

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

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



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : Hydrogéologie

Thème

L'apport des conditions hydroclimatologiques dans
l'étude du contexte hydrogéologique des sources d'eau
de la région d'Ain Makhlouf, (Wilaya de Guelma)

Membres de Jury

Président : DAROUICHE Abdelmalek

Examineur: KINIOUAR Hocine

Encadrant : DJORFI Samir

Co-Encadrant : RIHIA Djamel

Présenté par:

LAYADI Mehdi

HIRECHE Hamza

Année Universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A ma sœur Asma pour son encouragement, et son soutien moral,

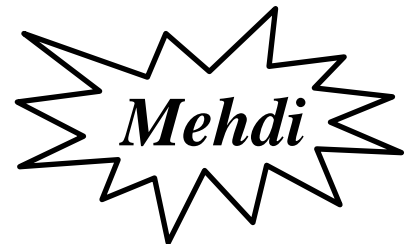
A mes chers frères Badro et Zaki pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A mon binôme Hamza et toute sa famille

A mes chers amies, et a tous les amis (es) d'étude surtout ceux de ma promotion : hydrogéologie

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.



Mehdi

Dédicace

Tout d'abord, je veux remercier mon Dieu qui m'aide à arriver ce bon jour.

Je dédie ce mémoire

A mes très chers parents, ma mère et mon père, pour leur amour, leur patience, leur soutien et leur encouragement au cours de ma carrière d'étude.

A mes frères et sœurs, Awatef, Imad, Samira, Meryem et Abdenour pour leur soutien physique ou morale.

A mon binôme et frère au même temps Mehdi et à toute sa famille.

A tous mes amis et camarades et surtout Fares, Yasser, Moustafa, Karim, Oussama, Hassni, Okba, Saleh, Aymen, Djihad, et Sara.

Sans oublier tous les professeurs, que ce soit de l'enseignement ; primaire, moyen, secondaire ou universitaire.



REMERCIEMENTS

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

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

Nous remercions profondément les deux personnes qui nous ont apporté un énorme soutien: Monsieur Djorfi Samir, d'avoir encadré et suivi notre travail de près, avec sa rigueur scientifique, ses conseils durant l'évolution de ce travail ainsi qu'avec sa gentillesse, et Monsieur Rihia Djamel, qui nous a beaucoup encouragé.

Nous remercions également aux membres de jury et qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail ; qu'ils soient assurés de notre profonde gratitude.

Nous tenons à remercier l'ensemble du corps professoral de notre Master « Hydrogéologie » qui nous a inculqués des connaissances théoriques et pratiques non négligeables dans le cadre de notre formation.

Nous voudrions aussi remercier nos enseignants du département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'université de Jijel, ainsi que le chef de département.

Nos remerciments vont également au staffe administratif et technique de la commune d'Ain Makhlouf en particulier ; Garziz T, Zarrit S. Nous sommes très reconnaissants aussi au personnel de la subdivision de l'hydraulique d'Ain Makhlouf spécialement Ghoumrani R et Boumaarf F qui ont mis à notre portée tout ce qu'ils possèdent comme données et informations liées à notre thème de travail , sans oublier bien sûr les habitants de la campagne qui nous ont faciliter le processus de sortie sur terrain.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé, de près ou de loin, dans l'accomplissement de ce travail.

Résumé

Les changements climatiques est une notion qui est en constante évolution. Elle constitue aujourd'hui une véritable menace pour l'environnement et bien sûr pour la pollution des eaux, donc l'accroissement des besoins en eaux potable.

La commune d'Ain Makhlouf, possède actuellement, des ressources hydriques relativement limitées, l'un des importantes ressources sont les sources, mais la principale ressource en eau potable étant le forage F12 situant dans la plaine de Tamlouka.

À cause de leur caractéristique hydroclimatique (semi-aride), et mécanismes de fonctionnement de système aquifère, le débit des sources d'eau de la région d'Ain Makhlouf est variables selon les périodes des hautes et des basses eaux qui contribuent à la détérioration de leur eau.

Nous avons étudié l'évolution des paramètres hydrogéologiques et hydroclimatologiques à partir d'un ensemble de données et au cours de plusieurs campagnes de mesures. Il ressort de l'interprétation de ces données ce qui suit :

Trois horizons aquifères s'individualisent suivant son contexte hydrogéologique, dont la limite entre les quelles est marquée par un changement latéral de faciès lié à la tectonique et avec l'accumulation pendant le miocène et le quaternaire, dont les principales formes de leur exploitation sont les sources. Par comparaison, ces sources présentent des régimes et des comportements différents vis-à-vis aux changements climatiques :

- Sources karstiques : étroitement liée à la variation météorique, ceci est due à leur écoulement souterrain libre et rapide à travers les fissures.
- Sources alluvionnaires : Leur lenteur de réponse aux variations météoriques est due au degré de la perméabilité, à l'importance de la réserve ou encore à leur origine profonde, d'où leur importances socio-économique en présence d'un important débit. Selon cette approche nous avons pu sélectionnée cinq émergences (S18, S25, S29, S31 et S41).

L'établissement de La carte piézométrique montre que l'écoulement des eaux souterraines suit parfaitement la topographie.

Les paramètres physico-chimiques des eaux de la région d'étude restent généralement optimaux pour l'AEP, exceptant les quelques excès de minéralisation liés aux divers facteurs.

Mots clés : semi-aride, eaux souterraine, changements climatiques, système aquifère, minéralisation.

Abstract

Climate change is a concept that is constantly evolving. It is now a real threat to the environment and of course to water pollution, so the increase in drinking water needs.

The commune of Ain Makhoulf, currently has relatively limited water resources, one of the important resources are the springs, but the main source of drinking water being the F12 borehole located in the Tamlouka plain.

Because of their hydroclimatic (semi-arid) characteristic, and functioning mechanisms of the aquifer system, the flow of water sources in Ain Makhoulf region is variable depending on the periods of high and low water which contribute to the deterioration, of their water.

We have studied the evolution of hydrogeological and hydroclimatological parameters from a set of data and during several measurement campaigns. The interpretation of these data shows the following:

Three aquifer horizons are individualized according to their hydrogeological context, the limit between which is marked by a lateral change of facies linked to the tectonics and with the accumulation during the Miocene and the Quaternary, of which the main forms of their exploitation are the sources. By comparison, these sources present different regimes and behaviors with respect to climate change:

- Karst springs: closely related to meteoric variation, this is due to their free and rapid underground flow through cracks.
- Alluvial springs: Their slowness of response to meteoric variations is due to the degree of permeability, the size of the reserve or their deep origin, hence their socio-economic importance in the presence of a large flow. According to this approach we were able to select five emergences (S18, S25, S29, S31 and S41).

The establishment of the piezometric map shows that the groundwater flow perfectly follows the topography.

The physico-chemical parameters of the waters of the study region remain generally optimal for the AEP, except for the few excess mineralization linked to various factors.

Keywords: semi-arid, groundwater, climate change, aquifer system, mineralization.

ملخص

تغير المناخ هو مفهوم يتطور باستمرار. اليوم يشكل تهديداً حقيقياً للبيئة وبالطبع لتلوث المياه ، ومن هنا تأتي الحاجة المتزايدة لمياه الشرب.

بلدية عين مخلوف ، لديها حالياً موارد مائية محدودة نسبياً ، أحد المصادر المهمة هي الينابيع ، لكن المصدر الرئيسي لمياه الشرب هو البئر الارتوازي (F12) الموجود في سهل تاملوكة

بسبب خصائصها المائية (شبه القاحلة) ، وآليات عملها في نظام الخزان الجوفي ، فإن تدفق ينابيع المياه في منطقة عين مخلوف يختلف باختلاف فترات ارتفاع وانخفاض المياه التي تساهم في التدهور. من مياهم.

لقد درسنا تطور العوامل الهيدروجيولوجية والمائية المناخية من مجموعة من البيانات وخلال عدة حملات قياس. يوضح تفسير هذه البيانات ما يلي:

تم تخصيص ثلاثة أفاق للخزان الجوفي وفقاً لسياقها الهيدروجيولوجي ، والتي يتميز الحد بينها بتغيير جانبي في الواجهة المرتبطة بالتكتونية ومع التراكم خلال العصر الميوسيني والرباعي ، والتي تمثل الأشكال الرئيسية لاستغلالها المصادر. بالمقارنة ، تقدم هذه المصادر أنظمة وسلوكيات مختلفة فيما يتعلق بتغير المناخ:

الينابيع الكارستية: تتغير تدفقاتها وترتبط ارتباطاً وثيقاً بالمناخ ، ويرجع ذلك إلى التدفق الجوفي الحر والسريع عبر الشقوق .

الينابيع الطميية: إن البطء في استجابتها للتغيرات الجوية يرجع إلى درجة النفاذية أو حجم الخزان أو مصدرها العميق ومن هنا تأتي أهميتها الاجتماعية والاقتصادية في وجود تدفق كبير.

وفقاً لهذا النهج، تمكنا من اختيار خمس ينابيع: (S18, S25, S29, S31 et S41)

يوضح إنشاء الخريطة البيزومترية أن تدفق المياه الجوفية يتبع تماماً تضاريس السهول.

تظل المعلمات الفيزيائية والكيميائية لمياه منطقة الدراسة مثالية بشكل عام لمياه الشرب ، باستثناء القليل من التمدن الزائد المرتبط بعوامل مختلفة.

الكلمات المفتاحية: شبه قاحلة ، المياه الجوفية ، تغير المناخ ، نظام الخزان الجوفي ، التمدن.

Table de matières

<i>Dédicace</i>	<i>I-II</i>
<i>Remerciements</i>	<i>III</i>
<i>Résumé</i>	<i>IV</i>
<i>Abstract</i>	<i>V</i>
<i>ملخص</i>	<i>VI</i>
<i>Table de matières</i>	<i>VII-X</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>XI-XII</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>XII</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>XIII</i>

<i>Introduction Générale</i>	<i>1-2</i>
------------------------------------	------------

Chapitre I Cadre Physique

I.1	Introduction	3
I.2	Situation géographique de la zone d'étude.....	3
I.3	Aspect Géomorphologique.....	4
I.3.1	Topographie	5
I.3.2	Réseau hydrographique	5
I.4	Le couvert végétal	7
I.5	Contexte socio-économique	8
I.5.1	L'agriculture	8
I.5.2	L'industrie.....	8
I.6	Conclusion.....	8

Chapitre II Cadre géologique et structural

II.1	Introduction	9
II.2	Géologie régionale	9
II.2.1	Les grands domaines géologiques de l'Algérie du nord.....	11
II.2.1.1	Domaine Interne	11
II.2.1.2	Domaine des Flyschs.....	11
II.2.1.3	Domaine Externe	11
II.3	Géologie locale.....	11
II.3.1	Description stratigraphique.....	12
II.3.1.1	Secondaire	12
II.3.1.1.1	Unités à dominante marneuse ou marno-calcaire des sellaoua.....	12
II.3.1.1.1.1	Aptien	12
II.3.1.1.1.2	Albien et Vraconien	12
II.3.1.1.1.3	Cénomaniens	12
II.3.1.1.1.4	Sénonien	12

II.3.1.2	Tertiaire	13
II.3.1.2.1	Nappes Telliennes	13
II.3.1.2.1.1	Maestrichtien à Paléocène	13
II.3.1.2.1.2	Eocène.....	13
II.3.1.2.2	Nappes Numidienne	13
II.3.1.2.3	Poste- Nappe	13
II.3.1.2.3.1	Miocène marin	13
II.3.1.2.3.2	Mio-Pliocène.....	13
II.3.1.3	Quaternaire	13
II.3.1.3.1.1	Villafranchien	14
II.3.1.3.1.2	Le Quaternaire actuel.....	14
II.4	Tectonique de la région d'Ain Makhoulf.....	14
II.5	Conclusion.....	15

Chapitre III Hydroclimatologie

III.1	Introduction	17
III.2	Paramètres climatiques.....	17
III.2.1	Les précipitations.....	17
III.2.1.1	Précipitations moyennes mensuelles	18
III.2.1.2	Précipitations moyennes saisonnières	19
III.2.1.3	Coefficient pluviométrique (Cp)	20
III.2.2	Les températures	21
III.2.2.1	Température moyennes mensuelles.....	21
III.2.3	Régime climatique	22
III.2.3.1	Diagramme pluviothermique :.....	22
III.2.3.2	Indice d'aridité annuel d'E. De Martonne:.....	23
III.2.4	Le bilan hydrique	24
III.2.4.1	Estimation de l'évapotranspiration	24
III.2.4.1.1	Evapotranspiration potentielle (ETP).....	24
III.2.4.1.2	Evapotranspiration réelle (ETR)	25
III.2.4.2	Etablissement du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite	26
III.2.4.3	Interprétation du bilan hydrique	28
III.2.5	Estimation du ruissellement.....	28
III.2.6	Estimation de l'infiltration	29
III.3	Conclusion.....	30

Chapitre IV Contexte hydrogéologique et impacte du climat sur les sources

IV.1	Introduction	31
IV.2	Ressources hydriques	31
IV.2.1	Les eaux de surface.....	31
IV.2.2	Les eaux souterraines.....	32
IV.2.2.1	Les Forages.....	32
IV.2.2.2	Les Puits	32
IV.2.2.3	Les Sources.....	33

IV.3	Inventaire des points d'eau.....	35
IV.4	Etude hydrogéologique (description hydrogéologique des différents aquifères).....	36
IV.4.1	Les différents aquifères	38
IV.4.2	Identification des nappes	39
IV.4.2.1	Aquifère à nappe libre	39
IV.4.2.2	Aquifère à nappe karstique.....	39
IV.4.3	Alimentation des nappes.....	39
IV.4.4	Etablissement de la carte piézométrique.....	40
IV.4.4.1	Interprétation de la carte piézométrique.....	41
IV.4.5	Contexte hydrogéologique des importante sources	43
IV.4.5.1	Conditions hydrogéologiques des différentes émergences	44
IV.5	Impacte des variations climatiques sur le régime des sources	46
IV.5.1	Variation des débits de sources liée aux variations climatiques.....	46
IV.6	Conclusion.....	48

Chapitre V Aperçue sur les caractéristiques physico-chimique des eaux sous terraines

V.1	Introduction	50
V.2	Mode de travail.....	50
V.2.1	Mesures in situ.....	50
V.3	Qualité des eaux souterraines	50
V.3.1	Répartition spatiale des teneurs	50
V.3.1.1	Paramètres physiques	50
V.3.1.1.1	Potentiel d'hydrogène (pH).....	50
V.3.1.1.2	Conductivité électrique (CE)	51
V.3.1.1.3	Minéralisation	52
V.3.1.1.4	Température	54
V.4	Conclusion.....	54

