	Population 1994	Population 1998	Population 2008	Population 2012	Taux d'across ement98/2008%
<b>Ain Larbi (ACL)</b>	3566	3448	3907	4208	-0.84
<b>AS</b>	461	698	630	736	24.05
<b>ZE</b>	6121	3610	3067	3224	-12.36
<b>Total Commune</b>	10148	7756	7604	8168	/

(ACL) : Agglomération Chef-Lieu. AS : Agglomération Secondaire. ZE : Zones épars.

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

A partir des résultats du tableau précédent, qui montre l'évolution de la population dans la municipalité d'Ain Arbi, on peut déduire plusieurs facteurs qui contribuent à la diminution ou à l'augmentation de la population :

- Irrégularité du rythme de croissance de la population.
- Lenteur de la croissance démographique.
- La situation sécuritaire durant la décennie noire, qui a poussé les habitants des zones rurales et des hameaux isolés à se diriger vers le siège principal de la municipalité.
- Migration : en raison du manque d'équipements et du manque d'opportunités d'emploi, ce qui a encouragé la population à migrer à la recherche de meilleures conditions de vie.

Les données de population actualisées sont celles relatives aux résultats de l'enquête du recensement de 2020 (Tab V.3).

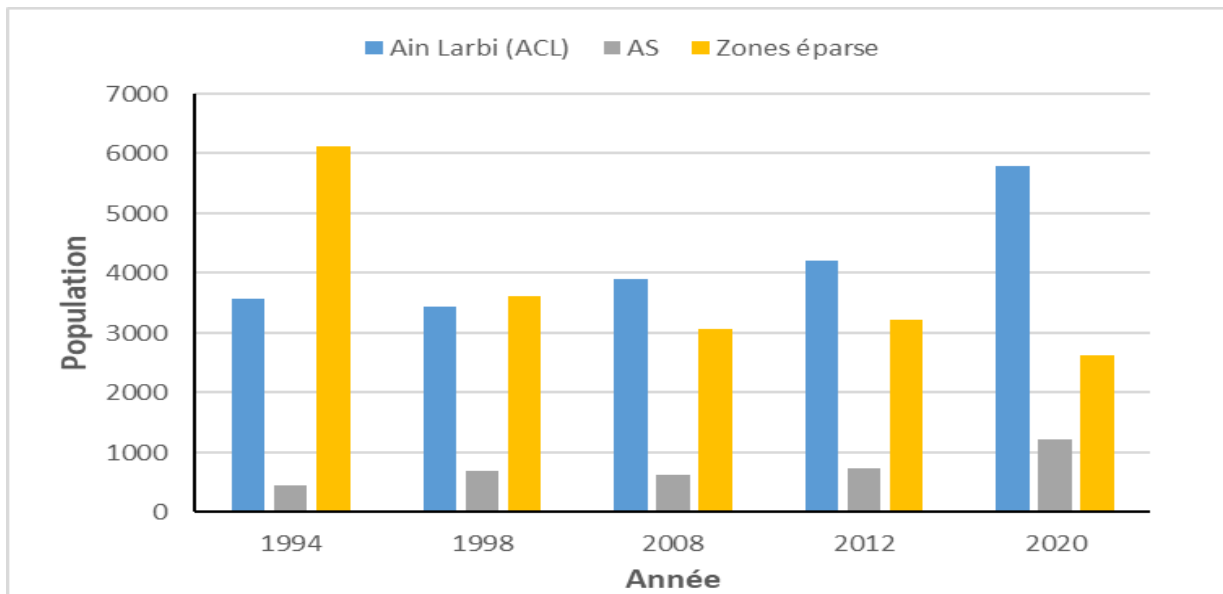
*Tableau VII. 3 : Population de la commune d'Ain Larbi 2020.*

<b>Agglomérations</b>	<b>Population 2020</b>	<b>% La population</b>
<b>Ain Larbi (ACL)</b>	5781	60
<b>AS</b>	1218	12
<b>Zones épars</b>	2617	27.22
<b>Total</b>	9616	/

Le tableau suivant (Tableau V.4) résume le développement démographique de la commune de Ain Larbi de 1994 à 2020 selon les données obtenues de (PDAU Ain Larbi, DPAT, Guelma ; 2024).

*Tableau VII. 4 : Evolution de la population 1994/2020 dans la commune de Ain Larbi.*

<b>Agglomérations</b>	<b>Population 1994</b>	<b>Population 1998</b>	<b>Population 2008</b>	<b>Population 2012</b>	<b>Population 2020</b>
<b>Ain Larbi (ACL)</b>	3566	3448	3907	4208	5781
<b>AS</b>	461	698	630	736	1218
<b>Zones épars</b>	6121	3610	3067	3224	2617
<b>Totale Commune</b>	10148	7756	7604	8168	9616



*Figure VII.3: Graphe de l'évolution de la population 1994/2020 dans la commune de Ain Larbi.*

### VII.2.2 Estimation de la population future par zone (Perspective démographique) :

Suivant les données auprès du service technique de la commune d'Ain Larbi, le nombre d'habitants est de **9616** habitants en **2020** et d'un taux de croissance de **2.3%**.

Avec la méthode exponentielle, cette méthode est l'une des méthodes les plus utilisées pour estimer la population ou calculer les taux de croissance sur la base de deux recensements précédents.

Cette méthode est la plus utilisée en Algérie. Elle prend la forme suivante :

$$P_f = P_0 (1 + \alpha)^n$$

Avec :

- ✓  $P_f$  : Population future à l'horizon considéré ;
- ✓  $P_0$  : Population à l'année de référence ;
- ✓  $\alpha$  : Taux de croissance actuel de la population (2.3%)
- ✓  $n$  : Horizon considéré.

On prend un horizon ( $n=50$  ans)

L'évolution de la population se fait à partir d'une population initiale, dans notre cas c'est l'année 2020.

Tableau VII. 5: Evolution de la population future de la commune de Ain Larbi 2020-2050.

Zone d'étude	Population (2020)	Population (2030)	Population (2040)	Population (2050)
Ain Larbs	5781	7257	9110	11436
AS	1218	1530	1921	2409
Zones épars	2617	3285	4124	5177
<b>Totale</b>	<b>9616</b>	<b>12071</b>	<b>15153</b>	<b>19022</b>

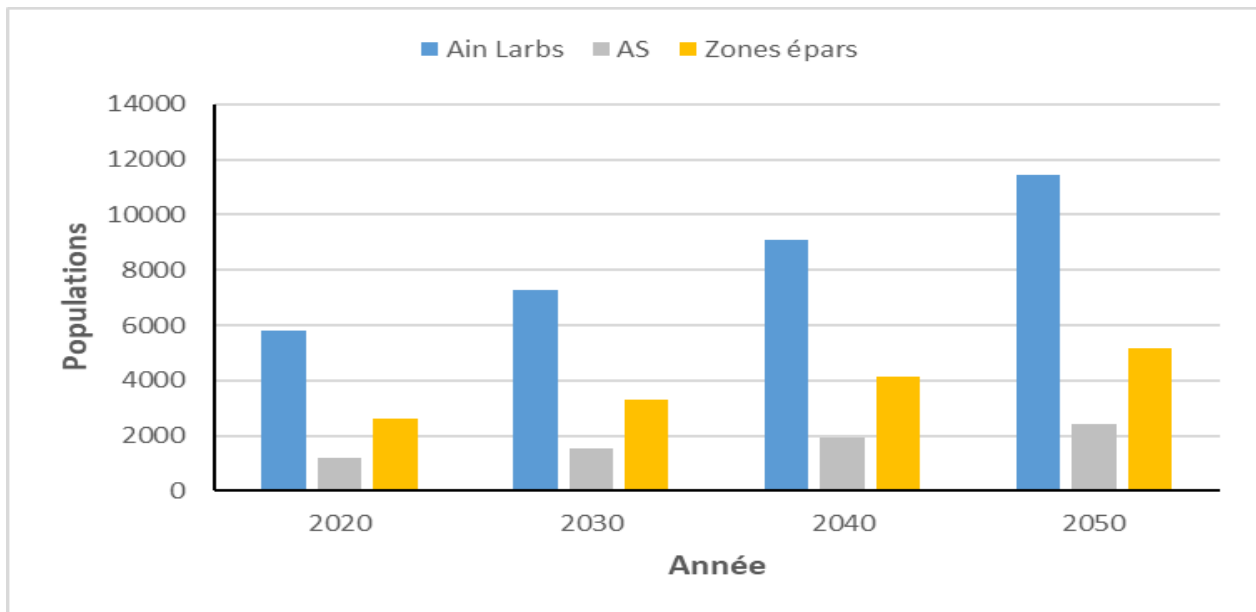


Figure VII. 4: Estimation de la population de Ain Larbi aux différents horizons.(2020-2050)

### VII.2.3 Estimation de l'évaluation des besoins actuelle :

Bien que, dans certains pays, quelques réglementations existent visant à fixer les demandes en eau potable, la quantification rigoureuse de ces demandes repose généralement sur des statistiques. Les différents types de besoins en eau à satisfaire sont :

- Besoins en eau en milieu urbain, rural et touristique (AEP).
- Besoins en eau industrielle (AEI).
- Besoins en eau agricole (AEA).