<i>Conclusion Générale</i>	55
---	-----------

Références Bibliographique

Annexe

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique et administrative de la commune d'Ain Makhoulf.....	4
Figure 2: Carte Géomorphologique de la région de Guelma (Benmarce, 2007, Modifie).....	5
Figure 3: Réseau hydrographique de la zone d'étude.	7
Figure 4: Le sous bassin versant de l'Oued Medjez El Bgare.	7
Figure 5: Schéma structural des Maghrébides (Durand Delga et Fontboté, 1980).	10
Figure 6: Coupe générale synthétique des Maghrébides de l'Est algérien avec localisation du secteur d'étude (Peybernès et al., 2002).	10
Figure 7: Carte géologique de la zone d'étude (Vila, 1980, modifiée).	15
Figure 8: Evolution des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Makhoulf (1985-2020).	18
Figure 9: Evolution des précipitations interannuelles.	19
Figure 10: Précipitations moyennes saisonnières en %.	20
Figure 11: Coefficients pluviométriques.	21
Figure 12: Evolution des températures moyennes mensuelles.....	22
Figure 13: Diagramme Ombrothermique.	22
Figure 14: Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite.....	28
Figure 15: Carte d'inventaire des points d'eau dans la région d'Ain Makhoulf (période des hautes eaux (Mai 2020)).	35
Figure 16: Carte hydrogéologiques schématique de la région d'Ain Makhoulf (Bouzidi et Guendouze, 1995, Modifié).	37
Figure 17: Coupe hydrogéologique schématique dans la région d'Ain Makhoulf.	38
Figure 18: Carte piézométrique de la région d'Ain Makhoulf (la période des hautes eaux (Mai 2020)).	41
Figure 19: Schéma représentant les différents types des sources.	45
Figure 20: Photos des quelque sources.....	46
Figure 21: Evolution des débits des sources (Mai et Août 2020).	47
Figure 22: carte de la répartition du PH.	51
Figure 23: carte d'isoconductivité électrique.	52
Figure 24: carte d'isominéralisation.	53

Liste des tableaux

Tableau 1: Coordonnées de la station météorologique et période d'observation.	17
Tableau 2: Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Makhlouf (1985-2020).	19
Tableau 3: ETR selon Turc à la station d'Ain Makhlouf (1986-2020).	26
Tableau 4: Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Ain Makhlouf (1985-2020).	27
Tableau 5: Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff.	29
Tableau 6: Estimation de l'Infiltration en (mm).	30
Tableau 7: Classification des sources basée sur le débit moyen (Meinzer, 1923).	34
Tableau 8: Inventaire des principales sources de la région d'Ain Makhlouf.	43

Liste des abréviations

DHW : Direction Hydraulique de la Wilaya

ABH : Agence des Bassins Hydrographiques

% : Pourcentage

• : Degré

•C : Degré Celsius

m : Mètre

mm : Millimètre

dl/s : décilitre par seconde

P : Précipitation

T : Température

ETP : Evapotranspiration Potentielle

ETR : Evapotranspiration Réelle

BH : Bilan Hydrique

RFU : Réserve Facilement Utilisable

DA : Déficit Agricole

I : Infiltration

R : Ruissellement

DMS : degré, minute, seconde

AEP : Alimentation en eau potable

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est considérée comme un élément indispensable pour la vie des êtres vivants et surtout pour celle de l'homme. Sa disponibilité en quantité et en qualité suffisantes contribue ; Au maintien de la santé humaine, au développement économique, et au bien-être des nations.

En Algérie, parmi les principales sources de satisfaction de la demande en eau sont les eaux souterraines, qui, sont considérées aujourd'hui comme étant la source d'eau douce répondant le mieux aux exigences domestiques, agricoles et industrielles, et jouant un rôle très important dans le fonctionnement des rivières, des lacs et des écosystèmes.

Les conditions climatiques contrôlent le mouvement continu de l'eau présente sur Terre, et chaque perturbation d'une variable climatique (température, précipitation...) affecte directement ou indirectement le cycle hydrologique et par conséquent la ressource en eau souterraine qui fait partie intégrante du cycle de l'eau (infiltration), et contribue obligatoirement aux variations des flux des d'eaux de sources. Donc il y a un impact significatif des conditions climatiques sur le régime des sources d'eau.

La région d'Ain Makhoulf qui dispose de ressources en eau relativement limitées dépendes principalement dans son approvisionnement en eau des deux forages implantés dans la nappes aquifère profonde de Tamlouka distants d'environ 20km du chef –lieu de la commune d'Ain Makhoulf , et en réponse aux exigences du développement socio-économique local et de la croissance démographique, la nécessité d'exploiter les eaux des sources de la région constitue l'alternative locale qui exigent une étude hydrogéologique , hydroclimatologique et hydrochimique... ,afin de déterminer d'abord les caractéristiques de chaque source et son potentiel d'exploitation puis son orientation vers les besoins qui lui conviennent.

La zone d'Ain Makhoulf a fait l'objet des études en Biologie et en Aménagement rurale, mais en tant qu'étude hydrogéologique ; Notre projet de recherche est le premier, dont son premier titre été : « Caractérisation physico-chimique et contexte hydrogéologique des eaux des sources de la région d'Ain Makhoulf » mais vu les circonstances pandémiques et de confinement du pays nous étions obligé de changer le titre du mémoire pour le thème actuel.

Le but assigné à cette étude menée en deux phases, s'articule autour de la mise en évidence de l'influence hydroclimatologique et hydrogéologique sur les flux des eaux. Dans la première phase, le traitement des données climatiques recueillis à partir de la station météorologique d'Ain Makhoulf nous a permet de caractériser le type du climat ainsi que les différentes variations climatiques à l'échelle annuelle et décennale, dans la deuxième phase les formations géologiques ont été prospectées, identifiées et délimitées en sous zones ,selon leur nature hydrogéologique , 46

sources ont été sélectionnés et mesurés en deux périodes ; en hautes eaux (Mai/2020) et en basses eaux (Aout/2020).

Dans cette optique, nous avons structurés notre travail en Cinq chapitres interdépendants:

- ❖ Le premier chapitre concerne la situation géographique suivi par une description des caractéristiques géomorphologiques et du réseau hydrographique de la région d'Ain Makhoulf.
- ❖ Le deuxième chapitre est consacré aux caractéristiques géologiques et structurales de la région d'étude.
- ❖ Le troisième chapitre est réservé à l'hydroclimatologie et à l'évaluation des différents termes du bilan hydrique (la précipitation, l'évapotranspiration, le ruissèlement et l'infiltration), en s'appuyant essentiellement sur les relevées pluviométriques et ceux des températures fournies par la station météorologique d'Ain Makhoulf.
- ❖ Le quatrième chapitre de ce mémoire est consacré à l'étude hydrogéologique de la région, qui nous a permis d'identifier les différents systèmes aquifères ainsi que l'ensemble des sources qui s'émergent au niveau des quels. il sera consacré, également, à l'étude hydrologique qui a pour but de déterminer les variations de débits et définir le régime d'écoulement, influencé, directement, par les précipitations
- ❖ Un bref dernier chapitre basé sur les différentes données et informations mesurées et obtenus à partir des différents services (DHW, service d'hygiène de la mairie ...) est réservé à la qualité hydrochimique des eaux de sources.
- ❖ Une conclusion générale récapitulant les importants résultats avec un ensemble de propositions et de recommandations.

CHAPITRE I
Cadre Physique

I.1 Introduction

L'étude hydrogéologique d'une région donnée nécessite une description physique de cette dernière, car les différents paramètres physiques (situation géographique, conditions topographiques et réseau hydrographique...) peuvent intervenir dans la caractérisation du contexte hydrogéologique, qui peut dans des conditions favorables participer au développement socio-économique local. En se basant sur les données académiques et techniques et en utilisant les différents outils informatiques (GlobalMapper et ArcMap) nous avons essayé d'atteindre cet objectif.

I.2 Situation géographique de la zone d'étude

La commune d'Ain Makhoulf est située au Nord -Est de l'Algérie, à environ 50 km au Sud – Ouest de la ville de Guelma (chef – lieu de la wilaya de son appartenance) entre les longitudes : 7° 10' 24,14'' et 7° 19' 37,59'' Est et les latitudes : 36° 08' 45,08'' et 36° 17' 15,30'' Nord.

Appartenant aux hautes plaines constantinoises, le territoire communal s'allonge sur une superficie de 197 km² (Chibani S.2009), suivant une direction Sud- Ouest Nord - Est au cœur d'une grande région à activité agricole intense, entre les monts de Djebel El Ancel au Nord et au Nord-Ouest , la série de la Chebka des Sellaoua à l'Est et au Sud –Est et Oued chef à l'Est, avec les limites administratives suivantes :

- La commune d'Ain Larbi à l'Est ;
- La commune d'Oued Zenati au Nord-Ouest ;
- La commune de Sellaoua Announa au Nord ;
- La commune d'Ain Soltane au Sud –Est ;
- Les communes de K'ssar Sebihi et Tamlouka au Sud et au Sud-Ouest (Fig.01).

Anciennement porte le nom « Renier » depuis l'arrivée des colons en 1887 jusqu'à l'indépendance, La commune d'Ain Makhoulf promu depuis la répartition administrative de 1991 en tant que chef –lieu de la Daïra, comprend trois communes (Ain Makhoulf, Tamlouka et Ain Larbi).

La commune d'Ain Makhoulf fait partie d'un ensemble géographique convoité par les activités économiques en raison de son excentricité par rapport aux principaux axes de développement. Elle compte actuellement 18000 habitants dont 12000 habitants au niveau de l'agglomération chef-lieu, soit 66.6 % de la population totale. Cette situation est générée par

l'absence d'un support économique viable ce qui a entrainer l'instabilité de la population communale et la sollicitation des espaces agglomérés locaux et régionaux.

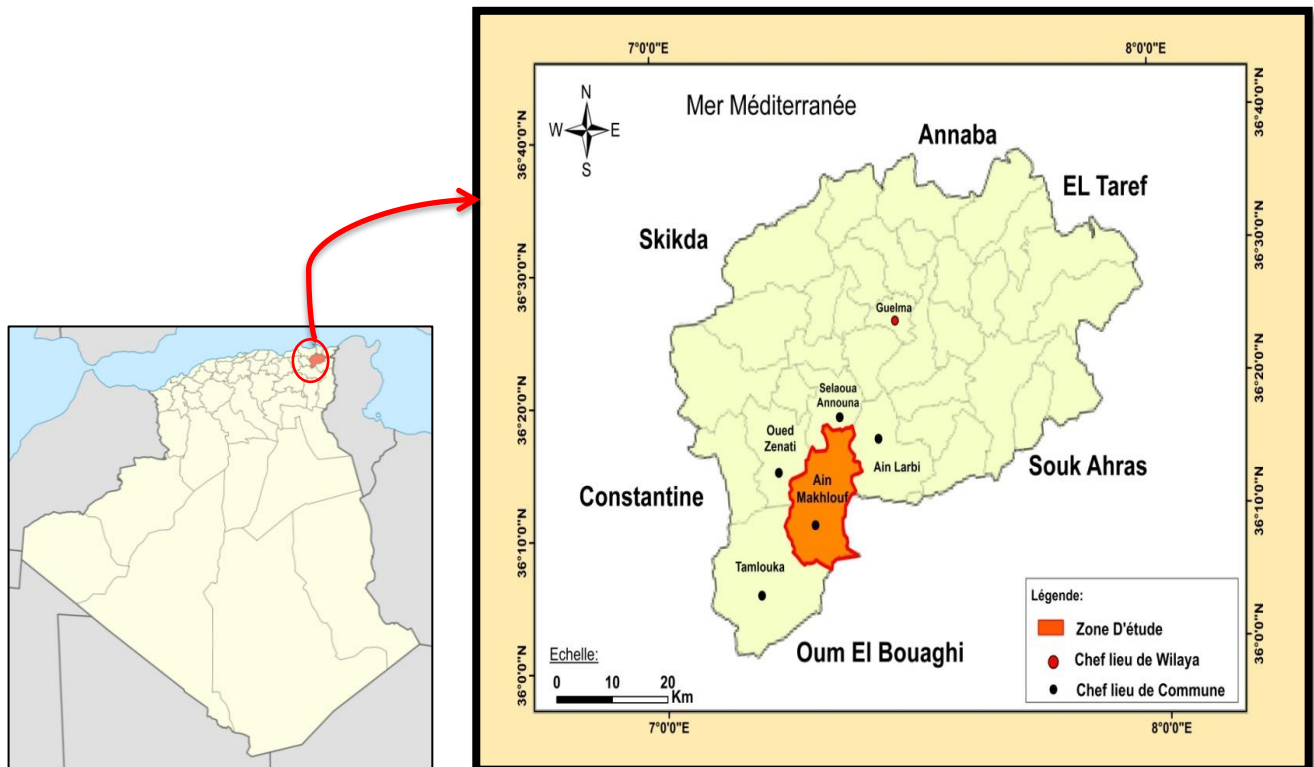


Figure 1 : Situation géographique et administrative de la commune d'Ain Makhlouf.

I.3 Aspect Géomorphologique

La région d'Ain Makhlouf est un ancien bassin d'effondrement fermé, rempli par un ensemble varié des sédiments pendant le Miocène (argile et marnes à gypse) et le Quaternaire (alluvions hétérogènes sous forme de terrasses), à travers un relief diversifié (Fig.02), qui se manifeste sous forme de: Montagnes, Plaines et Plateaux, Collines et Piémonts et des Karsts (Zeddouri, 2003).

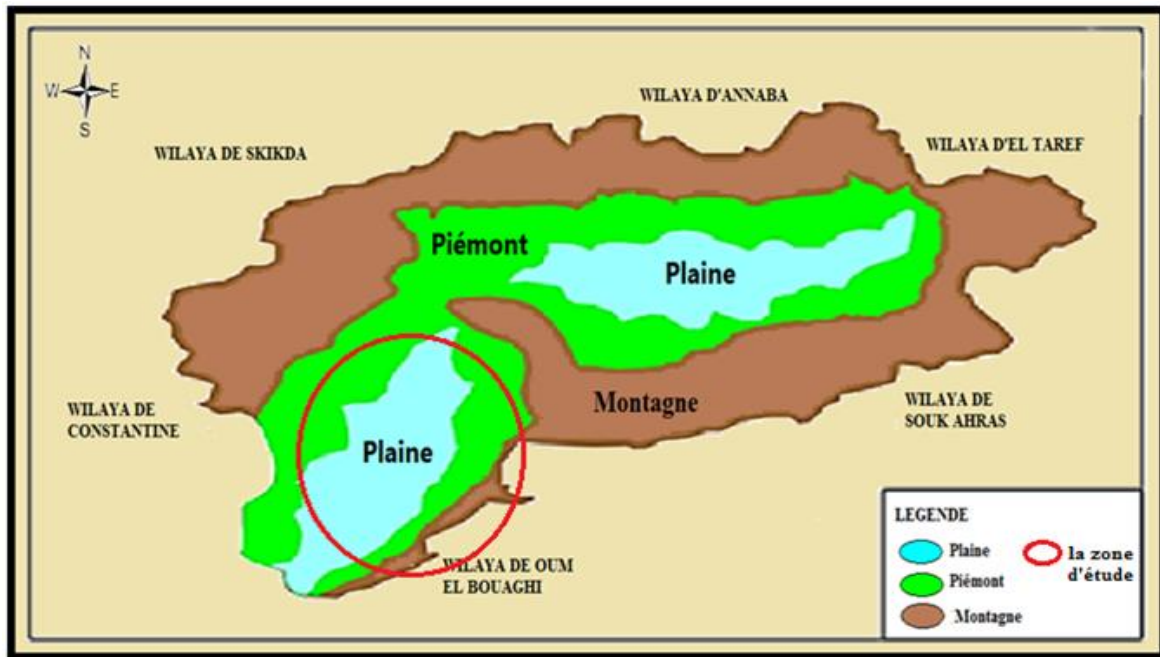


Figure 2: Carte Géomorphologique de la région de Guelma (Benmarce, 2007, Modifie).

I.3.1 Topographie

Les reliefs de la zone d'étude se présentent sous trois principales unités topographiques différenciées qui sont : au Nord la chaîne Tellienne, au Sud la chebkat des Sellaoua et entre les deux se trouve la plaine avec l'intercalation des affleurements karstiques (Bouzidi et Guendouze, 1995) :

- La chaîne Tellienne (l'Atlas Tellien) est un relief accidenté avec des pentes dépassant 22% surtout au Nord –Est, représentée par des formations d'âge créacé.
- La plaine est caractérisée par des pentes assez faibles (inférieures à 8%), c'est le prolongement orientale de la plaine dite de Tamlouka .Elle est la conséquence de l'encadrement montagneux du Nord et du Sud.
- La chebkat des Sellaoua au Sud est caractérisée par un remarquable développement des formations marneuses, gréseuses et marno-calcaires, avec des sommets arrondis parfois plats ou raides. , et des pentes relativement importantes.

I.3.2 Réseau hydrographique

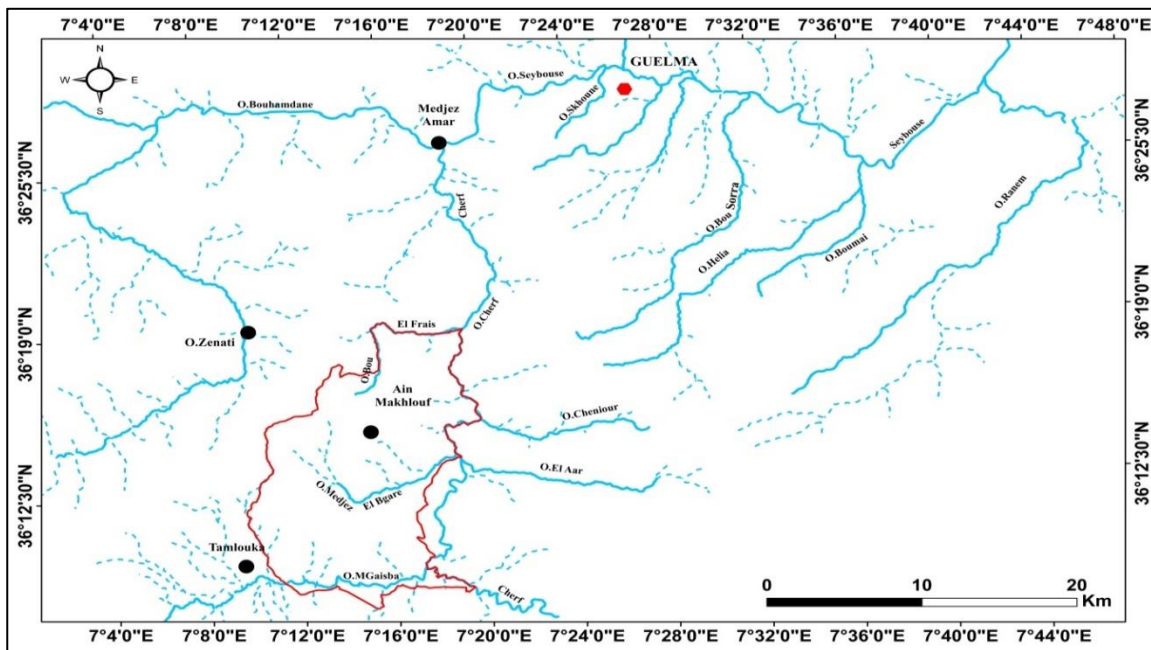
Les sous bassins versant de la région d'Ain Makhoulouf appartiennent au grand bassin versant de la Seybouse qui est drainée par un réseau hydrographique très long. Ces caractéristiques donnent à la région l'avantage d'être une ressource en eau superficielle. Le plus important cours d'eau est l'Oued Seybouse, formé par Oued Cherf et Oued Bouhamdane à la station de Medjez Amar, point de confluence et naissance de l'oued seybouse.

Les trois sous bassins –versant qui forment le territoire communal sont :

- Le sous bassin versant d'Oued Medjez El-Bgare.
 - Le sous bassin versant d'Oued Bou Lefraïis.
 - Le sous bassin versant d'Oued M'gaisba.
- Le sous bassin versant d'Oued Medjez El-Bgare ; est un sous bassin dans la rive gauche d'Oued Cherf, qui s'étend sur près de 25 km constitue la majeure partie de la région d'Ain Makhlouf. Il présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 62 km², qui prend naissance au niveau de Djebel El Ancel au Nord et au Nord -Ouest et Bordj Bou Rougaa au Sud –Ouest (D.H.W.G, 1987).

Délimité par les reliefs suivants :

- Au Nord, les monts du Djebel El Ancel ;
 - Au Sud-ouest, Djebel Medarag Narou, Bled Ben El-Djoudi, la plaine de Tamlouka, Bled Ben Saad-Allah.
 - Au Sud-Est, il est séparé de la vallée d'Oued Cherf par les collines de Draâ Bahia, Bled Oulad Si Moussa, Djebel El-Hofra, Bled Ben Segguour.
- Le sous bassin versant d'Oued Bou Lefraïis ; est un bassin hydrologique commun entre les territoires communaux d'Ain Makhlouf, Sellaoua Announa et celui d'Oued Zenati, où la partie Nord- Est de la région d'étude est drainée par une section de ce bassin l'Oued Bou Lefraïis, il prend naissance au piémont orientale de Djebel El Ancel, et se débouche à l'Oued Cherf.
- Le sous bassin versant d'Oued M'Gaisba ; prend naissance au niveau des piémonts de Djebel Djahfa à l'extrême Ouest de la plaine de Tamlouka, et draine au niveau de sa partie aval une portion de la région d'étude, il se débouche à l'Oued Cherf (Fig.03).



— Limite de la commune

Figure 3: Réseau hydrographique de la zone d'étude.

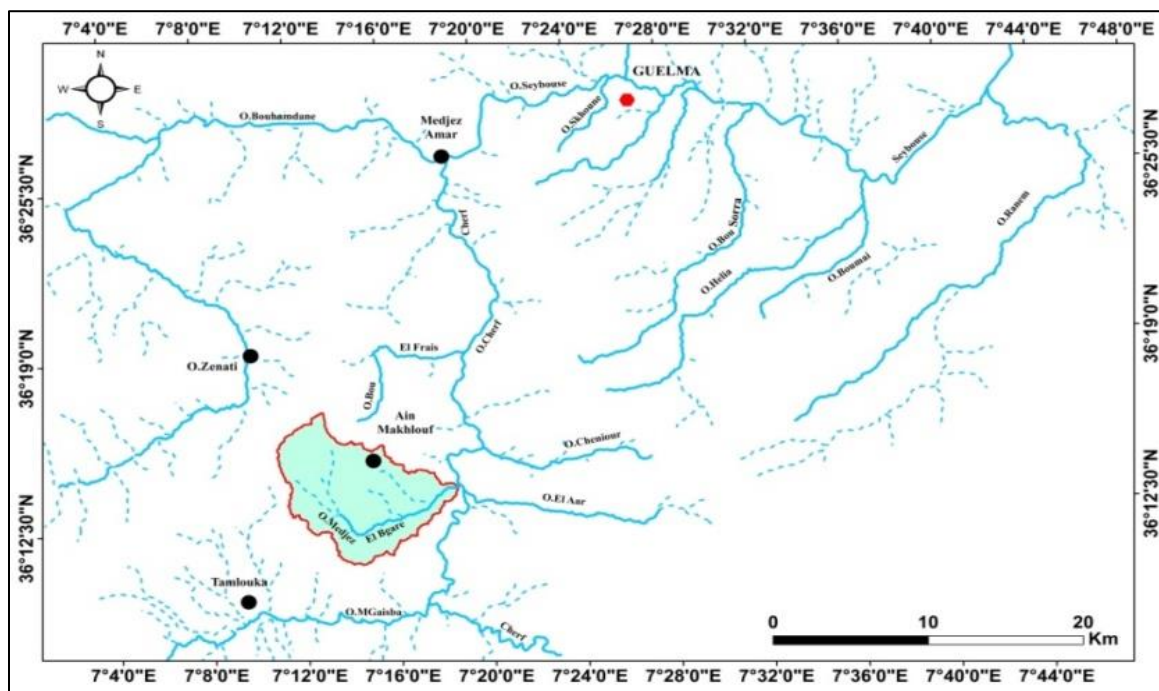


Figure 4: Le sous bassin versant de l'Oued Medjez El Bgare.

I.4 Le couvert végétal

La vocation essentiellement agricole de la commune d'Ain Makhoulf, avec 85% des terrains affectés aux activités agricoles, prédire sur la nature du couvert végétale dominant, présenté par des céréalicultures (blé dure, orge), le reste des terrains est occupé par des forêts et des terres incultes (maquis et terres non arables...) (D.H.W.G, 1987).

I.5 Contexte socio-économique

I.5.1 L'agriculture

La commune d'Ain Makhoulouf présente une agriculture intensive qui 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 la céréaliculture et arboricoles, la culture de pomme de terre, qui demande un volume très important d'eau pour l'irrigation, ainsi que l'élevage de volailles et de bétails et l'apiculture (D.H.W.G, 1987).

I.5.2 L'industrie

L'industrie est presque inexistante exceptées les quelques installations à caractère local en cours de réalisation (Laiterie, fabrique de carrelage etc...) (D.H.W.G, 1987).

I.6 Conclusion

La région d'Ain Makhoulouf est un ancien bassin d'effondrement qui apparaît sous la forme d'un relief diversifié, rempli par des argiles et marnes à gypse du Miocène et des alluvions hétérogènes sous forme de terrasses du Quaternaire

Les reliefs de la zone d'étude se présentent sous trois principales unités topographiques différenciées qui sont la chaîne Tellienne au Nord, la Chebkat des Sellaoua au Sud et une plaine entre les deux.

Les trois sous-bassins versants qui forment le territoire communal sont : le sous-bassin d'Oued Medjez El-Bgare, le sous bassin d'Oued Bou Lefraïf et le sous-bassin d'Oued M'gaisba.

La commune d'Ain Makhoulouf est à 85%, à vocation essentiellement agricole et le reste du territoire est occupé par des forêts et des terres incultes.

Sur le plan économique, l'agriculture intensive joue un rôle important dans la région. Cependant, l'industrie est presque inexistante.

CHAPITRE II
*Cadre géologique et
structural*

II.1 Introduction

Primordiale dans l'étude du contexte hydrogéologique d'une région donnée ; La géologie offre de précises et précieuses informations, lithologiques, stratigraphiques et structurales sur le site objet de l'étude, permettant la reconstitution de l'histoire paléogéographique, de comprendre les différentes formes structurales et d'identifier et analyser l'ensemble des faciès lithologiques.

Le traitement de ce chapitre est basé sur la restitution de la zone d'étude dans son contexte régionale, puis la description et l'analyse des formations et structures géologiques au niveau locale.

II.2 Géologie régionale

La région de Guelma se trouve dans la chaîne alpine d'Algérie orientale des Maghrébides (Fig.05). Cette chaîne fait partie de l'orogène alpin périméditerranéen (Durand Delga, 1969). Édifié au cours du Tertiaire et qui demeure encore instable aujourd'hui, qui s'étend de l'Ouest à l'Est sur 2000 km, du Rif marocain à la Sicile (Italie), Elle est causée par la structuration du bassin Maghrébin et de ses marges (Lahondère, Chouabbi, 1987).

Dans ce domaine en forme d'anneau aplati, on distingue les zones internes, situées à l'intérieur de l'anneau et représentées actuellement par différents massifs, distribués le long de la côte méditerranéenne et les zones externes situées à sa périphérie.

Cette chaîne a connu des phases de déformations méso-cénozoïques aboutissant à la mise en place de l'Atlas tellien. C'est le domaine des nappes de charriage ou domaine allochtone.

Constituée par trois zones (Durand-Delga, 1969 ; Durand-Delga et Fontboté, 1980 ; Wildi, 1983):

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

La Figure 06 montre un exemple d'agencement de plusieurs domaines et unités dans la région de l'Algérie Nord – orientale (Constantinois), du Nord vers le Sud.

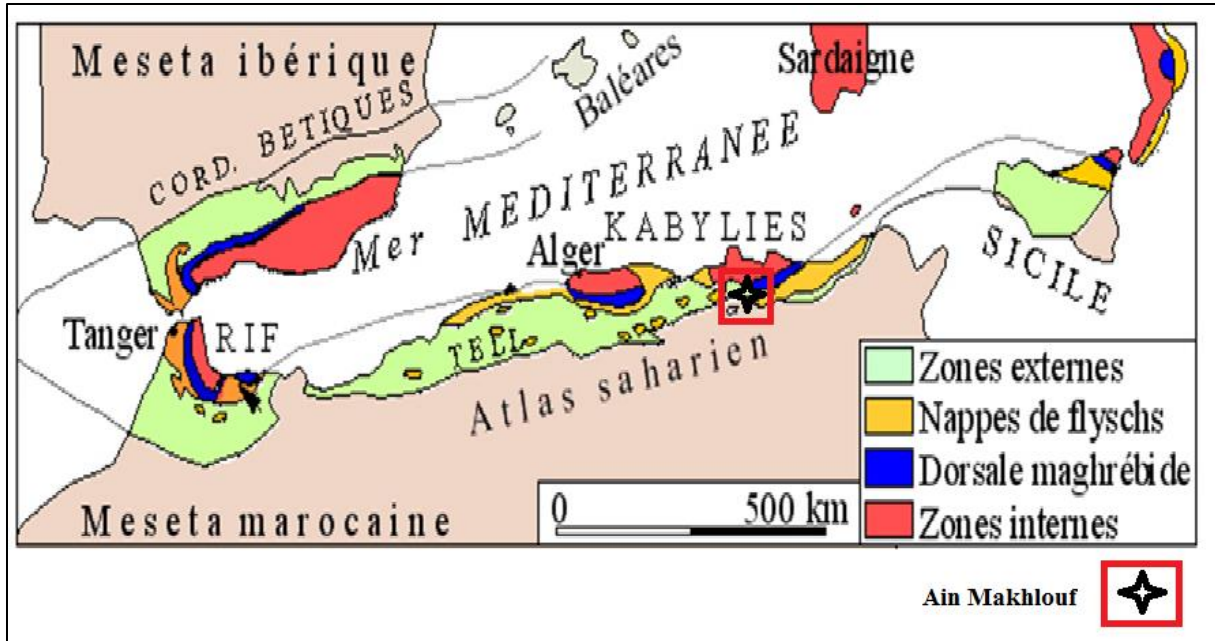


Figure 5: Schéma structural des Maghrébides (Durand Delga et Fontboté, 1980).