Cette évaluation s'effectue selon deux situations :

- Situation actuelle.
- Situation future.

Ces besoins sont évalués de façon globale suivant la demande moyenne journalière en eau par habitant, sans tenir compte des besoins propres à chaque usager. Pour cela trois paramètres sont à prendre en considération :

- La population actuelle et estimée.
- La dotation moyenne en eau.
- Les statistiques relatives à la population correspondant aux résultats.

### **VII.2.3.1 Evaluation des besoins domestiques en eau de la population actuelle (2020) :**

Les besoins « eau potable » correspondent aux volumes d'eau potable à distribuer «au robinet » pour satisfaire les différents usages (domestiques, équipements, industries, irrigations, tourisimes).

L'eau employée pour la consommation domestique comprend la totalité de l'eau utilisée dans les résidences pour des usages aussi variés que l'hygiène personnelle, la lessive, l'arrosage des pelouses et le remplissage des piscines.

La consommation domestique varie selon que les pays sont en voie de développement ou industrialisés et selon que le milieu est rural ou urbain.

Dans les pays en voie de développement, comme il existe peu de données, on pense que la consommation domestique n'est le plus souvent que de quelques litre par personne et par jour, notamment dans les nombreuses régions où on transporte l'eau à pied depuis le point d'eau jusqu'au domicile. Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), la consommation d'eau aux fontaines publiques dans les petites villes et les villages varie entre 20 et 40 l/personne. (François G. Brière. 2012) « Distribution et collecte des eaux » 2012.

La consommation domestique moyenne est généralement rapportée au nombre d'habitants, elle est alors exprimée en litres par jour et par habitant (**en l/jour/hab.**). Cette consommation varie en fonction de plusieurs facteurs : le niveau de vie, les habitudes, la disponibilité de l'eau, le climat, le prix de l'eau, la forme de la fourniture de l'eau (alimentation individuelle ou borne fontaine), etc. D'autre part, elle évolue d'une année à l'autre, en liaison avec l'évolution du niveau de vie.

Les besoins domestiques d'une agglomération quelconque peuvent être estimés par :

- soit des statistiques, qui concernent la consommation moyenne et son évolution annuelle, ainsi que le nombre total d'habitants et le taux annuel d'accroissement de la population.

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

- soit en comparaison avec d'autres agglomérations qui sont jugées comparables, surtout en ce qui concerne le niveau de vie et le climat, et pour lesquelles des données statistiques sont disponibles. Une petite enquête permet alors de connaître le nombre d'habitants.

D'après la subdivision d'Ain Makhlouf, la dotation de la commune de Ain Larbi est évaluée à 150 l/hab/j.

Donc on peut dire que L'estimation des besoins en eau actuels des agglomérations est basée essentiellement sur :

- Le nombre d'habitant d'une agglomération existante.
- La dotation journalière, qui est définie comme étant la quantité d'eau moyenne consommée par habitant et par jour, exprimée en (l/j/hab). Cette dotation varie en fonction de la situation géographique, du climat, de la population...etc.

On peut estimer les besoins en eau de chaque zone de la commune de Ain Larbi par la relation suivante :

$$\text{Besoins en eau (l/j)} = \text{nombre d'habitant} \times \text{la dotation (l/j/hab)}.$$

*Tableau VII. 6 : Besoins en eau domestiques actuels dans la zone d'étude (2020).*

<b>Agglomération</b>	<b>Population</b>	<b>Dotation L/J/hab</b>	<b>Besoins (L/J)</b>	<b>M3/an</b>	<b>Besoins (Hm3/an)</b>
<b>Ain Larbi</b>	5781	150	867150	316510	0.32
<b>AS</b>	1218	150	1049850	66687	0.065
<b>Zones épars</b>	2617	150	392550	143281	0.143
<b>Totale</b>	9616	/	11 14424001	526478	0.528

### **VII.2.3.2 Les besoins actuels en eau Industrielle :**

La consommation en eau dans les unités industrielles dépend du :

- Type d'industrie.
- Circuit de l'eau à l'intérieur de l'unité (branchement et rejet).

Donc, l'évaluation se fait en fonction de la consommation enregistrée et la demande en eau dictée par la production ainsi que des besoins théoriques en eau.

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

---

Comme nous l'avons cité ultérieurement dans le chapitre cadre générale, la région d'étude ne dispose pas d'une industrie importante.

### **VII.2.3.3 Besoins en eau d'irrigation :**

Comme partout en Algérie, la priorité de l'eau étant accordée essentiellement à l'usage domestique et secondairement à l'usage industriel.

L'irrigation est la plus souvent sacrifiée (lorsqu'il y a une gestion de l'eau limitée ou des ressources insuffisantes) au profit de ces derniers et bénéficie donc de la plus faible quantité d'eau. En effet le potentiel (S.A.U) est évalué à environ 8606 ha par contre la superficie réellement irriguées ne dépassent pas les 250 ha (PDAU Ain Larbi 2018).

En outre ce faible potentiel en sol irrigable est menacé par deux principaux phénomènes ; l'érosion et la pollution qui devint très préoccupante au niveau des Oueds.

Ainsi, afin de fixer avec précision le rythme de développement de l'irrigation dans la Wilaya et donc, celui de la mise à sa disposition "l'eau », l'objective de l'agriculture en irrigué doit être défini afin de pouvoir créer avec précision le domaine et évaluer les écarts et déficits.

### **VII.2.3.4 Estimation des besoins actuels en eau des différentes activités (Equipements) :**

Indépendamment des activités industrielles et agricoles, d'autres activités consommatrices d'eau sont prises en compte, et elles ne doivent pas être négligées, et nous entendons ici ce qui est lié aux activités de services (santé, administration, éducation, commerce, etc.) pour lesquelles il est difficile d'obtenir des données correctes, et donc nous pouvons estimer ces besoins à partir des besoins domestique (souvent pris de 16% à 20% des besoins domestiques). Dans cette étude on prend des besoins des équipements égaux à 20% de besoins domestiques. La commune de Ain Larbi dispose de plusieurs types d'équipement dispersés en zone. représenté dans le tableau suivant :

## Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi

Tableau VII. 7: Les équipements de la commune de Ain Larbi.

Zone	Type d'équipements				
	Administratifs	Scolaires	Sanitaires	Sportifs et Culturels	Commerciaux
<b>Ain Larbi</b>	-APC	-01 Lycée -02 CEM -03 Ecoles	-01 Hôpital (EPH) -01 Polyclinique	-03 Mosquées -Centre culturel -Bibliothèque communale -Stade communale -Aires de jeux	-Marché hebdomadaire tous les mardis 18 locaux commerciaux (ex souk el fellah) -02 Dépôt de céréale -Abattoir -Galerie
<b>Hamam BELHACHANI</b>	-Antenne APC	-01 Ecole	-01 Salle de soin	-01 mosquée	/
<b>Bir Youssef</b>	-Antenne APC	-01 Ecole	-01 Salle de soin	/	/
<b>Mechetat el Nhal</b>	/	/	/	/	/
<b>Ain Fras</b>	/	-01 Ecole	-01 Salle de soin	-MOSQUE	/
<b>Nakib Houcine</b>	/	/	/	/	/
<b>Medouda</b>	/	-01 Ecole	/	/	/
<b>Babouche</b>	/	-01 Ecole	-Salle soin	/	/

Tableau VII. 8 : Besoins actuels des équipements en eau.

Agglomération	Besoins domestiques (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /an)	Besoins des équipements 20%
<b>Ain Larbi</b>	31.651	6.33
<b>Agglomération secondaire</b>	6.67	1.33
<b>Zones épars</b>	14.3281	2.87
<b>Totale</b>	52.63	10.53

### **VII.2.3.5 : Estimation des besoins actuels de l'AEP :**

Les besoins de l'AEP sont égaux à la somme des besoins domestiques plus les besoins des équipements :

$$\text{(Besoins de l'AEP = besoins domestiques + besoins des équipements)}$$

*Tableau VII. 9 : Estimation des besoins actuels de l'AEP.*

<b>Agglomération</b>	<b>Besoins domestiques (10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>Besoins des équipements 20%</b>	<b>Besoins de l'AEP (10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>Besoins de l'AEP Hm<sup>3</sup>/ /an)</b>
<b>Ain Larbi</b>	31.651	6.33	38	0.38
<b>AS</b>	6.67	1.33	8.06	0.0843
<b>Zones épars</b>	14.3281	2.87	14.87	0.15
<b>Totale</b>	52.63	10.53	60.93	0.61

### **VII.2.4 Estimation de la demande actuelle de l'AEP :**

La demande en eau potable est définie comme la somme des volumes à mobiliser pour satisfaire les différents besoins en eau potable tout en prenant en compte les pertes en réseaux des infrastructures d'hydraulique.