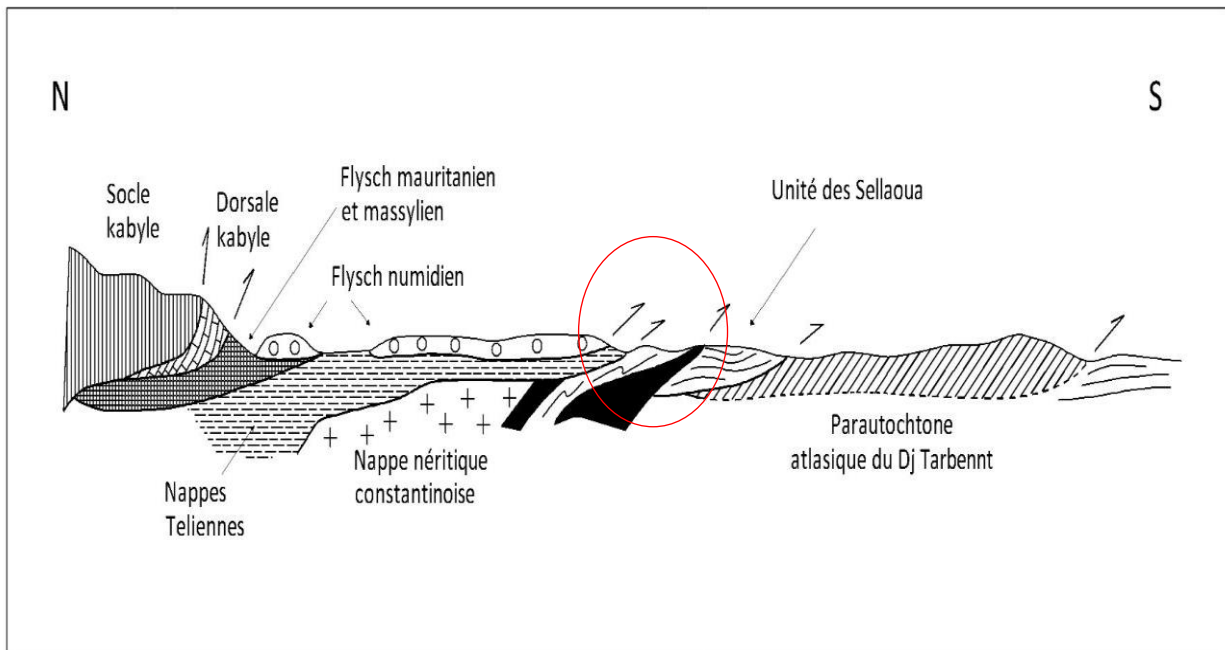


Figure 6: Coupe générale synthétique des Maghrébides de l'Est algérien avec localisation du secteur d'étude (Peybernès et al., 2002).

II.2.1 Les grands domaines géologiques de l'Algérie du nord

II.2.1.1 Domaine Interne

Représenté par des massifs anciens métamorphiques (le socle kabyle) et leur couverture paléozoïque, bordés au sud par une « chaîne calcaire » ou « Dorsale. En Algérie, les socles de Grande et de Petite Kabylie constituent l'essentiel des zones internes (Bouillin, 1977).

II.2.1.2 Domaine des Flyschs

Ce domaine constitué par un matériel d'âge crétacé et paléogène, qui s'est déposé dans un sillon qui se situait entre les zones internes et les zones externes. Globalement on distingue deux groupes de flyschs (Bouillin et al. 1970) : les flyschs **maurétaniens** et les flyschs **massyliens**, et il y a un troisième groupe de flyschs plus récent, les flyschs **numidiens** gréseux d'âge Oligocène supérieur–Burdigalien inférieur (Wezel, 1970 ; Thomas et al.2010).

II.2.1.3 Domaine Externe

Appelée souvent le domaine Tellien, représente la marge téthysienne du continent africain, il est constitué essentiellement par des formations qui vont du Trias au Tortonien. En Algérie, les zones externes telliennes comportent de grandes nappes pelliculaires à matériel marneux du Crétacé-Paléogène, sur une sole gypsifère triasique. (Vila.1980).On distingue du Nord au Sud (Wildi, 1983) :

Les nappes **ultra-telliennes**, les nappes **telliennes sensu-stricto**, les nappes **pénitelliennes**

Dans le domaine externe existe aussi des unités encore plus externes et d'allochtonie, structurées au Miocène moyen qu'on appelle séries de l'avant-pays allochtone ou tellien et se placent entre les nappes telliennes au Nord et l'autochtone ou para-autochtone atlasique au Sud. On distingue ainsi d'Ouest en Est (Vila, 1980) :

L'ensemble **allochtone sud-sétifien**, la nappe **néritique constantinoise**, l'unité **des écailles des Sellaoua**.

II.3 Géologie locale

La commune d'Ain Makhoulf caractérisée par des formations d'âge méso-cénozoïque, recouverte dans sa majorité par des dépôts du mio-plio-quadernaire contenant de différentes formations géologiques (Fig.07). Et limité par, l'unité des Sellaoua au Sud et au Sud-Est, constitué essentiellement par les différentes formations du secondaire, et la nappe Numidienne au Nord.

II.3.1 Description stratigraphique

Grâce aux travaux de nombreux auteurs qui ont travaillé et publié des articles et des ouvrages sur la géologie de la région du Guelma : J.C. Lahondère, (1987) ; Darest de la Chavane, (1910), Boukrouh, (1999).et aussi L'examen de la carte géologique de Constantine au 1/200.000 nous a permis la connaissance des formations susceptibles de constituer des aquifères.

Les formations géologiques de la zone étudiée seront décrites du plus ancien au plus récent.

II.3.1.1 Secondaire

II.3.1.1.1 Unités à dominante marneuse ou marno-calcaire des sellaoua

Elle est issue d'un sillon subsidient à sédimentation pélagique argileuse et marneuse. Elle se développe dans la partie sud-est de la zone d'étude (Boukrouh, F 1999).

II.3.1.1.1.1 Aptien

Est constitué par une alternance de calcaires massifs plus ou moins karstifié et de dolomies à algues (formations du Crétacé inférieur), et comporte des calcaires gris bleu parfois oolithiques, les formations du L'aptien affleure à l'extrémité nord de Djebel El Hofra. (De La Chavane, 1910).

II.3.1.1.1.2 Albien et Vraconien

Pas dominant dans la zone d'étude. Affleurent sur le versant nord du Djebel El Hofra, Dans l'ensemble, il est marnes schisteuses noires ou grises datant l'albien, le Vraconien c'est en fait un étage de transition entre l'Albien et le Cénomaniens, est constitué principalement par une alternance de marnes vertes et calcaire micritique de couleur également verte (JC.Lahonder ; 1987).

II.3.1.1.1.3 Cénomaniens

Est le début du Crétacé supérieure, caractérisé par des calcaire micritique et de marnes verts (JC.Lahonder , 1987), peuvent être observée légèrement au nord de Djebel El Hofra.

II.3.1.1.1.4 Sénonien

Le Sénonien est constitué de deux formations lithologiques :

- *Le Sénonien Inferieure* : Affleure à Ben Ouadàa, se présente comme des bancs isolé marneux, surmonté par des marnes argileuses de teinte verdâtre (JC.Lahonder ; 1987).

- *Le Sénonien Supérieure* : la majorité des formations de cet étage affleurent au Sud-Est de Ain makhoulf au niveau de Djebel El Hofra et Draa El Abrod, (JC.Lahonder , 1987).

II.3.1.2 Tertiaire

II.3.1.2.1 Nappes Telliennes

Cette unité fait partie du domaine Tellien externe, qui est représenté par des dépôts paléogènes.

II.3.1.2.1.1 Maestrichtien à Paléocène

Représenté essentiellement par des calcaires et des marnes noires (JC.Lahonder , 1987). Elles affleurent au Sud-Est de la région d'étude et au Sud de la région d'Oued Zenati sur plus de 10 km.

II.3.1.2.1.2 Eocène

- *L'Yprésien – Lutétien* : Au-dessus du Paléocène, on rencontre une formation constituée d'un calcaire en blanc et de marno-calcaire à Globigérine.

- *Lutétien à Priabonien* : affleurent essentiellement à l'Est de la zone d'étude.

II.3.1.2.2 Nappes Numidienne

Est un ensemble puissant composé de grés et d'argile d'âge Oligocène, ils sont représentées par des formations de type Flyschs (JC.Lahonder ; 1987).

II.3.1.2.3 Poste- Nappe

II.3.1.2.3.1 Miocène marin

Il est représenté, au niveau de l'unité des Sellaouas, par des formations marno-calcaires.

II.3.1.2.3.2 Mio-Pliocène

Les formations de Mio-Pliocène continental sont largement représentées dans la région d'Ain Makhoulf, essentiellement par des marnes à gypse, argiles et conglomérats rouges.

II.3.1.3 Quaternaire

Bien développée dans la zone d'étude, il s'agit d'une formation poste nappe, Dans l'ensemble, il est constitué par des calcaires et des terrasses.

II.3.1.3.1.1 Villafranchien

Le Villafranchien couvre la fin du Tertiaire et le début du Quaternaire (ancien), il est représentée par:

- des calcaires travertineux.
- des formations alluvionnaires.

II.3.1.3.1.2 Le Quaternaire actuel

Est essentiellement des terrasses, représentées par des alluvions actuelles (récentes) et anciennes, constitués de graviers, de galets, de calcaires et de limons.

II.4 Tectonique de la région d'Ain Makhlouf

Résultat de plusieurs phases tectoniques qui ont affectées la région au cours des temps géologiques, L'état structural actuel de la région d'Ain Makhlouf est caractérisé par l'existence de deux grandes unités (Bouzidi et Guendouze, 1995) :

- Dans la nappe néritique constantinoise au Nord, des écaillages et des charriages sur son soubassement son très remarquables en montrant des structures orientée vers le Sud. Après la mise en place par les dénivellations, la nappe a subit des mouvements tectoniques, à l'origine de la présence de nombreuses failles. Elle est représentée par des dépôts jurassiques.
- Dans l'unité de la chebkat des Sellaoua au Sud, la géologie présentant ainsi une lithologie très variée dont la disposition leur confère une forme écailleuse d'où leur dénomination "écailles de chebkat des Sellaoua". Ces écailles sont dirigées vers le Sud.

La zone Sud-Est est plus franchement tectonisée, cette tectonique se manifeste à l'aptien jusqu'au sénonien supérieur. Au niveau des terrains très anciens de la série, il existe des formations d'âge éocène et miocène de disposition irrégulière, soit très développé, transgressive et discordante (Bouzidi et Guendouze, 1995).

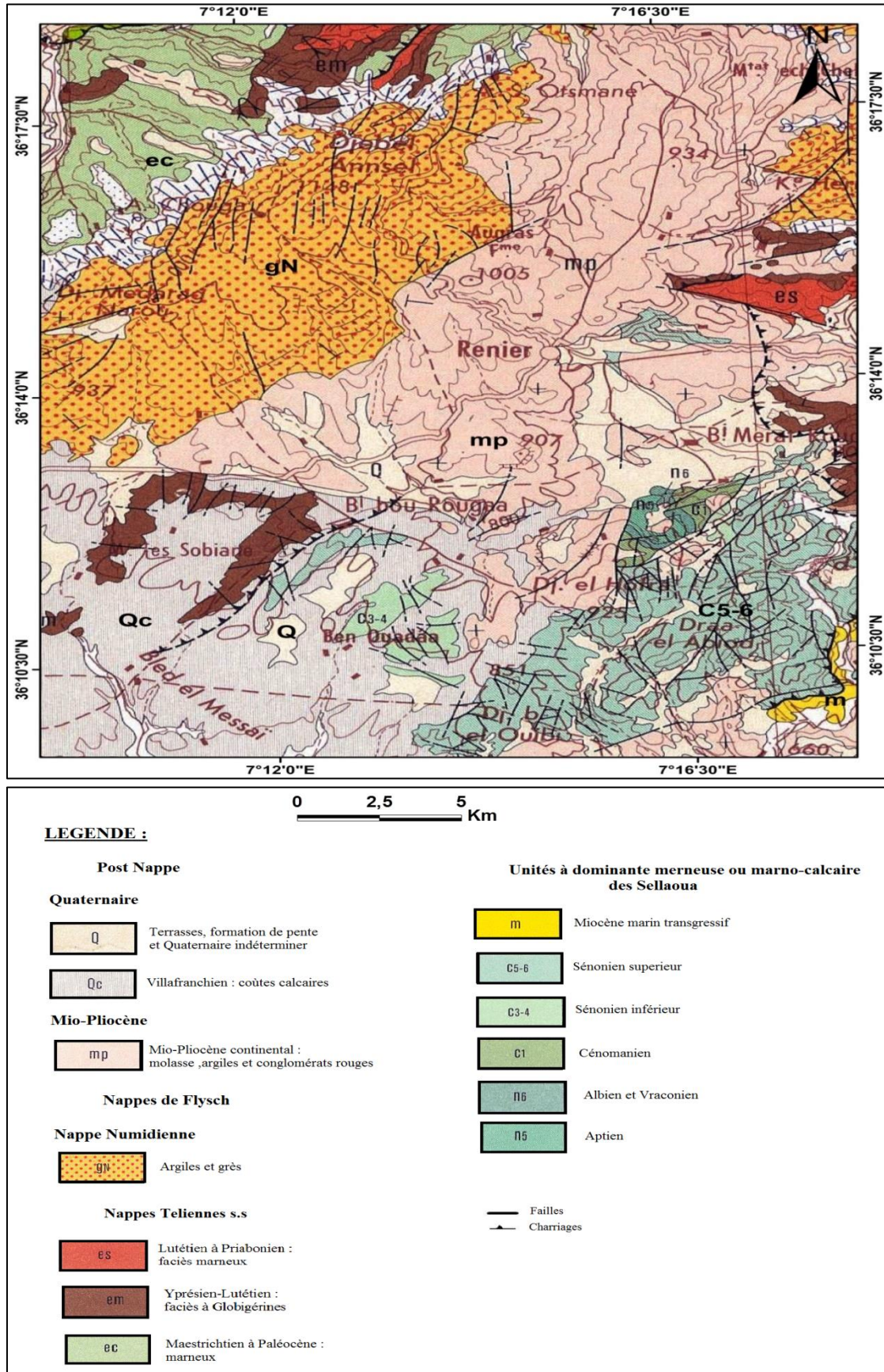


Figure 7: Carte géologique de la zone d'étude (Vila, 1980, modifiée).