La demande en eau égale la somme des besoins plus la perte :

$$\text{(Demande en eau = Besoins + Pertes)}$$

#### **Qu'est-ce qu'est une perte d'eau ?**

La perte d'eau représente l'inefficacité dans des opérations de la livraison et de mesure de l'eau dans des réseaux de transmission et de distribution. Pour quelques systèmes, elle peut s'élever à une importante proportion de production totale de l'eau. Les pertes d'eau pour un système entier ou pour un système partiel sont calculées comme la différence entre le volume d'eau entrée dans les systèmes et le volume de consommation autorisée. Les pertes d'eau se composent de pertes vraies et de pertes apparentes :

- **Les pertes vraies** : sont des pertes physiques de fuites, des éclatements et débordements du système pressurisé, jusqu'au point de doser sur les raccordements de service.
- **Les pertes apparentes** : se composent de tous les types des inexactitudes de mètre (mètres d'entrée, de sortie et du client) et de consommation non autorisée (vol et utilisation illégale). Elles sont également nommées pertes commerciales.

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

L'eau potable est distribuée dans la commune par un réseau de canaux différents en termes de matière et d'épaisseurs, dont la plupart sont en fonte et ciment (amiante ciment) ainsi qu'en plastique (PVC et PEHD), Où elles souffrent la plupart de vieillesse (âgés), son taux de perte est de 06%, et la réhabilitation de ce réseau nécessite une bonne étude et expérience.

*Tableau VII. 10: Balance demande actuelle en AEP- Offre actuelle.*

<b>Agglomération</b>	<b>Besoins de l'AEP (10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>Pertes (06% de Besoins)</b>	<b>Demandes (10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/an)</b>
<b>Ain Larbi</b>	38	2.28	40.28
<b>AS</b>	8.06	0.77	8.61
<b>Zones éparses</b>	14.87	0.9	15.8
<b>Totale</b>	60.93	3.95	64.7

### **VII.2.5 Estimation de l'évolution des besoins futurs de l'AEP :**

#### **VII.2.5.1 Evaluation des besoins domestiques en eau potable de la population (2020-2050) :**

Le calcul des besoins se fait sur la base d'une dotation théorique unitaire de 150 l/j/hab (selon DHW de Guelma). Pour suivre l'évolution des besoins futurs, nous avons pris l'année 2020 comme année de référence pour les calculs qui suivent.

*Tableau VII. 11: Besoins en eau domestiques futurs des populations de la zone d'étude.*

<b>Zone d'étude</b>	<b>Besoins (Hm<sup>3</sup>/an) (2020)</b>	<b>Besoins (Hm<sup>3</sup>/an) (2030)</b>	<b>Besoins (Hm<sup>3</sup>/an) (2040)</b>	<b>Besoins (Hm<sup>3</sup>/an) (2050)</b>
<b>ACL</b>	0.31	0.39	0.5	0.62
<b>AS</b>	0.06	0.08	0.13	0.13
<b>ZE</b>	0.143	0.18	0.23	0.28
<b>Total</b>	0.52	0.66	0.83	1.04

**ACL** : Agglomération chef-lieu/ **AS** : Agglomération secondaire. **ZE** : Zone épars.

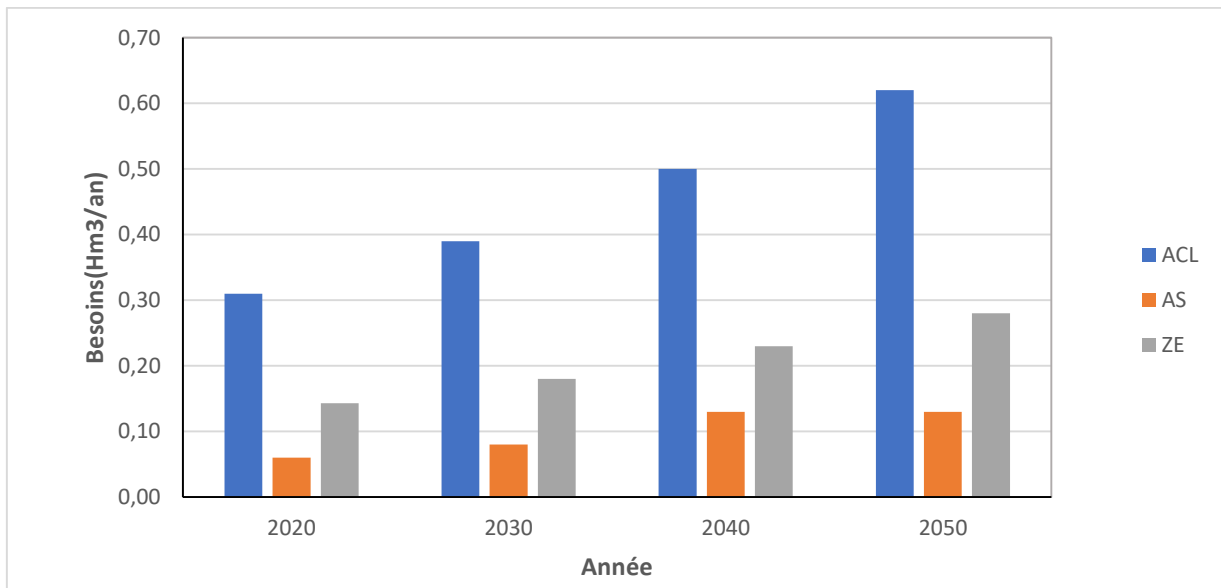


Figure VII. 5: Besoins futurs en eau domestiques des populations de la zone d'étude(2020-2050).

**VII.2.5.2 Estimation des besoins futurs en eau des différentes activités (Equipements) :**

On prend les besoins futurs des équipements sont égaux 20 % de besoins domestiques

Tableau VII. 12 : Besoins futurs estimés des équipements en eau- méthode algébrique

Année	Besoins (Hm3/an)	
	Domestiques	Equipements
<b>2020</b>	0.51	0.1
<b>2030</b>	0.66	0.13
<b>2040</b>	0.83	0.21
<b>2050</b>	1.04	0.30

**VII.2.5.3 Estimation des besoins futurs de l'AEP :**

**Besoins de l'AEP = besoins domestiques + besoins des équipements**

Tableau VII. 13 : Estimation des besoins futurs de l'AEP :

Année	Besoins (Hm3/an)		
	Domestiques	Equipements	AEP
2020	0.51	0.1	0.61
2030	0.66	0.13	0.8
2040	0.83	0.21	1.04
2050	1.04	0.30	1.34

### V.2.5.4 Balance des ressources actuelles pour l'AEP/ demande actuelles estimées (Bilan) :

C'est la confrontation entre la ressource en eau et les besoins de consommation pour déterminer les déficits ou les excédents en eau.

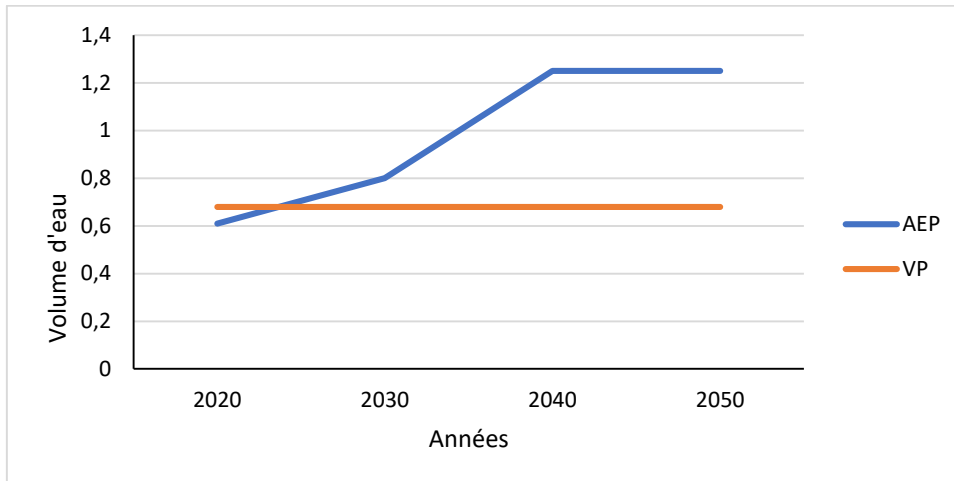


Figure VII. 6 : bilan offre/demande(2020-2050).