II.5 Conclusion

La zone d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne des Maghrébides de l'Algérie orientale. Les terrains qui constituent le sol et le sous-sol sont variés. Leurs âges sont compris entre le secondaire et le quaternaire.

L'état structural actuel de la région d'Ain Makhlouf est caractérisé par l'existence de deux grandes unités : l'unité de la nappe néritique constantinoise au Nord et l'unité de la chebkat des Sellaoua au Sud.

Les formations dominantes dans la région sont :

Les formations carbonatées (les calcaires, les calcaires dolomitique), avec quelque alternances de marne, des unités argilo marneuses parfois gypseuses.

Le remplissage moi-plio-quaternaire couvre la totalité de la cuvette, en forme allongée, cette dernière s'étend du Sud-Ouest au Nord-Est entre la nappe numidienne au Nord et la Chebka des Sellaouas au Sud.

Cette diversité lithologique, stratigraphique et structurale est considérer comme un intérêt hydrogéologique.

CHAPITRE III
Hydroclimatologie

III.1 Introduction

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

L'étude hydro climatique permet de dresser un bilan hydrique dans lequel ressortent et les différentes franges d'eau réparties dans la zone, notamment la quantité infiltrée dans le sol et le sous-sol, pour l'alimentation éventuelle des nappes souterraines, et la quantité écoulee à la surface du sol sous forme de cours d'eau.

Les principaux flux mesurés et identifiés durant des périodes bien définies, influent d'une façon direct et à court terme sur le comportement hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines.

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

Ce chapitre sera consacré à l'étude des paramètres climatiques pour ressortir les caractéristiques climatiques de la région d'Ain Makhoulf, et à l'estimation des différentes composantes du bilan hydrique afin de comprendre le fonctionnement du système hydrologique de la région.

Les données climatiques sont fournies par la station météorologique d'Ain Makhoulf sur une période d'observation de 35 ans (1985-2020) (Tableau 01).

Tableau 1: Coordonnées de la station météorologique et période d'observation.

Station	Altitude (m)	Latitude (y)	Longitude (x)	Période d'observation (35 ans)
Ain Makhoulf	664 m	36° 14'N	7° 17'E	1985-2020

III.2 Paramètres climatiques

III.2.1 Les précipitations

Les précipitations sont l'élément le plus important, dans l'établissement du bilan hydrique parce qu'elles jouent un rôle primordiale dans la pérennité de l'écoulement du

réseau hydrographiques d'une région donnée, ainsi que dans l'alimentation de ses eaux souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, pour pouvoir déceler l'influence des différentes fluctuations pluviométriques ; mensuelles, saisonnières et interannuelles sur le régime des cours d'eaux et la recharge des nappes aquifères, qui lessive et dissout les éléments minéraux contenus dans les différentes formations rocheuses identifiées. Cette quantité de sels dissouts dans les eaux souterraines influencera leur composition chimique.

III.2.1.1 Précipitations moyennes mensuelles

Les données des précipitations disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station d'Ain Makhlouf, sur une période de 35 ans. Ces valeurs sont consignées dans le Tableau (Annex1).

Pour observer l'évolution des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi l'histogramme relatif de la station d'Ain Makhlouf (Fig. 08).

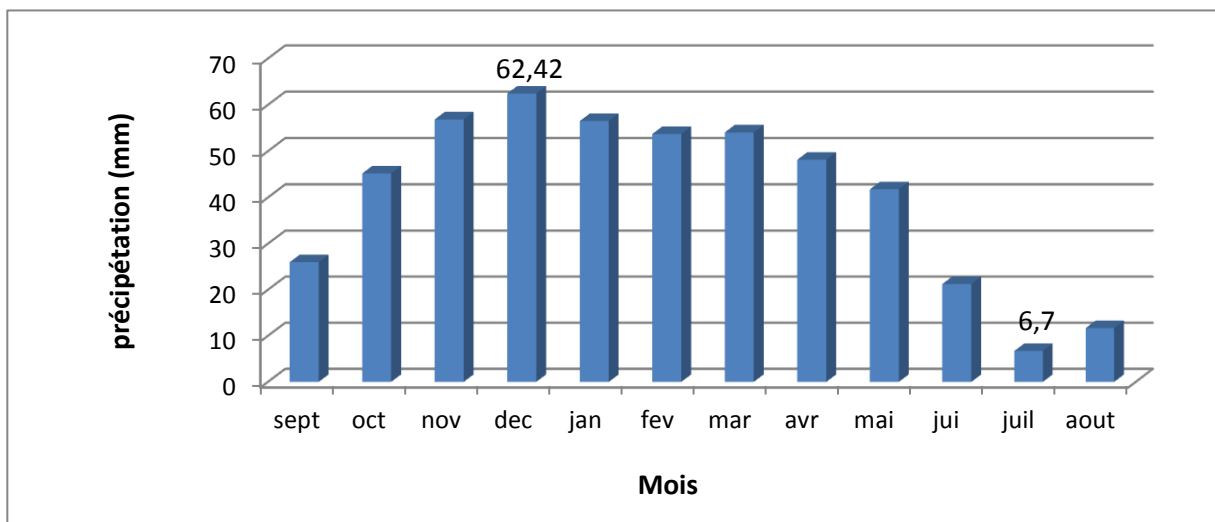


Figure 8: Evolution des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Ain Makhlouf (1985-2020).

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

Cependant, la représentation graphique **des variations interannuelles des précipitations** nous montre que l'année la plus humide est : 1997-1998 avec 1163 mm et l'année la plus sèche est : 1995-1996 avec 112.3mm (Fig. 09).

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

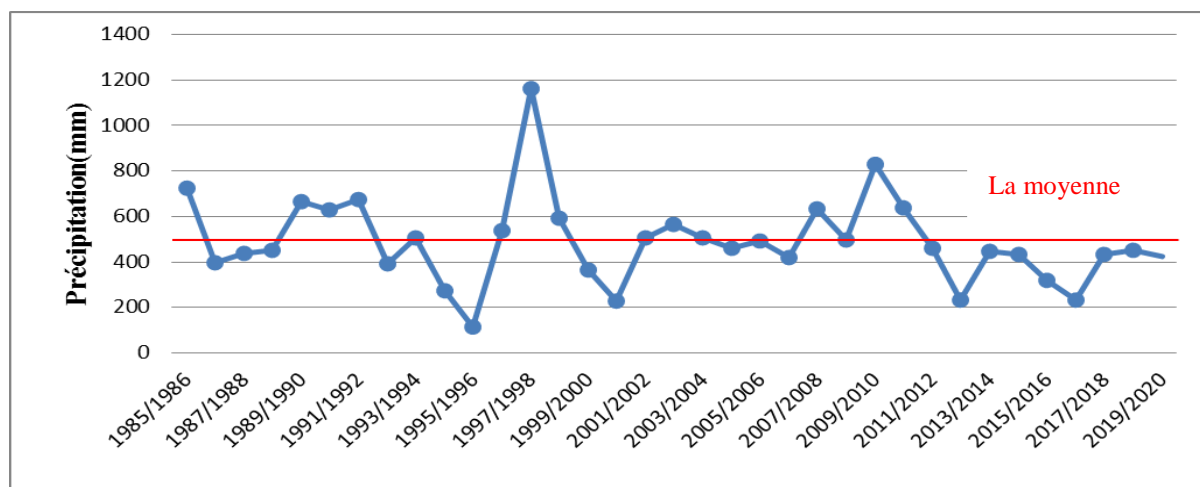


Figure 9: Evolution des précipitations interannuelles.

III.2.1.2 Précipitations moyennes saisonnières

Pour distinguer les pluies saisonnières survenant dans des conditions de températures différentes. Nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par apport au total annuel.

Tableau 2: Précipitations moyennes saisonnières de la station d'Ain Makhlouf (1985-2020).

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

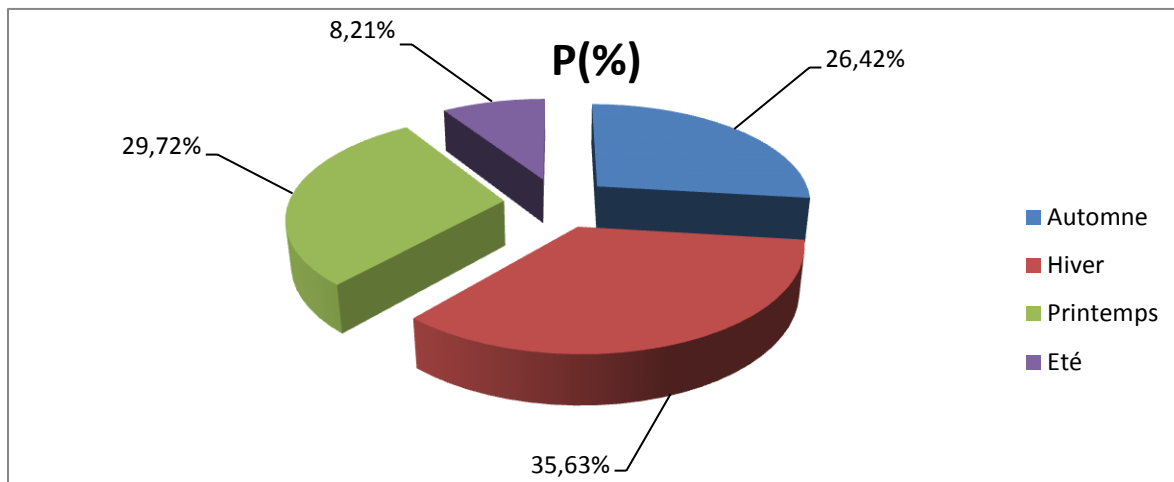


Figure 10: Précipitations moyennes saisonnières en %.

L'examen des résultats du Tableau 03 et la Figure 10 montre que les précipitations se produisent essentiellement en Hiver et en printemps, avec une quantité de 316.58 mm d'une moyenne de précipitation totale interannuelle de l'ordre de 484.37 mm, ce qui produit une recharge de la nappe. Les saisons estivale et automnale sont les plus sèches avec respectivement, un total des pluies de 39.78 mm (8.21%) et 128.01 mm (26.42%), ce qui produit une évaporation. Il en ressort que Décembre est le mois le plus pluvieux et que juillet est le mois le plus sec.

III.2.1.3 Coefficient pluviométrique (Cp)

Le coefficient pluviométrique correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires et les années déficitaires :

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

Ce paramètre est en relation proportionnelle avec la pluviométrie (Fig. 11), Il est calculé par le rapport de la pluviométrie de l'année considérée sur la pluviométrie moyenne annuelle observée à une station donnée. Mathématiquement, il se traduit par l'équation :

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

Avec :

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

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

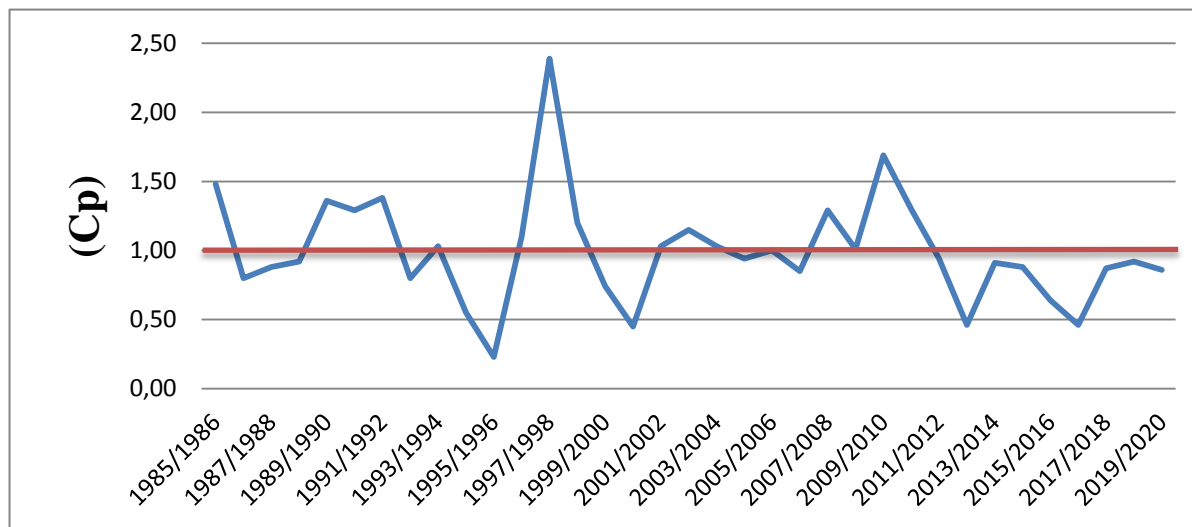


Figure 11: Coefficients pluviométriques.

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

III.2.2 Les températures

La température est l'un des facteurs les plus importants du climat, Son influence majeure sur les autres paramètres climatiques tel que, l'évapotranspiration et par conséquent sur le taux d'infiltration et le régime d'écoulement surfacique, le classe comme un paramètre essentielle pour le calcul du bilan hydrique.

III.2.2.1 Température moyennes mensuelles

Les températures mensuelles recueillies à la station météorologique d'Ain Makhoulf sur une période de 35 ans (1985 - 2020) sont récapitulées dans le Tableau (Annexe 2), leur répartition est illustrée par la Figure 12.

Les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont observées pendant la période allant du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre, avec des températures de l'ordre de 20.05 à 27.87 C°, tandis que les températures les plus basses (9.86 à 11.84 C°) sont observées pendant la période hivernale (Décembre à Mars) avec un minimum enregistré pendant le mois de Février de l'ordre de 9.86 C°.

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

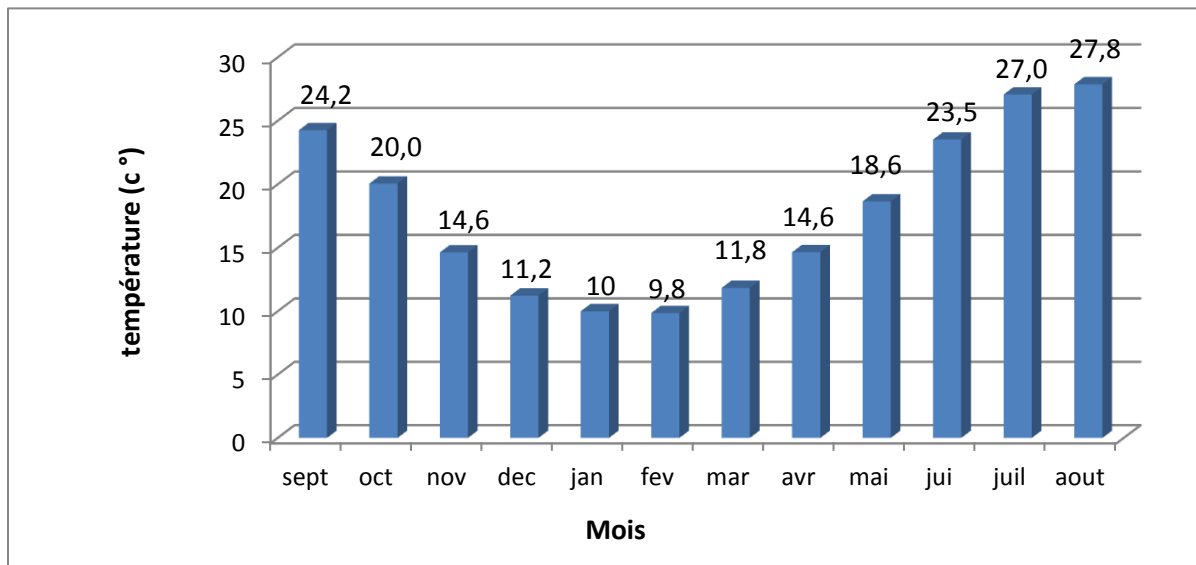


Figure 12: Evolution des températures moyennes mensuelles.