- $V_p$  : volume produit (offre).
- AEP : alimentation en eau potable(besoin).

Le graphe du bilan offre/demande à Ain Larbi (2020-2050) montre que lorsque le volume produit ( $V_p$ , offre) est supérieur à la demande en eau potable (AEP), l'offre est suffisante, tandis que si  $V_p$  est inférieur à AEP, un déficit peut survenir, entraînant un risque de pénurie et nécessitant des mesures de gestion. L'analyse des tendances indique que si la demande augmente régulièrement, cela reflète une croissance de la population ou des besoins, et si la production reste stable ou croît plus lentement que la demande, un déficit à long terme peut apparaître. Les points critiques correspondent aux années où la courbe de la demande dépasse celle de l'offre, révélant des périodes de stress hydrique. Ce bilan permet ainsi d'anticiper les besoins futurs et souligne l'importance de mesures préventives telles que l'amélioration des infrastructures, la gestion rationnelle de la demande et le développement de nouvelles sources d'eau afin de maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande sur la période étudiée.

## Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi

Tableau VII. 14 : Balance demande actuelle en AEP- Offre actuelle.

Demande (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /an)	Volume produit(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /an)	Déficit(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /an)	Excédent(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /an)	Taux des satisfaction %
64.7	68.32	/	3.62	<b>100</b>

Selon le tableau (V.15), la production annuelle actuelle d'eau potable dans la commune de Ain Larbi atteint  $68,32 \times 10^4$  m<sup>3</sup>, soit une quantité légèrement supérieure à la demande estimée à  $64,7 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/an. Cette situation indique que la commune ne souffre pas d'un déficit important en matière d'approvisionnement en eau potable. (Actuellement)

### VII.3 Les ressources d'approvisionnement en eau de la commune de Ain Larbi :

#### VII.3.1. Ressources souterraines :

La commune de Ain Larbi est alimentée à raison de 100% des eaux souterraines, dont le gestionnaire est l'APC, les besoins en eau potable (hors l'industrie), sont de l'ordre de 1550 m<sup>3</sup>/j (Subdivision Hydraulique Ain Makhrouf W. Guelma 2024).

Cette étude a porté sur 06 points dispersés à travers diverses zones de la région et un unique forage.

Tableau VII. 15 : Répartition des points d'eau AEP à travers la Commune de Ain Larbi

(Subdivision Ain Makhrouf 2023).

Nom du point d'eau	DébitThéorique l/s	Débit d'écoulement Exploité l/s	Date de mise en Service
forage Aouadj F 01	12	10	1993
source Aouadj 02	20	20	1995
source Aouadj 01	04	04	1995
source Ain Fras	03	03	2018
source Ain Dalia	05	05	2018
Ain Djamai	04	03	2018

L'extraction d'eau souterraine destinée à la consommation potable s'opère grâce aux stations de pompage réparties dans la commune d'Ain Larbi, comme précisé dans le tableau ci-après :

Tableau VII. 16 : Caractéristiques des stations de pompage (commune d'Ain Larbi,

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

*(Subdivision Ain Makhlouf 2023).*

<b>STP</b>	<b>Volume journalier m<sup>3</sup>/j</b>	<b>Année de mise en service</b>
<b>Aouadj 02</b>	1200	1993
<b>Aouadj 01</b>	172.8	2004
<b>Ain Fra s</b>	129	2001
<b>Lahligue</b>	60	2012
<b>Ain Dalia</b>	250	2018
<b>Ain Djmai</b>	60	2018
<b>Totale</b>	1871.8	

### **VII.4 Stockage :**

L'eau potable est stockée dans des réservoirs situés dans la Commune d'Ain Labi, dont les détails sont fournis dans le tableau ci-dessous :

*Tableau VII. 17 : Caractéristiques des réservoirs de la Commune de Ain Labi*

*(Subdivision Ain Makhlouf 2023).*

<b>N</b>	<b>Réservoir (07 + 03 Bâches à eau)</b>	<b>Capacité m<sup>3</sup></b>	<b>Date de mise en service</b>
<b>01</b>	R. Centre Ain Larbi 1	500	1995
<b>02</b>	R. Centre Ain Larbi 2	500	2011
<b>03</b>	R. Babouche	300	2007
<b>04</b>	R. Hamm Belhachene 1	200	1991
<b>05</b>	R. Bir Youssef	200	2004
<b>06</b>	R. Ain Fras	200	2001
<b>07</b>	R. Hammam Belhacheni 2	500	2017
<b>08</b>	B. Nakhla	20	2016
<b>09</b>	B. Lahligue	64	2012
<b>10</b>	Bache Mechetat Ain Baida	64	2018
<b>Totale</b>	/	2548	/

À travers le tableau V.17, nous constatons que la capacité totale de stockage est de 2548 m<sup>3</sup> ; ce qui est une capacité suffisante pour couvrir les besoins actuels.

En général, la municipalité d'Ain Larbi dispose d'une grande richesse en eau qui contribue sans aucun doute à desservir d'autres secteurs tels que l'agriculture, étant donné que l'approvisionnement en eau potable dans la municipalité a atteint 95 %.

sources d'eau les plus importantes de la municipalité sont l'oued Charf, l'oued Aar, qui borde la municipalité à l'ouest et au sud, et l'oued Chaniour.

### **VII.5 Problématique du secteur :**

La commune d'Ain Larbi rencontre d'importantes difficultés dans la gestion de ses ressources en eau, parmi lesquelles on peut relever :

**1. Vulnérabilité des ressources souterraines :** L'alimentation en eau repose majoritairement sur les ressources souterraines, en particulier les terrains aquifères susceptibles d'être impactés par l'urbanisation, comme les zones alluvionnaires proches des Oueds Cheniore et Charef.

### **2. Rejets urbains liquides :**

Les eaux usées issues du chef-lieu, des structures sanitaires, des eaux thermales des hammams et d'autres agglomérations se déversent dans les Oueds, contaminant indirectement le système alluvial. Cette situation est aggravée par l'absence d'infrastructures de traitement adéquates et l'usage d'eaux polluées pour l'irrigation.

### **3. Dégradation de la végétation et des sols :**

L'intensité des ruissellements et le manque de couverture végétale favorisent le transport de particules et d'éléments nuisibles, perturbant la circulation des eaux pluviales dans les réseaux d'assainissement.

### **4. Insuffisance de mobilisation de nouvelles ressources :**

Le terrain révèle un déficit de moyens pour mobiliser de nouvelles sources. Il est donc essentiel de Procéder au captage de nouvelles ressources afin de garantir un approvisionnement suffisant pour l'ensemble des pôles de consommation.

### **Conclusions et recommandations**

La gestion de la demande en eau constitue une solution efficace pour relever les défis du secteur de l'eau potable. Une utilisation rationnelle de l'eau nécessite des efforts continus et durables. Bien que les moyens techniques soient essentiels, ils ne suffisent pas à eux seuls : il est indispensable de les accompagner par une politique de sensibilisation permanente afin que la

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

---

rationalisation de l'usage de l'eau devienne un devoir collectif et une responsabilité partagée. L'économie de l'eau doit ainsi se transformer en véritable culture pour assurer la pérennité de toute politique en la matière.

Au terme de cette étude, plusieurs constats peuvent être établis :

- **Ressources hydriques** : La municipalité d'Ain Larbi dispose d'une richesse en eau significative, contribuant également à d'autres secteurs, notamment l'agriculture. L'approvisionnement en eau potable de la commune couvre aujourd'hui 95 % des besoins.
- **Typologie des ressources** : Les ressources souterraines constituent la principale source pour l'alimentation en eau potable, tandis que les ressources de surface sont exclusivement utilisées pour l'irrigation.
- **Évolution démographique** : La population de la commune a connu un taux de croissance élevé au cours de la dernière décennie, en grande partie dû à l'afflux de migrants des environs.
- **Capacité future** : La capacité actuelle de la commune à fournir de l'eau ne sera pas suffisante à l'avenir. L'augmentation de la demande liée à la croissance démographique, combinée à un déficit pluviométrique, pourrait réduire le niveau des eaux souterraines et, par conséquent, le débit des forages et sources d'approvisionnement.
- **Rôle des citoyens** : Les habitants doivent améliorer leurs habitudes de consommation et adopter des pratiques plus rationnelles afin de réduire le gaspillage d'eau.
- **Gestion intégrée de l'eau** : Pour assurer la durabilité des ressources, il est nécessaire de repenser les approches sectorielles et de privilégier une gestion intégrée de l'eau, conciliant les besoins humains et la protection des systèmes naturels.
- **Participation** : La mise en valeur et la gestion de l'eau doivent être participatives, impliquant utilisateurs, planificateurs et décideurs à tous les niveaux.

### **Recommandations :**

1. Élaborer une stratégie de gestion de l'eau favorisant la mobilisation des eaux de surface et l'exploitation rationnelle des eaux souterraines.

## ***Chapitre VII : Gestion des Ressources en Eau dans la commune de Ain Larbi***

---

2. Améliorer la productivité de l'eau dans l'agriculture en réduisant le gaspillage par l'introduction de techniques modernes d'irrigation (par exemple le goutte-à-goutte) et l'utilisation d'eaux usées traitées.
3. Réhabiliter et réorganiser les réseaux de distribution afin de remédier à leur vétusté.

Lutter contre les pertes importantes liées au manque d'entretien des installations (réseaux AEP et AEA).

## Conclusion Général

### **Conclusion Générale :**

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 parties ; les grès numidiens 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.

L'aspect tectonique de la région bien développé représenté par les failles affectant les formations carbonatées et parfois atteignant des profondeurs considérables (supérieures de 6 km) ont facilité la circulation et acquis des températures importantes et aidé à la libération d'un flux thermique important. Ces accidents dans la plupart des cas sont entrecroisés et leurs points d'intersection sont caractérisés par l'apparition de plusieurs sources hydrothermales.

Le bassin d'oued Charef, identifié par le code (14.01 - 14.02), se trouve dans la section nord-Est du territoire algérien. C'est la zone qui borde trois wilayas : Souk Ahras (41), Guelma (24) et Oum El Bouaghi (04). Il fait partie du bassin versant de la Seybouse, présente une forme triangulaire couvrant une superficie de 2900 km<sup>2</sup> et un périmètre de 57 Km.

L'Oued Charef, présente la limite Ouest du territoire communale qui draine presque la totalité de la région d'étude grâce à un chevelu hydrographique dense composé de cinq principaux cours d'eau, offrant de nombreuses possibilités d'exploitation pour différents usages de l'eau.

La région est soumise à un climat tempéré, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées (pluviométrie moyenne de 590 mm), et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse. L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 442.5 mm/an, l'évapotranspiration potentielle de l'ordre de 913 mm/an. La valeur de l'ETR calculée par la méthode de THORONTWAIT est la plus proche de la réalité.

Le calcul du bilan hydrologique nous a permis d'évaluer que l'infiltration est de l'ordre de 65.37 mm/an soit 11 % des précipitations et une lame d'eau ruisselée égale à 82.13mm/an, soit 14%, ce qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes d'eau souterraines.

Le système hydrologique et hydrogéologique d'Aïn Larbi est complexe. Sur le plan hydrologique, il est marqué par des écoulements temporaires liés à la variabilité des pluies et à la faible perméabilité de certaines formations. Sur le plan hydrogéologique, il comprend trois principaux aquifères : une nappe libre quaternaire peu épaisse au Sud et Sud-Ouest, une nappe karstique éocène — la plus importante — et une nappe libre oligo-miocène, peu perméable, à l'origine de sources souvent temporaires.

Selon l'étude hydrochimique, basée sur les illustrations graphiques (diagramme de Piper, Schoeller-Berkalouf et Chadah) et cartographiques (cartes hydrochimiques) les eaux souterraines de la commune de Ain Larbi sont la principale ressource en eau pour l'irrigation et l'usage domestique. Cette ressource s'est considérablement détériorée tant en qualité et en quantité, en raison de l'utilisation excessive de l'aquifère, l'augmentation de la population et par le changement climatique. La variation des paramètres physico-chimiques des eaux de sources, est due soit à des facteurs naturels (terrains) ou bien facteur entropiques (activité humaine).

Le pH des eaux varie pour la plupart des échantillons entre 7 et 8.5, ce qui indique que les eaux analysées sont pour la plupart neutres à alcalines et ne dépassent pas les normes établies par l'OMS. Les résultats des valeurs de la conductivité électrique lors des deux campagnes de prélèvements indiquent des variations entre 361  $\mu\text{S}/\text{cm}$  1625  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les sources froides, et de 4020  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 4430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pour les eaux thermales. Ces résultats dépassent quelque peu (relativement) les normes recommandées par l'OMS dans quelques sources (pour les eaux froides), contrairement pour les eaux chaudes, ou les valeurs de CE sont très élevées).

L'analyse descriptive des éléments nutritifs (nitrates, nitrites, ammonium et orthophosphate) montre des concentrations inférieures aux normes établis par l'OMS, ce qui indique l'absence de pollution agricole. Indépendamment de l'unique valeur de  $\text{NH}_4$  enregistré au niveau de la source S11 (0.9 mg/L) qui dépasse la norme (0.5 mg/l), ceci est dû à l'utilisation des engrais agricole et l'élevage intensif de la région.

Les eaux souterraines appartiennent au faciès hydro chimique des eaux de type : 80 % type Bicarbonaté calcique reflétant les calcaires éocène et 20%, chloruré calcique influencées par les formations numidiennes de la région d'étude.

L'application du diagramme Chahda pour les eaux souterraines de Ain Larbi, a permet de voir que la majorité des échantillons se trouvent classer dans le groupe II et à moindre degré dans le groupe I.

Selon les diagrammes de piper et Chadah en ressort que l'eau des ressources étudiées est riche en  $\text{Ca\_Mg\_HCO}_3$  et  $\text{Ca\_Mg\_Cl}$ .

Les résultats obtenus des analyses bactériologiques indiquent une contamination par des germes microbiologiques permettant de conclure que les eaux de ces sources que consomme la communauté d'Ain Arbi, ne répondent pas aux normes d'une eau potable et présente un risque sanitaire à moyenne terme pour la population.

Les indices de saturation montrent que la plupart des échantillons sont en sursaturation par rapport aux minéraux carbonatés (calcite, aragonite et dolomite) et en sous-saturation par rapport au gypse, anhydrite et halite (minéraux évaporitiques).

D'après le diagramme de Gibbs, les échantillons prélevés pendant les deux périodes basses et hautes eaux (janvier, juillet 2022) indiquent une interaction entre les échantillons étudiés et les formations rocheuses, ce qui suggère une dissolution des minéraux évaporitiques tels que le gypse [ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ] et l'halite [ $\text{NaCl}$ ].

L'indice d'échange de base est remarqué par une prédominance des valeurs positives de CAI (1) reflète la substitution des ions sodium et potassium du sol par le calcium et le magnésium de l'eau. Cela signifie que les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  présents dans l'eau sont remplacés par les ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$  provenant des formations géologiques encaissées.

L'analyse de l'indice de qualité de l'eau (IQE) dans la commune d'Aïn Larbi met en évidence une forte variabilité saisonnière. En période sèche (juillet), la majorité des stations présentent une qualité moyenne à mauvaise, traduisant l'effet de la concentration des sels dissous et des pollutions agricoles et domestiques. En revanche, en période humide (janvier), la qualité s'améliore nettement, avec la plupart des points classés en excellente ou bonne qualité, (à l'exception de la station S11) grâce à la recharge et à la dilution liées aux précipitations. Ainsi, la qualité des eaux souterraines est largement influencée par le régime pluviométrique, ce qui souligne la nécessité d'une surveillance régulière et d'un traitement adapté dans les zones les plus vulnérables.

L'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation par Les indices d'eau d'irrigation tels CE, Na%, SAR, PI, RSC et Mg montre que ces eaux sont aptes à l'usage agricole.

La gestion de la demande en eau à Aïn Larbi doit s'appuyer sur une approche intégrée combinant mobilisation des eaux de surface, exploitation rationnelle des aquifères, modernisation des infrastructures et sensibilisation des citoyens. Face à la croissance démographique et à la variabilité pluviométrique, il est essentiel d'améliorer l'efficacité de l'irrigation, de réduire les pertes dans les réseaux de distribution et de promouvoir une culture collective de l'économie de l'eau pour garantir la durabilité des ressources.

En perspectives et afin d'éviter tout risque sanitaire lors de la consommation de ces eaux et pour une meilleure maîtrise de cette pollution, il serait judicieux d'entreprendre les démarches suivantes :

- Elargir la période d'étude (plusieurs saisons) ;
- Rechercher d'autres germes à savoir : les parasites, les levures et moisissures.

Adopter des comportements écologiques pour mieux maîtriser les consommations est un impératif économique et environnemental vital pour notre planète. Par conséquent, des règles et des directives doivent être établies conformément à l'organisation mondiale de la santé pour préserver la qualité de l'eau. Parmi ces règles, nous mentionnons les suivantes :

- La protection des ressources naturelles contre toute forme de pollution (création des périmètres de protection).
- L'exploitation durable de l'eau potable.
- Contrôle continu de la qualité des sources par les autorités en charge (bureau d'hygiène) ;
- L'état technique et structurel des installations (services hydrauliques).
- Les moyens techniques mis en œuvre pour traiter l'eau.
- Le sens des responsabilités de tous les intervenants.
- Surveiller l'utilisation des pesticides et des engrais dans les terres agricoles pour éviter les risques de transfert de ces matières vers les eaux souterraines.
- Prendre soin de l'aspect sanitaire et promouvoir l'hygiène en améliorant leurs différentes conditions.