III.2.3 Régime climatique

III.2.3.1 Diagramme pluviothermique :

Le diagramme pluviothermique, permet la détermination du le type du climat caractérisant une région. Le diagramme pluvio-thermique est établi selon la méthode de Gaussen et Bagnouls. Cela permet de déterminer La période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieur ou égal au double de la température du même moi (Fig.13).

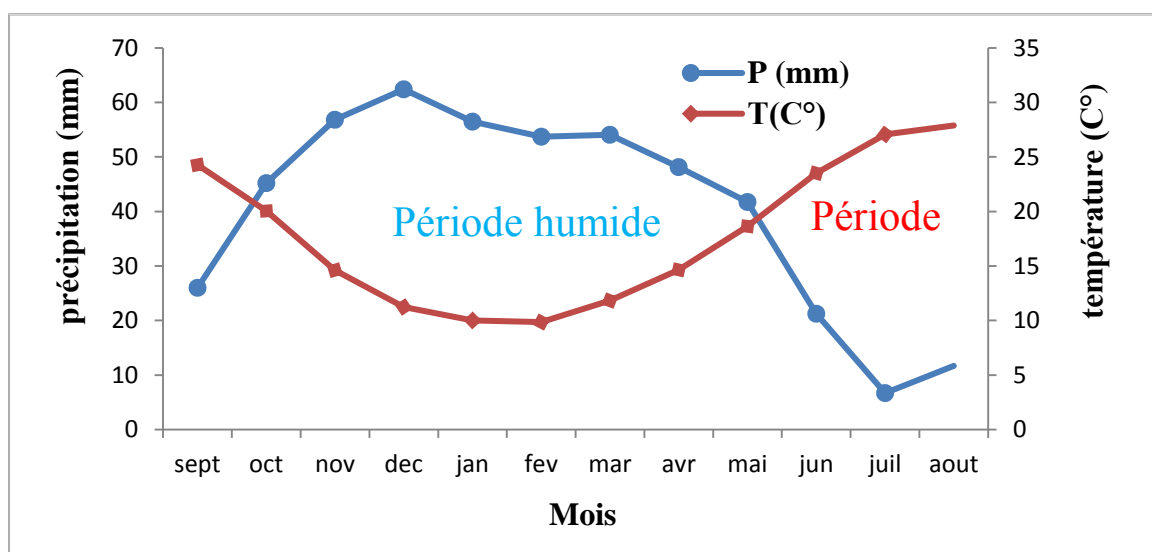


Figure 13: Diagramme Ombrothermique.

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

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

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

III.2.3.2 Indice d'aridité annuel d'E. De Martonne:

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

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

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

A : coefficient d'aridité.

Pour :

- $A < 5$: climat hyperaride.
- $5 < A < 7.5$: climat désertique.
- $7.5 < A < 10$: climat steppique.
- $10 < A < 20$: climat semi-aride.
- $20 < A < 30$: climat tempéré.
- $A > 30$: le climat est humide (l'écoulement est abondant).

Pour notre station d'Ain Makhoulf :

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

Station	Coefficient(A)
Ain Makhoulf	17.42

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

III.2.4 Le bilan hydrique

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

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm),

R : ruissellement en (mm),

I : infiltration moyenne en (mm),

ETR : évapotranspiration réelle,

III.2.4.1 Estimation de l'évapotranspiration

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

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

III.2.4.1.1 Evapotranspiration potentielle (ETP)

Est la quantité maximale d'eau pouvant s'évaporer par les sols, surfaces d'eaux libres et transpirer par les êtres vivants sur une surface limitée et pendant une période bien définie. On utilise la méthode de C.W Thornthwaite pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP), elle est basée essentiellement sur la température :

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

Avec :

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

Avec :

$$I=86.11 \quad a=1.87$$

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

III.2.4.1.2 Evapotranspiration réelle (ETR)

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

La formule de Turc

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

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

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

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

L : paramètre arbitraire lié à la température.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (C°).

Les résultats sont consignés dans le Tableau 03 :

Tableau 3: ETR selon Turc à la station d'Ain Makhlouf (1986-2020).

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

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

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

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, Thornthwaite a considéré deux cas (Débieche, 2002) :

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

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

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

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

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

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

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

– Le bilan hydrique pour une période de 34 ans de la zone d'étude est déficitaire, les valeurs obtenues de l'évapotranspiration potentielle et réelle, le déficit agricole et l'excédent sont représentés dans le Tableau 04.

Tableau 4: Calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite à la station d'Ain Makhlouf (1985-2020).

Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (1999)													
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Annuel
P (mm)	25,98	45,18	56,85	62,42	56,5	53,7	54,05	48,15	41,76	21,4	6,7	11,68	484,37
T(C°)	24,26	20,05	14,63	11,23	10	9,86	11,84	14,65	18,65	23,52	27,07	27,87	17,8
I	10,92	8,18	5,08	3,4	2,85	2,79	3,68	5,09	7,33	10,42	12,89	13,48	86,11
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm)	114,32	75,38	37,07	21,29	18,41	17,52	29,89	47,54	82,13	127,79	168,94	166,89	907,17
ETR (mm)	25,98	45,18	37,07	21,29	18,41	17,52	29,89	47,54	82,13	81,03	6,7	11,68	424,42
RFU	0	0	19,78	60,91	99	100	100	100	59,63	0	0	0	
Da	88,34	30,2	0	0	0	0	0	0	0	46,76	162,24	155,21	482,75
Ex	0	0	0	0	0	35,18	24,16	0,61	0	0	0	0	59,95

Avec :

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

Formules de vérification :

$$P = \sum ETR + \sum EX \implies P = 424,42 + 59,95 = 484,37 \text{ mm.}$$

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

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

$$EXC = \sum P - \sum ETR \implies EXC = 484,37 - 424,42 = 59,95 \text{ mm}$$

Nous constatons que les résultats issus des bilans sont vérifiés.

III.2.4.3 Interprétation du bilan hydrique

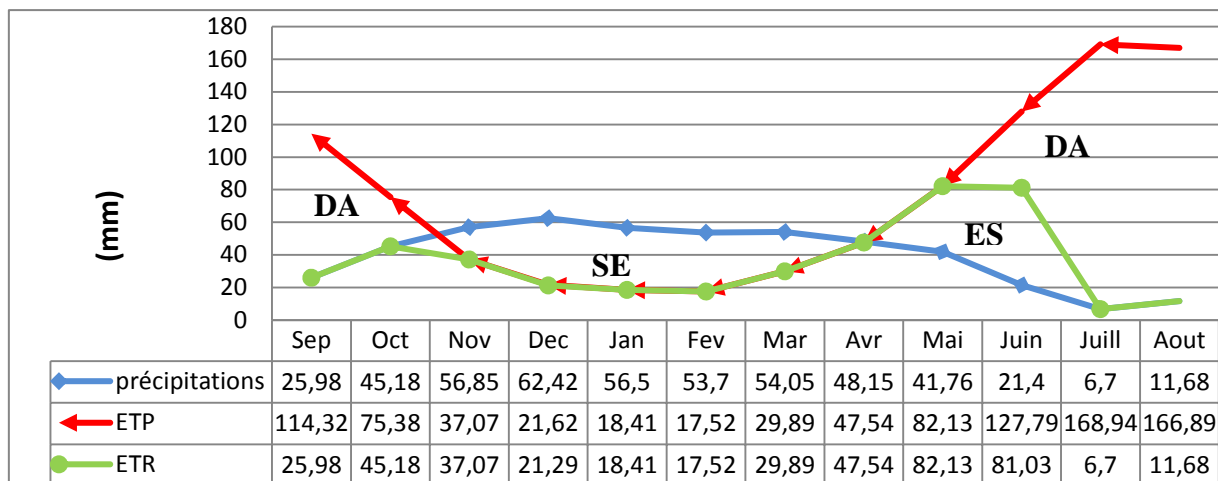
La figure 14 illustre les résultats de tableau ci-dessus. Le bilan hydrique de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de juillet (168.94 mm) et son minimum au mois de Février (17.52 mm).

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

La reconstitution de la RFU s'effectue au mois de novembre (19.78 mm) et atteint son maximum (100 mm) à partir du mois de février jusqu'au mois d'avril, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

Le déficit agricole (DA) s'observe à partir du mois de Juin et se poursuit au mois d'Octobre.

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



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

Figure 14: Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite.

III.2.5 Estimation du ruissellement

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

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

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

Avec :

R : ruissellement.

P : précipitations.

ETP : Evapotranspirations potentielle calculée par la méthode de Thornthwaite.

Les résultats des calculs sont donnés dans le Tableau 05.

Tableau 5: Ruissellement par la formule de Tixeront-Berkaloff.

Station	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)
Ain Makhlouf	484.37	907.17	46.02

III.2.6 Estimation de l'infiltration

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

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

Avec :

I : l'infiltration.

ETP : évapotranspiration réelle.

P : Précipitation Annuelle (mm).

R : Ruissellement Annule (mm).

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

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

Les résultats des calculs sont donnés dans le Tableau 06.

Tableau 6: Estimation de l'Infiltration en (mm).

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

III.3 Conclusion

La synthèse des données nous permet de conclure le suivant :

- Le climat continental semi-aride de la région d'étude est confirmé par des hivers pluvieux et froids et des Etés chauds, secs et ensoleillés, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux ; la précipitation et la température avec des moyennes de 484.37 mm et 17.80C° respectivement.
- L'interprétation du bilan hydrique selon la formule de C.W Thorthwaite, donne une évapotranspiration réelle très élevées de l'ordre de 424.42 mm/an présentant un pourcentage de (87.62%) des précipitations totales.
- La formule de Tixerion-Bercaloff, donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 46.02 mm/an (9.50%), l'infiltration a été estimée avec 13.93 mm/an (2.87%) des précipitations enregistrées, La période de recharge s'effectue au mois de Novembre et commence à s'épuiser au mois de Mai.
- Le déficit agricole pour satisfaire les besoins en eaux d'irrigation des cultures est estimé à 482.75 mm à la station d'Ain Makhoulf.

CHAPITRE IV

*Contexte hydrogéologique
et impact du climat sur les
sources*

IV.1 Introduction

Afin de mener une étude hydrogéologique pionnière dans la zone d'Ain Makhlouf, nous avons décidé de traiter ce chapitre suivant deux phases:

A travers la première phase, nous allons détailler l'aspect hydrogéologique de l'aire d'étude, en suivant les étapes suivantes ; qui commencent par l'identification des ressources en eau disponibles dans la région et l'inventaire de l'ensemble des points d'eau, parmi lesquels les sources, puis la reconnaissance des systèmes aquifères à partir des données géologiques et d'investigations sur le terrain.

Dans le but d'identifier la nature des différentes nappes d'eau souterraines , qui nous permet de réaliser la carte piézométrique dont son observation et interprétation possèdent une grande importance dans la détermination du sens de l'écoulement des eau souterraines ainsi que l'identification des conditions aux limites des nappes et les conditions d'émergence des différentes sources ...etc.

En cours de la deuxième phase nous allons caractériser l'impact du climat sur le régime des sources, et la détection des plus importantes en termes de débit et de pérennité, pour une éventuelle exploitation dans les domaines convenues.

IV.2 Ressources hydriques

Suite à sa situation géographique, le bassin de l'Oued Mdjaz Lebgar où se localise notre région d'étude serait marqué par des étiages prononcés avec souvent des débits nuls en été et des crues fortes et rapides en saison humides.

Ces crues favorisent l'érosion des sols à l'amont du sous bassin et provoquent des inondations à l'aval. Par ailleurs, l'occurrence d'épisodes secs de durées plus ou moins longues est également une donnée structurelle essentielle de régimes hydrologiques de la production agricole en mesure de contribuer à la satisfaction des besoins nutritionnels d'une population en croissance rapide.

IV.2.1 Les eaux de surface

D'après la carte du réseau hydrographique et les informations recueillies de la DHW de Guelma, la ressource en eau de surface provient essentiellement de :

- Oued Mdjez Lebgar, estimé à $6.3 \text{ Hm}^3/\text{an}$
- Oued Bou Lefraïis, estimé à $7.4 \text{ Hm}^3/\text{an}$.

- Oued El Maleh (Mgaisba) estimé à 8.2 Hm³/an.

À 6 km à l'Ouest de l'agglomération chef-lieu, se trouve la retenue collinaire de l'agglomération de Beldjoudi destinée à l'irrigation.

Donc il est temps d'initier une politique qui permet la réalisation d'ouvrages hydrauliques permettant la régularisation d'une partie importante des eaux d'écoulement superficiel.

Pour réduire le recours aux transferts entre les bassins limitrophes (plaine de Tamlouka) à partir des forages existants (F12 et F13 avec un débit de 20 l/s et 12 l/s respectivement).

Nous rappelons que la municipalité en possède 6 réservoirs de stockage avec une capacité totale de l'ordre de 3200 m³.

IV.2.2 Les eaux souterraines

Ces ressources en eau souterraine constituent une des réserves accumulées depuis de longues années et une richesse qui se reconstitue d'année en année grâce à l'infiltration des eaux de pluie.

En se basant sur la carte géologique, les données collectées sur terrain (mesures in situ et observations), et celles disponibles à la DHW de Guelma et aux services techniques et d'hygiène de la commune d'Ain Makhoulf.

On va essayer de définir les ressources en eau de la région d'étude, parmi lesquelles, les horizons aquifères existants et leurs caractéristiques hydrodynamiques. Ensuite, établir des cartes piézométriques caractérisant l'écoulement souterrain de l'eau. Enfin, déterminer les zones favorables à l'implantation des captages.

IV.2.2.1 Les Forages

Les forages dans le périmètre communal d'Ain Makhoulf, sont en nombre de 04 qui ont été réalisés par différentes sociétés et exploités avec un débit total d'environ 40 l/s (Annexe 4). Ces forages sont destinés essentiellement à l'AEP et à l'irrigation.

IV.2.2.2 Les Puits

D'après les informations recueillies des services hydrauliques et avec l'aide des habitants locaux, nous avons mené une enquête sur terrain, qui nous a permis de visiter et observer une vingtaine de puits, récapitulés avec leurs données dans le tableau (Annexe 5), et cartographiés dans la carte d'inventaire.