## References Bibliographies

## Référence Bibliographique

---

- Abderamane H., Razack M., & Vassolo S., (2012): hydrogeochemical and isotopic characterization of the groundwater in the chari-baguirmi depression. Republic of Tchad. *Journal of Environmental Earth Sciences*. 69(7): pp 2337–2350.
- Adam J.1980. Health aspects of nitrate in drinking water and possible means of denitrification, literature review, *water SA*, 6, p79.
- Adimalla N, Venkatayogi S (2018) Caractérisation géochimique et évaluation de l'adéquation des eaux souterraines pour l'utilité domestique et agricole dans la région semi-aride de Basara, État de Telangana Inde du Sud. *Appl Water Sci* 8:44. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0682-1>
- Adimalla N, Dhakate R, Kasarla A, Taloor AK (2020) Évaluation de la qualité des eaux souterraines à des fins de consommation et d'irrigation dans le centre du Telangana en Inde. *Groundw Sustain Dev* 10:100334. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100334>
- AFNOR, (1997). *Qualité de l'eau, Tome1: Terminologie, échantillonnage et évaluation des méthodes*, 3<sup>ème</sup> édition, Paris, France, 656p.
- Amadou H, Laouali MS, Manzola AS (2014) Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la région de Tahoua (Niger). *J App Bioscience* 81:7161. <https://doi.org/10.4314/jab.v81i1.6>
- Amrani S (2016) Hydrodynamisme, hydrogéochimie et vulnérabilité de la nappe d'eau et leur relation avec la tectonique cassante dans la zone effondrée Timahdite-Almis Guigou (Moyen Atlas, Maroc). Thèse de Doct. Nat., Fac. Sci. et Tech., Université Fès, p. 178
- Apodaca LE, Bails JB, Smith CM (2002) Qualité de l'eau dans les aquifères alluviaux peu profonds, bassin supérieur du fleuve Colorado, Colorado, 1997. *J Am Water Resources Assoc* 38:133-149. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2002.tb01541.x>
- Ayers, RS; Westcot, DW *Qualité de l'eau pour l'agriculture; Document de la FAO sur l'irrigation et le drainage: Rome, Italie, 1985; p. 29.*
- Bahroun S. 2016. Objectifs environnementaux de rejet pour les polluants dans le milieu récepteur et optimisation du pouvoir auto-épuration: cas de l'oued Kébir est (nord est algérien),163p
- Baudry.J. Jouin.2003: cahiers de géographie du québec, de la haie des bocages
- BEAUDRY, T., HENRY T., M., 1984. *Chimie des eaux*, édition. Les griffons d'argiles, 1<sup>ère</sup>, édition, INC Canada.
- Bengoumi M., Traoure A., Bouchriti N., Bengoumi D., El Hraiki A., 2004. Qualité de l'eau en aviculture. *Revue trimestrielle d'information scientifique et technique* 3(1), p : 5-25.

## Référence Bibliographique

---

- Benmarce K., 2015, "Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Nord-Est Algérien", Thèse de doctorat en sciences, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 156 p.
- Bennana M., (2013). Étude de la pollution de l'eau et du littoral du lac de Hassi ben Abdellah, Master académique, Université Kasdi Marbah, Ouargla. 46p.
- Benrabah, S., Hannouche, M and Attoui, B. (2017). "Treatment effectiveness of water in Bouhamdane watershed (Guelma, Northeastern Algeria)", *Management of Environmental Quality*, Vol. 28 No. 4, pp. 507-514. <https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2015-0066>.
- Benrabah, S., Attoui, B., Hannouche, M. (2016). Characterization of groundwater quality destined for drinking water supply of Khenchela City (eastern Algeria). *Journal of Water and Land Development*. No. 30 p. 13 20. DOI: 10.1515/jwld-2016-0016.
- Benrabah, Samia. Touati Mounira, Halimi Fahima, Tachi Salah Eddine, Bouguerra Hamza., The environmental impact of dam construction in a wetland area-a case study- Boukhroufa (El Taref) Algeria, *Geomatics, Land management and Landscape GLL*, No. 3, 2024 <http://dx.doi.org/10.15576/GLL/2024.3.01>
- Benrabah Samia, Halimi Fahima, Sedrati Nassima, Allouani Nora and Touati Mounira. (2024). Assessing Spring Water Quality Using Geostatistical Modelling in a Semi-Arid Region: Ain Larbi Northeastern (Algeria). *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*. Vol.28(6):13571373.<https://dx.doi.org/10.21608/ejabf.2024.396344>.
- Bouaicha. F, 2018 THESE DO. Hydrogeochemistry and geothermometry of thermal springs from the Guelma region, Algeria.
- Bouaicha. F, Dib. H, Belkhiri. L, Manchar. N & Chabour. N, 2017. Hydrogeochemistry and geothermometry of thermal springs from the Guelma region, Algeria. *Journal of the Geological Society of India* 90.
- Bouillin. J. P., 1986. Le bassin Maghribin: une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'Ouest des Alpes.
- Bouziani M., (2012). Les pathologies infectieuses: aspects épidémiologiques et prophylactiques, ed, Dar. 10-45-46-50p.
- Brahmi S, Baali F, Hadji R, Brahmi S, Hamad A, Rahal O, Zerrouki H, Saadali B, Hamed Y (2021) Évaluation de la pollution des eaux souterraines et des sols par lixiviat à l'aide de la résistivité électrique et de l'imagerie de polarisation induite, cas de la décharge municipale de Tebessa. NE Algérie Arabe *J Geosci* 14:265. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06571-z>
- Brouillette D., Ouellet M., 2003. Guide pour l'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau en lac, Ministère du Développement durable. De l'Environnement. De la Faune et des Parcs Canada, Québec Montréal. 08-22 p.
- Brown R. M., N. I. McClelland, R. A. Deininger 428 Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R. & Savard, M.M. (2008) Multivariate statistical analysis of geochemical data as

## Référence Bibliographique

---

indicative of the hydro geochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrology*, 353: 294– 431 313.

- Castany 1967. *Traité Pratique des eaux souterraines*. (2<sup>ème</sup> édition), Edition Dunod Paris.
- Chahboune M, Chahlaoui A, Zaid A, Mehanned S and Ben Moussa A, 2014. Monitoring of the waters quality of Moulouya River: main tributary of Hassan II dam (Province of Midelt, Morocco)
- Chapman D. V. 1996. *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring*.
- Chaudhary V, Kumar M, Sharma M, Yadav BS (2010) Toxicité du fluorure, du bore et du nitrate dans les eaux souterraines du nord-ouest du Rajasthan, Inde. *Évaluation Environ Monit* 161: 343–348
- Chouabbi. A.M, 1987. *Étude géologique de la région de Hammam N’Baïls (SE de Guelma,*
- Claude E Boyd (2015): *Water Quality an Introduction*. Second Edition. Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-17446-4
- Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R. & Savard, M.M. (2008) Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydro geochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrology*,353: 294–313
- Coutagne.A.1954: quelques considérations sur le pouvoir évaporant l’atmosphère, le déficit d’écoulement effectif
- CRAAG, 2004. *Prospection géophysique-etude gravimétrique: Guelaat Bousbaa (Guelma)*.64p.
- D.P.A. T, 2011: *Direction de planification et de l’aménagement du territoire*. Guelma.
- Darest de la Chavane. J.C, 1909. *Carte détaillée de l’Algérie à 1:50 000, feuille n° 76, Gounod– La Mahouna*. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, France.
- Debieche T.H. (2002): *Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l’effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est Algérien*. Thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie. 235p.
- Dégbey C, Makoutodé M, Ouendo EM, De Brouwer C. 2010. *Pollution physicochimique et microbiologique de l’eau des puits dans la Commune d’Abomey-Calavi au Bénin en 2009*. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(6): 2257-2271
- Desjardins R. 1997 Desjardins, R., Jutras, L. & Prévost, M. (1997). *Évolution de la qualité de l’eau dans le réseau de distribution de la ville de Montréal*. *Revue des sciences de l’eau / Journal of Water Science*, 10(2), 167–184. <https://doi.org/10.7202/705275ar>
- Detay, 1993). Detay, M. (1993). *The use of artificial recharge to improve ground water quality and quantity: The Lyonnaise des Eaux-experience*, in *International Workshop: Ground water quality and quantity and water supply in Lithuania - Vilnius –Druskininkai*, 18-19p.

## Référence Bibliographique

---

- Doneen LD (1964) Notes on water quality in agriculture. Water Science and Engineering, University of California. Davis, p 48
- Drever JF (1997) La géochimie des eaux naturelles, 3e éd. Prentice-Hall Inc., New York p, p 379
- DSA. (2022): Direction de service agricole, Guelma, Algérie
- Durand Delga, M., 1955. Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. (France. 533p.).
- Durand Delga, M., 1969. Mise au point sur la structure du Nord-Est de la berberie.
- E.NA.GEO. (1971). Entreprise nationale de géophysique. Etude géophysique dans la région de Guelma. 52 p
- Elubid AB, Huang T, Ahmed HE, Zhao J, Elhag MK, Abbass W, Babiker MM (2019) Distributions géospatiales de la qualité des eaux souterraines dans l'État de Gedaref à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) et d'un indice de qualité de l'eau potable (DWQI). Int J Environ Res Public Health 16(5) :731. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050731>
- Emberger L .1954. Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Univ. Montpellier. Série Bot. n°7.
- Farnham, I.M., Stetzenbach, K.J., Singh, A.K. & Johannesson, K.H., 2000. Mathematical Geology 32: 943–968.
- Frapé SK, Fritz P, McNutt RH (1984) Interaction eau-roche et chimie des eaux souterraines du Bouclier canadien. Geochim Cosmochim Acta 48:1617-1627. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90331-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90331-4)
- Freeze et Cherry, (1979). Freeze, RA et Cherry, JA (1979) Eaux souterraines. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Vol. 7632, 604.
- Fustec E., Lefeuvre J C et Coll., 2000. Fonctions et valeurs des zones humides, Dunod
- Gantzer C., Lucena F., Schwartzbrod L., Jofre J., (1998). Indicateurs de contamination virale du milieu hydrique: mythe ou réalité, Virologie 2. 117-120p.
- Garg VK, Suthar S, Singh S, Sheoran A, Garima M, Jai S (2009) Qualité de l'eau potable dans les villages du sud-ouest de l'Haryana, Inde: évaluation des risques pour la santé humaine associés à l'hydrochimie. Environ Geol 58:1329–1340
- Gartet A, Gartet J, Conesa G.C., (2001): Hydrochimie des eaux, dissolution spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassin de l'oued L'ébène (Périmètre central, Maroc). Papeles de Geografía, Revue de l'Université de Murcia. 143 p.
- Gérard G., (1999). L'eau: Usages et polluants, Editions QUAE. 210p.
- Gibbs R.J. (1970) Mechanisms Controlling World's water chemistry. Science, 170, No10, 88- 90.
- Gregorio C., Pierre-Marie B., (2007). Traitement et épuration des eaux industrielles polluées: Procédés, Presses Univ. Franche-Comté, 356 p.
- Guessoum et al., 2014).

## Référence Bibliographique

---

- Hallaire, M, 1959: les conditions d'alimentation en eau des végétaux
- Hamlat, A., Errih, M. & Guidoum, A. (2013): Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. Arab J Geosci 6, 2225– 2236, <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0539->
- Hanson B, Grattan SR, Fulton A (1999) Salinité et drainage agricoles. Programme d'irrigation de l'Université de Californie. Université de
- Hassen I, Hamzaoui-Azaza F, Bouhlila R (2016) Application de l'analyse statistique multivariée et des investigations hydrochimiques et isotopiques pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines et leur aptitude à la consommation et à l'agriculture: cas de l'aquifère d'Oum Ali-Thelepte, centre de la Tunisie. Environ Monit Assess 188:20. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5124-7>
- He, S.; Li, P. A MATLAB based graphical user interface (GUI) for quickly producing widely used hydrogeochemical diagrams. Geochemistry 2019, 80, 125550. [Google Scholar] [CrossRef]
- Hem J.D. (1989) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 263 p.
- Henaut A., (2011): Pollution de l'air et de l'eau, Les dossiers de science et politiques publiques, université Pierre et Marie Curie, Paris. 02p.
- Horton R. K. (1965) An index number for rating water quality, Journal of Water Pollution Control Federation, 37 (3), pp 300-306.
- Jacobs K., R Pulwarty. 2002. Water Resource Management, Science, Planning and Decision- Making, American Geophysical Union Monograph.
- John P, Donald A., (2010): Microbiologie, 3ème Édition. P 1216 (Guessoum et al., 2014).
- JORA, (2011): Décret exécutif n° 11-125, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir -Mourad Raïs, Alger, Algérie, p25.
- Kadaoui M, Bouali A, Arabi M (2019) Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la plaine irriguée de Triffa, au nord-est du Maro
- Kahlerras, M., Meddi, M., Benabdelmalek, M. et al. (2018): Modeling water supply and demand for effective water management allocation in Mazafran basin (north of Algeria). Arab J Geosci 11, (547), <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3869-8>
- Kallel A, Ksibi M, Ben Dhia H, Khélifi N (2018) Avancées récentes en sciences de l'environnement de l'euro-Méditerranée et des régions environnantes. Springer International Publishing, Cham
- Kankou M., (2004). Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie: étude en laboratoire du comportement de deux pesticides, Thèse de doctorat, Université de Limoges. 159p

## Référence Bibliographique

---

- Kelley, W.P. Permissible Composition and Concentration of Irrigated Waters. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 1940, 66, 607–613. [Google Scholar]
- Kelley, WP Utilisation d'eau d'irrigation saline. Science du sol. 1963, 95, 385-391.
- Kiken. M, 1961. les traits essentiels de la géologie de l'Algérie.
- Kiniouar, H. (2018): Analyse multicritère et caractérisation du modèle de gestion intégrée des ressources en eau de la vallée du Rhumel. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, 164p.
- LAHONDÈRE J.C. (1983) La série ultra tellienne d'Algérie Nord orientale et les
- Lahondère. J. C., 1987. Les séries ultratelliennes d'algérie Nord-orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural.
- Lenntech (2022): Chemical properties of sodium - Health effects of sodium - Environmental effects of sodium. <https://www.lenntech.com/periodic/elements/na.htm>. Consulté le 04-08-2022
- Li, P.; Wu, J.; Qian, H. Assessment of groundwater quality for irrigation purposes and identification of hydrogeochemical evolution mechanisms in Pengyang County, China. Environ. Earth Sci. 2013, 69, 2211–2225
- Madigan M, Martinko J., (2007): Biologie des microorganismes, 11ème édition, Pearson.éducation, Paris. 918p.
- Madoui F., Sahraoui M., (2011). Etude de l'impact des caractères physicochimiques sur la communauté algale des cours d'eau de la région d'oued Athmania. Mémoire d'ingénieur en Ecologie et Environnement. Université Mentouri–Constantine. 11-93p.
- Mahmood, R., Jia, S., Mahmood, T., Mehmood, A. (2020) Predicted and projected
- Merouani M., et Bouguedah A., (2013):. Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité alla pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. Mémoire master.
- Meybeck, M. 1987 Global chemical weathering from surficial rocks estimated from river dissolved loads. American Journal of Science 287,401–428.
- Miloš Gregor (2013): Surface- and Groundwater Quality Changes in Periods of Water Scarcity. University Bratislava. Slovakia
- Mohammedi I, Mayou O., (2015): Evolution du transport solide et la qualité deseaux Cas du bassin versant de l'oued Harraza. Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.
- Madigan M, Martinko J., (2007). Biologie des microorganismes, 11ème édition, Pearson.éducation, Paris. 918p
- Mouffok F., (2016). Contrôle bactériologique des eaux, Présentation des activités de l'Institut Pasteur.03-04-05 p.
- Nora Allouani, Samia Benrabah, Hamza Bouguera, Fahima Halimi and Salah Eddine Tachid, Origin of spring water chemistry and its appropriateness for drinking requirements in a semi-arid environment (Ain Larbi, Algeria), Journal of Water Supply Vol 00 No 0, 1 doi: 10.2166/ws.2024.148