Les puits existant dans l'aire d'étude captent ; dans la plupart des cas, la nappe libre du Quaternaire et dans certain cas, la nappe karstique.

IV.2.2.3 Les Sources

1-Définitions, origine et classification des sources :

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

On distingue les sources à écoulement gravitaire et les sources profondes dites artésiennes :

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

Plusieurs classifications des sources ont été proposées dans la littérature, les caractéristiques les plus couramment utilisées sont: le débit et sa régularité, le type de source gravitaire ou profonde dite artésienne, la structure géologique et géomorphologique contrôlant l'émergence, la qualité de l'eau et la température (Kresic, 2010; Jang, 2010), et une classification en fonction du type d'eau basée sur les ions majeurs (Minissale et al. 1997; Mariner et al., 2003; Afsin et al., 2006).

Les trois principaux paramètres qui déterminent le débit d'une source sont la perméabilité, l'aire d'alimentation de l'aquifère et la quantité d'alimentation (pluies).

La plus part des sources montrent des fluctuations mesurables du débit dues aux fluctuations saisonnières des précipitations. Selon la classification de Meinzer (1923) (Tableau 07), la majorité des sources de magnitude 8 sont des sources intermittentes.

Tableau 7: Classification des sources basée sur le débit moyen (Meinzer, 1923).

Magnitude	Débit moyen	Magnitude	Débit moyen
1	Plus de 10 m ³ /s	5	1 – 10 l/s
2	1 – 10 m ³ /s	6	0.1 – 1 l/s
3	0.1 – 1.0 m ³ /s	7	10 – 100 cm³/s
4	10 – 100 l/s	8	< 10 cm³/s

Dans cette étude nous essayons dans un premier temps de dresser un inventaire complet des différentes sources à travers le territoire de la commune et dans un deuxième temps d'identifier les facteurs responsables de la variation des débits.

Elles constituent, pour la plupart, des cas de résurgence aux pieds des formations calcaires ou à l'intersection de la surface piézométrique avec la topographie, sont caractérisées par des écoulements permanents, variables selon les hautes et basses eaux, généralement soutenues par des nappes perchées alimentées par les précipitations. L'autre catégorie des sources est alimentée directement par les nappes aquifères présentes dans les différents dépôts mio-plio-quadernaires.

Après de la consultation des données disponibles au niveau du service technique de la mairie et à la suite des nombreuses sorties sur terrain, nous avons pu recenser et identifier 46 sources dont le débit est variable de quelques litres à des dizaines de litres par seconde (Annexe 6).

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

IV.3 Inventaire des points d'eau

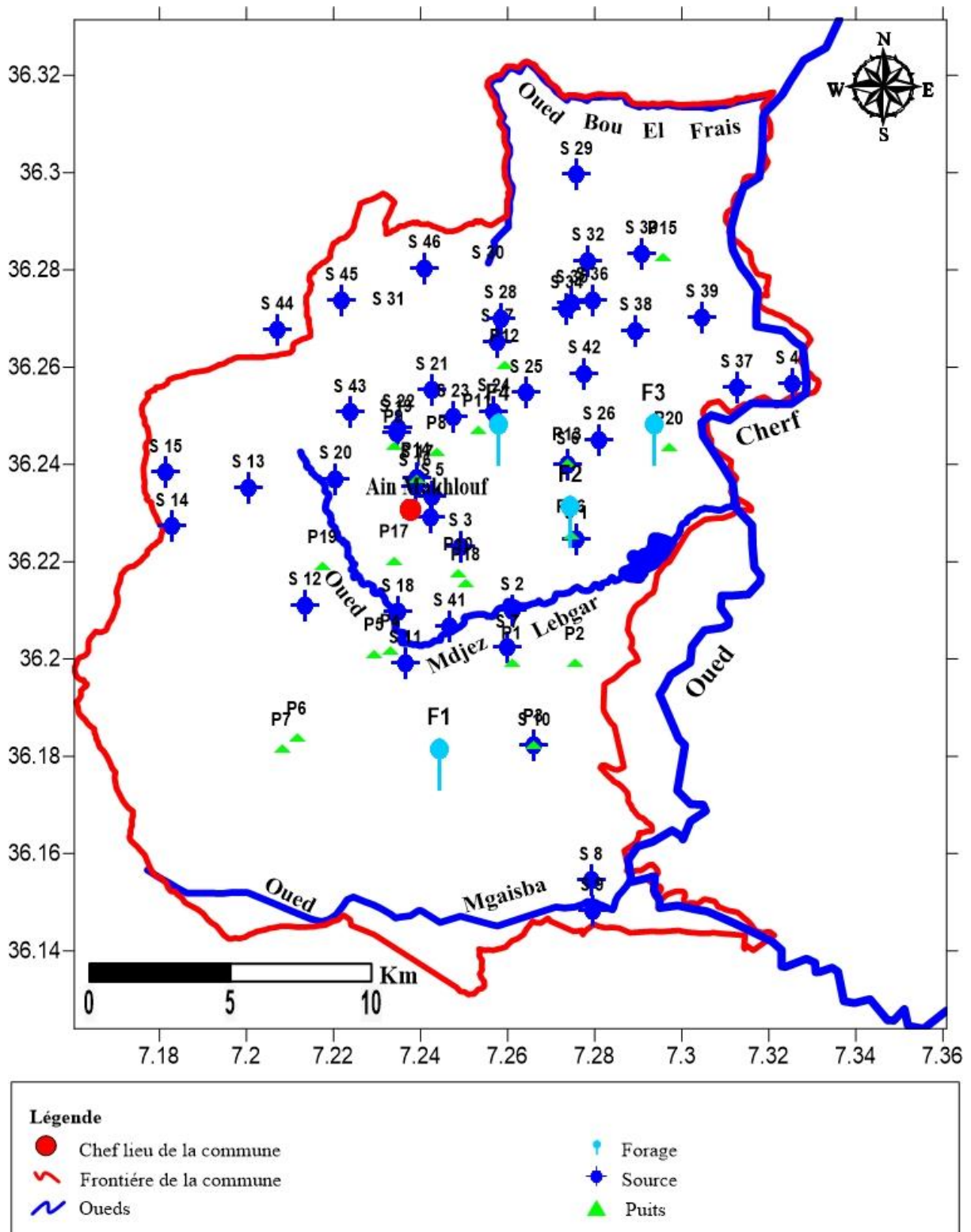


Figure 15: Carte d'inventaire des points d'eau dans la région d'Ain Makhlouf (période des hautes eaux (Mai 2020)).

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

IV.4 Etude hydrogéologique (description hydrogéologique des différents aquifères)

La description des différentes formations géologiques fournie par l'outil géologique a été confrontée aux renseignements fournis par l'analyse de la carte hydrogéologique ci-jointe (Fig.16). L'exploitation de ces informations a permis de conclure que ;

A l'échelle du bassin d'Ain Makhlouf, on peut distinguer trois nappes caractérisées par une large répartition dans l'espace , contribuant ainsi au développement du bassin en assurant l'approvisionnement en eau potable d'une grande partie des centres urbains et ruraux et en participant à la mise en valeur de grandes superficies irriguées au moyen de multiples stations de pompage.

Ces nappes, sont la nappe libre au Sud-Ouest et les aquifères karstiques au Sud-Est et au Sud –Ouest.

Alors que le secteur Nord de l'aire d'étude est représenté par une structure essentiellement argilo-marneuse et gréseuse très peu perméable à imperméable.

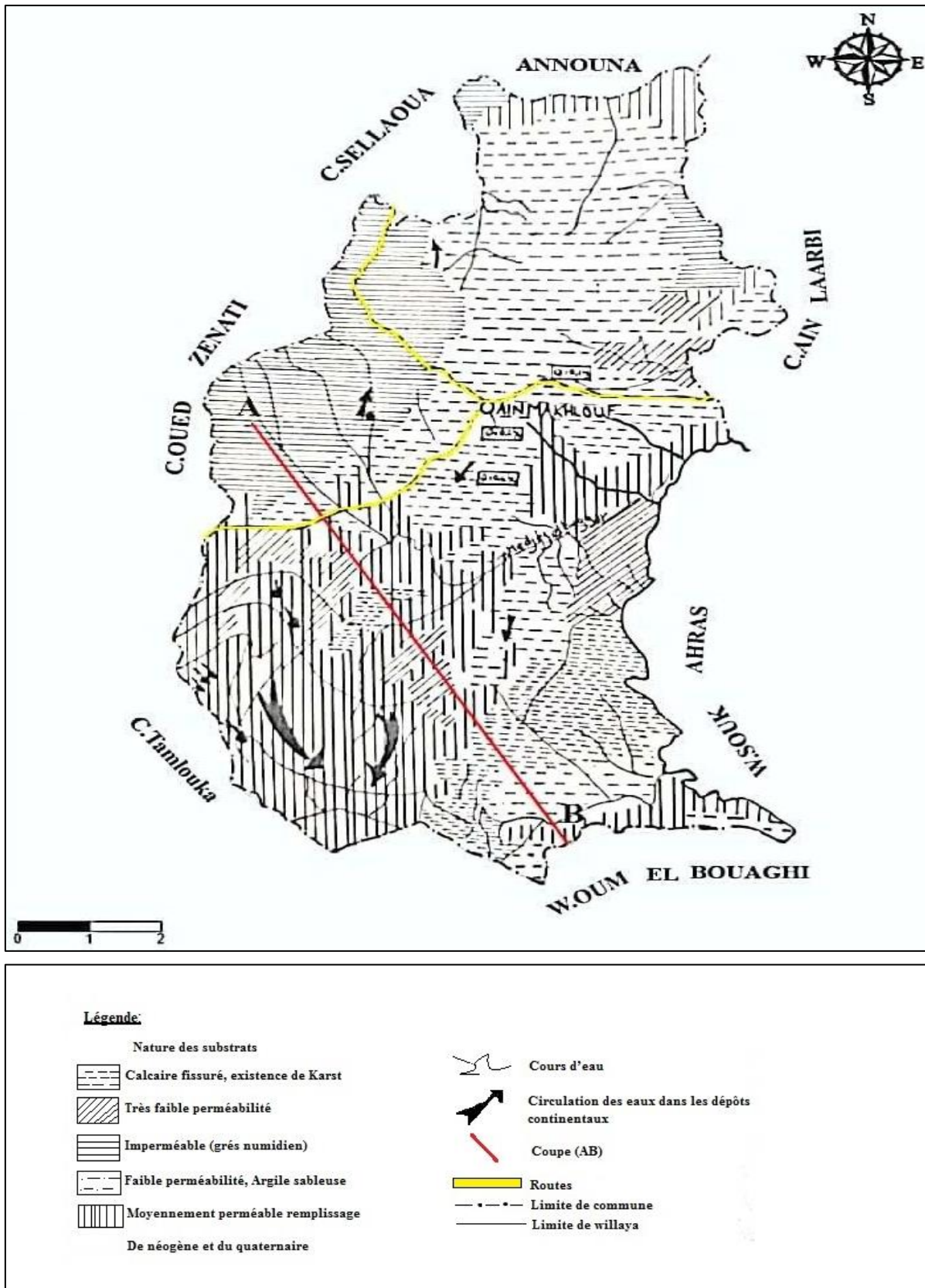


Figure 16: Carte hydrogéologiques schématique de la région d'Ain Makhlof (Bouzidi et Guendouze, 1995, Modifié).

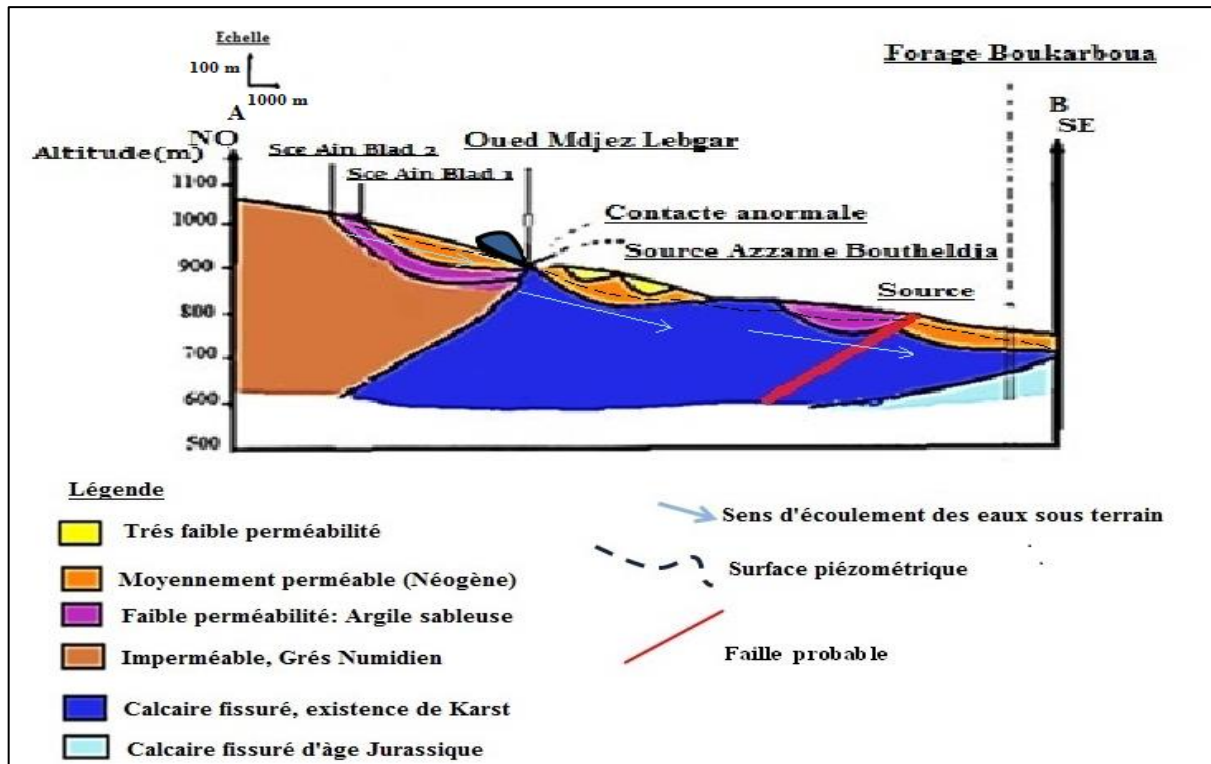


Figure 17: Coupe hydrogéologique schématique dans la région d'Ain Makhlouf.

IV.4.1 Les différents aquifères

Le système hydrogéologique de la région d'Ain Makhlouf est très complexe ; car on y rencontre une multitude d'horizons.

L'ensemble est compliqué par l'existence d'une multitude de passages argileux-marneux imperméables formants par endroit, le toit des nappes profondes en leur conférant le caractère de nappes captives.

Les horizons aquifères communiquent entre eux soit directement par les couches perméables ou bien par l'intermédiaire de failles affectant les formations calcaires, deux types de nappes s'individualisent : la nappe libre et la nappe karstique.