## Référence Bibliographique

---

- Nsikak Benson., (2008). Encyclopedia of Global Warming and Climate Change. Ed. S. Philander. Vol 3. Thousand Oaks. CA: Sage Publications Inc .813p.
- Oliosio A. 2006. Monitoring of irrigated wheat in a semi-arid climate using crop modeling and remote sensing data: Impact of satellite revisit time frequency. *Int J. Remote Sens*, 27, pp1093-1117.
- OMS, 2011, Directives de qualité pour l'eau de boisson. Quatrième édition. Publication
- Ozenda P. 1982. Les végétaux dans la biosphère. Doin Editeurs Paris, 426p.
- Paliwal KV (1972) Irrigation avec de l'eau salée. Monogramme n°. 2, nouvelle série 198, IARI, New Delhi
- Parizot M., Laporte, P., Joseph, B., 2008. Contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Guyane conformément à la Directive Cadre Européenne sur l'Eau: saison des pluies 2008 Rapport final BRGM, RP-56890-FR.
- Parkhurst DL, Appelo CAJ (1999) Guide de l'utilisateur de PHREEQC (version2). Un programme informatique pour la spéciation, la réaction par lots, le transport unidimensionnel et les calculs géochimiques inverses. Rapport d'enquête sur les ressources en eau de l'USGS, pp 99-4259
- PHREEQC: a case study. *Natural resources research* 21(3): 311-324. DOI: 10.1007/s11053-012-9180-6
- Piper AM (1944) Une procédure graphique dans l'interprétation géochimique des analyses d'eau. *Trans Am Geophys Union* 25: 914–923
- Pourriot et Meybeck 1995. Géographie physique et Quaternaire.
- Rabia Y., Djamaa Y., (2014). Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux du barrage Beni Haroun dans la région de Mila. Mémoire Préparé En vue de l'Obtention du Diplôme de Master. Centre Universitaire de Mila. Institut des Sciences et de la Technologie. Département de Science de la Nature et de la Vie.05p.
- Rajendran A. and Mansiya C. (2015). Physico-chemical analysis of ground water and environmental safety.
- Rao, N.K.; Latha, P.S. Groundwater quality assessment using water quality index with a special focus on vulnerable tribal region of Eastern Ghats hard rock terrain, Southern India. *Arab. J. Geosci.* 2019, 12, 267.
- Raoult J.F., (1975). Evolution paléogéographique et structurale de la chaîne alpine entre le golfe de Skikda et Constantine (Algérie orientale). Extrait du bulletin de la société géologique de France, 7° série. t, XVII, 394-409. »
- Ravikumar, P.; Mehmood, M.A.; Somasheka, R.K. Water quality index to determine the surface water quality of Sankey tank and Mallathahalli lake, Bangalore urban district, Karnataka, India. *Appl. Water Sci.* 2013, 3, 247–261.
-

## Référence Bibliographique

---

- Richards LA (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C. 160p.
- Richards, L.A. Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils. In Agriculture Handbook; US Department of Agriculture: Washington, DC, USA, 1954; Volume 60, p. 160.
- Roche M. 1963. Hydrologie de surface, office de la recherche scientifique et technique –Outre mer, Edition Gauthier-Villard, Paris. 430p.
- Rodier J, Legube B, Merlet N (2009) Analyse de l'eau, 9e éd. Dans: Dunod (éd.), Paris, France,
- Rodier. J., (1996). Analyse des ^  
eaux naturelles, eaux résiduaires. 8ème édition, Paris, Dunod, 1130 p
- Runnels R. T., Schleicher J. A. (1956) Chemical composition of eastern Kansas limestone. State Geol. Surv. Kansas Bull. 119 (Part 3), 103.
- Saeedi M, Abessi O, Sharifi F, Meraji H (2010) Développement de l'indice de qualité des eaux souterraines. Environ Monit Assess 163(1) :327–335. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0837-5>
- Saeid S, Chizari M, Sadighi H, Bijani M (2018) Évaluation des utilisateurs des eaux souterraines agricoles en Iran: un biais environnemental culturel. Hydrogeol J 26(1) :285 à 295. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1634-9>
- Salama RB, Otto CJ, Fitzpatrick RW (1999) Contributions des conditions des eaux souterraines à la salinisation des sols et de l'eau. Hydrogeol J 7(1):46–64. <https://doi.org/10.1007/s100400050179>
- Salghi R., (2009): Professeur à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir Cour chimie des eaux. 35p.
- SAMAKE H. (2002). Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, 77p.
- Sari H., (2014): Contribution a l'étude de la qualité chimique et bactériologique de l'eau de la source « ATTAR» (TLEMCEN). Mémoire magister. Université Aboubekr Belkaid Tlemc. 92p.
- Schoeller, H, 1962: les eaux souterraines,642P
- Schwartzbrod J., Capizzi-Banas S., (2003). Parasite contamination of liquide sludgefromurbain wastewater treatment plants, Water Science and Technology 47. 163- 166p.
- Seltzer. P. 1946. Climat de l'Algérie, Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, Ed Imp. La Typo- et Jules Carbonnel Réunies.
- Simler R (2009) Diagrammes software. Downloadable at <http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>
- Simler R (2009) Diagrammes: logiciel d'hydrochimie multilangage en distribution libre. Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, France
- Singaraja, C. Relevance of water quality index for groundwater quality evaluation: Thoothukudi District, Tamil Nadu, India. Appl. Water Sci. 2017, 7, 2157–2173

## Référence Bibliographique

---

- Singh K. P., Malik A., Mohan D. and Sinha S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water research* 38(18), 3980-92.
- Singh, A.K.; Mondal, G.C.; Kumar, S.; Singh, T.B.; Tewary, B.K.; Sinha, A. Major ion chemistry, weathering processes and water quality assessment in upper catchment of Damodar River basin
- Singh, K.K.; Tewari, G.; Kumar, S. Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: A Case Study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand. *J. Chem.* 2020, 2020, 6924026.
- Subramani T, Rajmohan N, Elango L (2010) Géochimie des eaux souterraines et identification des processus hydrogéochimiques dans une région de roches dures, dans le sud de l'Inde. *Environ Monit Assess* 162(1–4):123–137
- Sutradhar, S.; Mondal, P. Évaluation de l'adéquation des eaux souterraines basée sur l'indice de qualité de l'eau et la caractérisation hydrochimique de la sous-division de Suri Sadar, Bengale occidental. *Écol. Informer.* 2021, 64, 101335.
- Szabolcs, I.; Darab, C. The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content of Soils. In *Proceedings of the 8th International Congress of ISSS, Bucharest, Romania, 31 August–9 September 1964; Volume II, pp. 803–812.*
- Thornthwaite C W, Mather J R., 1955. The water balance, *Climatology* 8 (1), 104p.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review* 38: 55.
- Touhari Fadhila (2015): Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff » thèse de doctorat en Hydraulique. L'école Nationale Supérieure D'hydraulique. Algérie
- Trivedy R. and Goel P. 1984. Chemical and biological methods for water pollution studies. Environmental publications.
- Turc, L., 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Ann. agron*, 12(1), 13-49.
- UNESCO (2023) Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau. UNESCO, éd
- USSL (US Salinity Laboratory) (1954) Diagnostic et amélioration des sols salins et alcalins. Manuel agricole n° 60 de l'USDA, p. 160
- Vasanthavigar, M.; Srinivasamoorthy, K.; Prasanna, MV Évaluation de l'adéquation des eaux souterraines à des fins domestiques, d'irrigation et industrielles: une étude de cas du bassin fluvial de Thirumanimuttar, Tamil Nadu, Inde. *Évaluation Environ Monit.* 2012, 184, 405-420.
- Vila J. M et Magné J., (1969). Evolution du domaine néritique constantinois dans la région de Guelma(Algérie), à la fin du Secondaire et au début du Tertiaire: conséquences paléogéographiques. *C.R. Acad. Sc.*, t. 197, p. 775-778, 2 fig., Paris.

## Référence Bibliographique

---

- Vila J. M., (1970). Répartition de l'autochtone en fenêtre Hahouner-Débar (feuille au 1/50 000è de Gounaud-La Mahouna, Nord-Est de Constantinois, Algérie). B.S.G. France, (7), XII, p. 813-817, 3 fig. Paris
- Vila J.M., (1966). Sur la présence d'un flysch allochtone tithonique et néocomien dans la région située entre Bône et Guelma (Est de la chaîne numidique, Algérie). C.R. Somm. S.G. France, p 232, 1 fig., Paris.
- Vila J.M., (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens.Th. Doc. Es sciences naturelles, Paris 3 tomes, 665 pages, 199 figures, 40 planches.
- VILLERS Juliette et all (2005): Qualité Physico-Chimique Et Chimique Des Eaux De Surface:
- WHO (2011) Guidelines for drinking-water quality. WHO Ed. Retrieved from [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/dwq\\_guidelines/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/)
- WHO (2017) Organisation mondiale de la santé (OMS) directives de qualité pour l'eau de boisson
- Wilcox LV (1955) Classification et utilisation des eaux d'irrigation, Département de l'agriculture des États-Unis. Circ. 969. Washington, DC.
- Zaidi, F. K., Nazzal, Y., Jafri, M. K., Naeem, M. & Ahmed, I. 2015 Reverse ion exchange as a major process controlling the groundwater chemistry in an arid environment: A case study from northwestern Saudi Arabia. Environmental Monitoring and Assessment 187, 607.<https://doi.org/10.1007/s10661-015-4828-4>.