La coupe hydrogéologique (AB) (Fig.17), c'est une coupe longitudinale de direction Nord-Ouest Sud- Est qui nous donne de précieuses informations sur la structure complexe de la plaine. En effet, cette dernière est le siège d'une succession de horst (môle de Harriate) et de graben (effondrements de la plaine et les tracés des cours d'eau).

Dans sa structure, le môle de Harriate s'identifie à un anticlinal perché par les formations calcaires Maestrichtiens ; alors que plusieurs effondrements représentent des zones de subsidence, ayant l'allure des synclinales comblés par les formations Mio-Plio-Quaternaires.

La coupe hydrogéologique nous a permis, également, de déterminer le niveau statique de la nappe libre ainsi que celui de la nappe karstique.

Localement, les faibles épaisseurs des formations imperméables entre les niveaux aquifères expliquent la présence d'une liaison hydraulique entre eux.

IV.4.2 Identification des nappes

IV.4.2.1 Aquifère à nappe libre

D'après les logs stratigraphiques des forages, la nappe possède une faible puissance hétérogène constituée par les dépôts de mio-plio- quaternaires, cette nappe est exploitée par les puits domestiques avec un faible débit.

IV.4.2.2 Aquifère à nappe karstique

- **Dans les formations maestrichtiennes –sénonien supérieur**

Elle est constituée de calcaires fissurés et karstiques. C'est la plus importante nappe de la région, Dans la zone d'effondrement, la nappe est discontinue à cause des failles qui la traversent. Ces failles donnent naissance à des sources généralement à température élevée indicateur de leur origine profonde.

- **Dans les formations des calcaires Jurassiques**

Il s'agit d'une nappe relativement profonde, localisée à l'extrême Sud – Est, de la région d'étude, et qui présente le prolongement orientale des formations de Djebel Djahfa sous les dépôts Mio-plio- quaternaire de la plaine de Tamlouka,(Djorfi et Djidel 1993) (Fig.18),

La coupe hydrogéologique schématisée, montre que le débit important du forage F1 est due à sa liaison avec cette nappe.

IV.4.3 Alimentation des nappes

Il existe une liaison hydraulique entre les différentes nappes existantes dans la région. La nappe phréatique peut alimenter la nappe karstique par drainance (faible puissance des formations imperméables) et inversement.

La nappe libre dans les dépôts du mio-plio-quaternaire s'alimente par l'infiltration directe des eaux météoriques et des eaux des affluant des différents cours d'eau, notamment pendant les basses eaux.

L'alimentation de la nappe des calcaires du Jurassique se fait par l'infiltration directe des pluies par l'intermédiaire des failles et les fissures des collines de Ain Arko, aussi par les calcaires qui affleurent au pied de Djebel Djahfa et qui sont d'âge jurassique (Djorfi et Djidel 1993).

IV.4.4 Etablissement de la carte piézométrique

Les données utilisées pour l'établissement de cette carte (Fig.18) ont été collectées au niveau des différents services hydrauliques (subdivision d'hydraulique, service technique et le service d'hygiène) de la commune d'Ain Makhoulouf, ainsi qu'à partir des différentes campagnes de mesures réalisées par nous-mêmes, sur terrain pendant la période des hautes eaux (Mai 2020). Elles ont touché tous les puits et les émergences de sources.

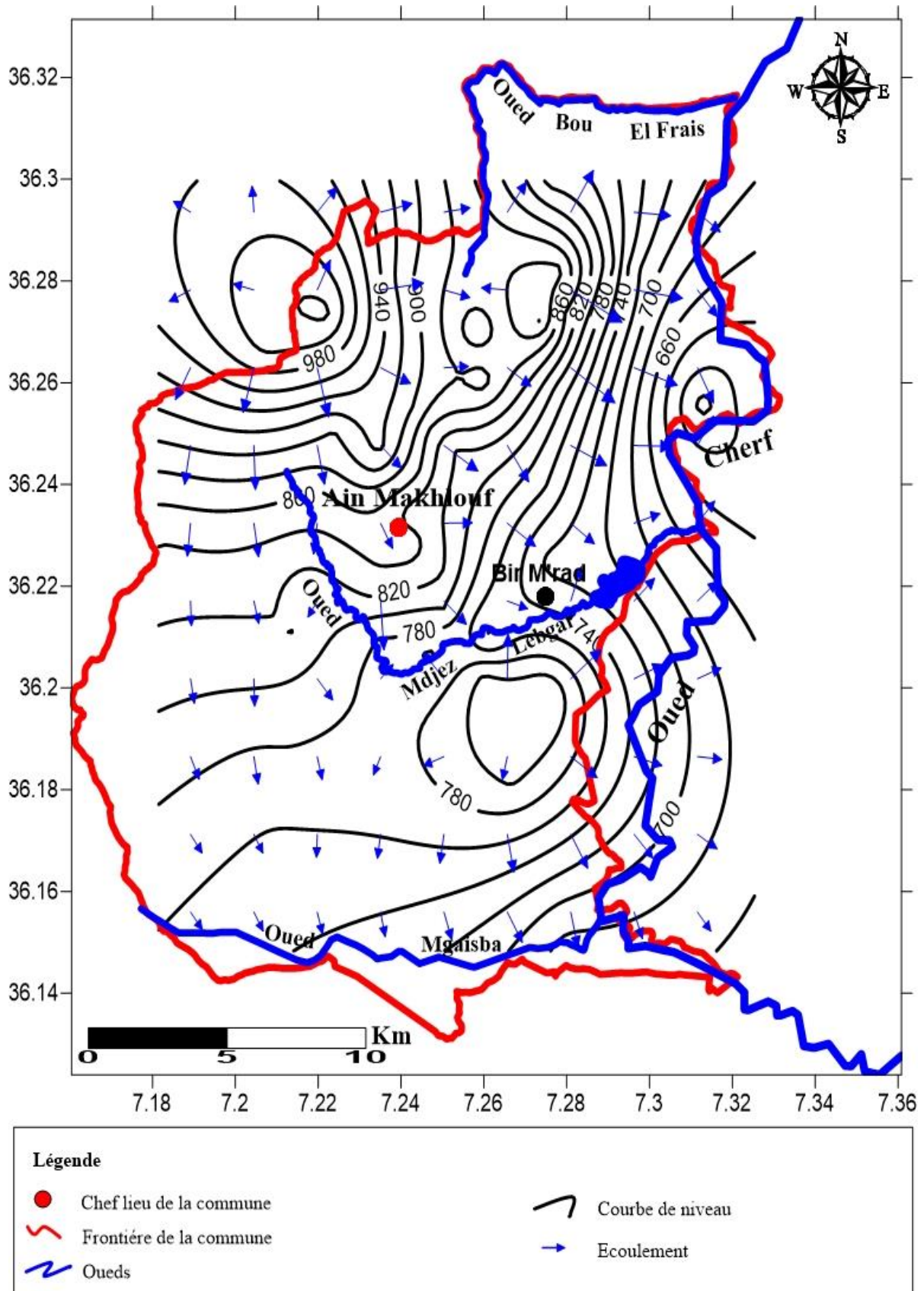


Figure 18: Carte piézométrique de la région d'Ain Makhlouf (la période des hautes eaux (Mai 2020)).

IV.4.4.1 Interprétation de la carte piézométrique

L'analyse de la carte piézométrique, période des hautes eaux (Mai 2020) nous a permis de constater que l'écoulement souterrain général se dirige du Nord-Ouest vers : le Sud-Ouest, le Sud-Est et vers l'Est de la plaine, obéissant ainsi à la topographie avec des changements locaux de direction.

L'espacement des courbes piézométriques augmente progressivement dans la direction Nord-Ouest au Sud-Est, qui se traduit éventuellement par un écoulement lent, une augmentation de la perméabilité et une diminution du gradient hydraulique 0.006 (0.6%) due à la nature lithologique alluvionnaire de la plaine. En outre, la convergence des lignes de courant (augmentation du débit) à ce niveau (Mechta Bir Mrad) rend cette zone la plus favorable à l'implantation des captages d'eau.

Cette carte permet de visualiser les éventuelles anomalies ; un prélèvement ou un apport d'eau important se traduisent respectivement par une dépression ou un bombement de la surface piézométrique là où la topographie n'en montre pas.

Au niveau de l'extrême Nord-Ouest de la carte une zone d'alimentation principale se manifeste, sous forme d'une anomalie locale, caractérisée par des courbes isopièzes concentriques suggérant ainsi, la présence d'une nouvelle réapparition des eaux d'origine profonde à travers des accidents tectoniques probables. Au Nord-Est, l'aspect dépressionnaire de la surface piézométrique suit celui de la surface topographique ou encore à cause de l'existence d'une zone de perte à ce niveau, qui est suivi directement en direction de l'écoulement par un ensemble de courbes piézométriques :

- Très serrées, traduisant ainsi une très forte valeur du gradient hydraulique 0.045 (4.5%) due probablement à un écoulement rapide favorisé par la pente forte et une perméabilité faible des formations à dominance argileuse.

- A orientation amont de leur concavité ; à l'origine d'une convergence des lignes de courant et par conséquent une diminution de débit.

Ces deux caractéristiques sont suffisantes pour classer cette zone comme très défavorable pour l'implantation des captages d'eau.

A l'Ouest l'allure perpendiculaire des courbes isopièzes par rapport à la frontière Ouest de la zone d'étude s'explique par la nature étanche de cette dernière formée essentiellement de grès numidien et d'argile.

Les échanges hydrauliques entre la nappe et l'Oued Mdjez Lebgar sont importantes pendant cette période des hautes eaux, indiquées par une orientation avale de la concavité des courbes piézométriques et une convergence des lignes de courant vers l'Oued.

Le drainage de la nappe par l'Oued El Maleh au niveau de sa rive Nord est fréquent en période de crue. En outre, l'Oued Cherf aux frontières Est du secteur étudié, draine la nappe par sa rive Ouest suivant deux formes ; La première par des lignes de courant divergentes (au Sud) et la deuxième par des lignes de courant convergentes (au Nord). Les eaux de la nappe s'écoulent vers le cours d'eau et sortent au niveau des sources situées dans son lit. La surface piézométrique de la nappe se situe à une cote supérieure à celle du cours d'eau.

Les courbes concentriques dans la partie Sud-Est de la carte avec un écoulement divergent confirme l'hypothèse de l'existence d'une faille à ce niveau.

IV.4.5 Contexte hydrogéologique des importantes sources

En fonction des différentes données recueillies précédemment, liées au débit et à sa variation saisonnière, nous avons opté de classer un groupe de sources comme importantes, et qui sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 08).

Tableau 8: Inventaire des principales sources de la région d'Ain Makhlouf.

N° de la Source	Nom de la Source	Coordonnées Est (Longitude) (Degré minute seconde)	Coordonnées Nord (Latitude) (Degré minute seconde)	Altitude en (m)	Débit hautes eaux (Mai 2020) dl/s	Débit basses eaux (Août 2020) dl/s	Aménagement	Usage
S 1	Ain Bir M'rad	7° 16 32,94	36° 13 29,05	715	3	1	Oui	AEP
S 5	Ain Essagni	7° 14 33,78	36° 14 00,81	828	4	1.5	Oui	AEP
S 6	BirLaâmour	7° 16 26,09	36 14 24,21	766	3	1	Non	AEP+ irr
S 10	Ain Ben Aziez	7° 15 58,00	36° 10 56,00	805	3	2	Oui	AEP
S 11	Ain Ben Arâare	7° 14 1153	36° 11 56,97	777	3	2.2	Oui	AEP

S 18	Ain Bouthaldja	7° 14 05,22	36°12 35,11	779	4	3	Non	AEP+ irr
S 19	Ain El Haouche	7° 14 03,80	36°14 48,13	921	3	2	Oui	AEP
S 25	Ain Settour	7° 15 51,60	36°15 17,30	845	4	3	Oui	AEP
S 29	Ain Ben Talha	7° 16 32,99	36°17 58,71	794	3	2.8	Oui	AEP
S 31	Ain B'ladMeziène	7° 13 57,64	36°16 07,47	936	3	2.6	Oui	AEP
S 41	Ain Errabiâ	7° 14 48,16	36°12 24,60	756	3	2.6	Oui	AEP

AEP : Alimentation en eau potable, **Irr** : Irrigation, **dl** : décilitre.

IV.4.5.1 Conditions hydrogéologiques des différentes émergences

En se basant sur la carte piézométrique, les données géostructurelles, les conditions topographiques et l'observation sur terrain, nous avons pu adopter quelques hypothèses concernant l'écoulement des principales sources, de tel sorte que :

- Les sources S1, S6 et S 11 ; Ain Bir M'rad, Ain Bir Laâmour et Ain Ben Arâare: s'émergent à partir d'une nappe libre, au niveau d'un exutoire topographique, avec les plus petites valeurs des courbes de niveau dans le terrain d'étude (715, 766 et 777 m respectivement), indiquant une intersection de la surface topographique avec la surface piézométrique, présentant ainsi des sources de dépression (Fig.19.c).

Leur régime pérenne avec un débit relativement important est dû à la convergence des lignes de courant des eaux souterraines.

- La source S5 ; Ain Essagni : c'est une source pérenne qui se localise à la rive d'un cours d'eau (un affluent de l'Oued Mdjez Lebgar), qui présente le siège d'un changement latérale de faciès géologique ; des calcaires aux argiles, ce contact entre une formation perméable une autre imperméable nous permet de la classer comme une source de débordement et non de trop plein (émergence), car (selon la géologie) la couche d'argile recouvre la nappe libre localement et n'a pas d'extension dans les profondeurs (Fig.19.b).

- La source S10 ; Ben Aziez : source pérenne, par laquelle notre coupe hydrogéologique (AB) passe. Avec un débit relativement important, elle s'émerge entre deux formations différentes et de faible perméabilité, ce qui nous appelle à confirmer l'origine profonde de ces eaux à travers une faille probable dans les formations calcaires karstiques ce qui nous permet de la classée comme une source diaclasienne karstique (Fig.19.d).

- Les sources S18 et S41; Ain Bouthaldja et Ain Errabiâ : leur débit important et leur pérennité peuvent être expliqués par leur situation au lit majeur de l'Oued Mdjez Lebgar à écoulement permanent, l'intensité des échanges cours d'eau – nappe, et l'alimentation de cette dernière par l'Oued, ; ainsi que par l'intersection de la surface piézométrique de la nappe libre avec la surface du sol sans incidence d'une limite imperméable de l'aquifère, elles sont classées comme des sources de dépression (Fig.19.c).

- La source S19 et S 31 ; Ain El Haouche et Ain B'lad Meziène : avec un régime pérenne, elles s'émergent au niveau du contact entre les grès numidiens du Djebel El Ancel et les formations du sable argileux d'âge miopliocène, ce sont donc, des sources de déversement (fig.19.a).

- les sources S 25 et S 29 ; Ain Settour et Ain Ben Talha : leur situation au niveau d'une topographie dépressionnaire, nous a permis de les classer comme des sources de dépression (Fig.19.c).

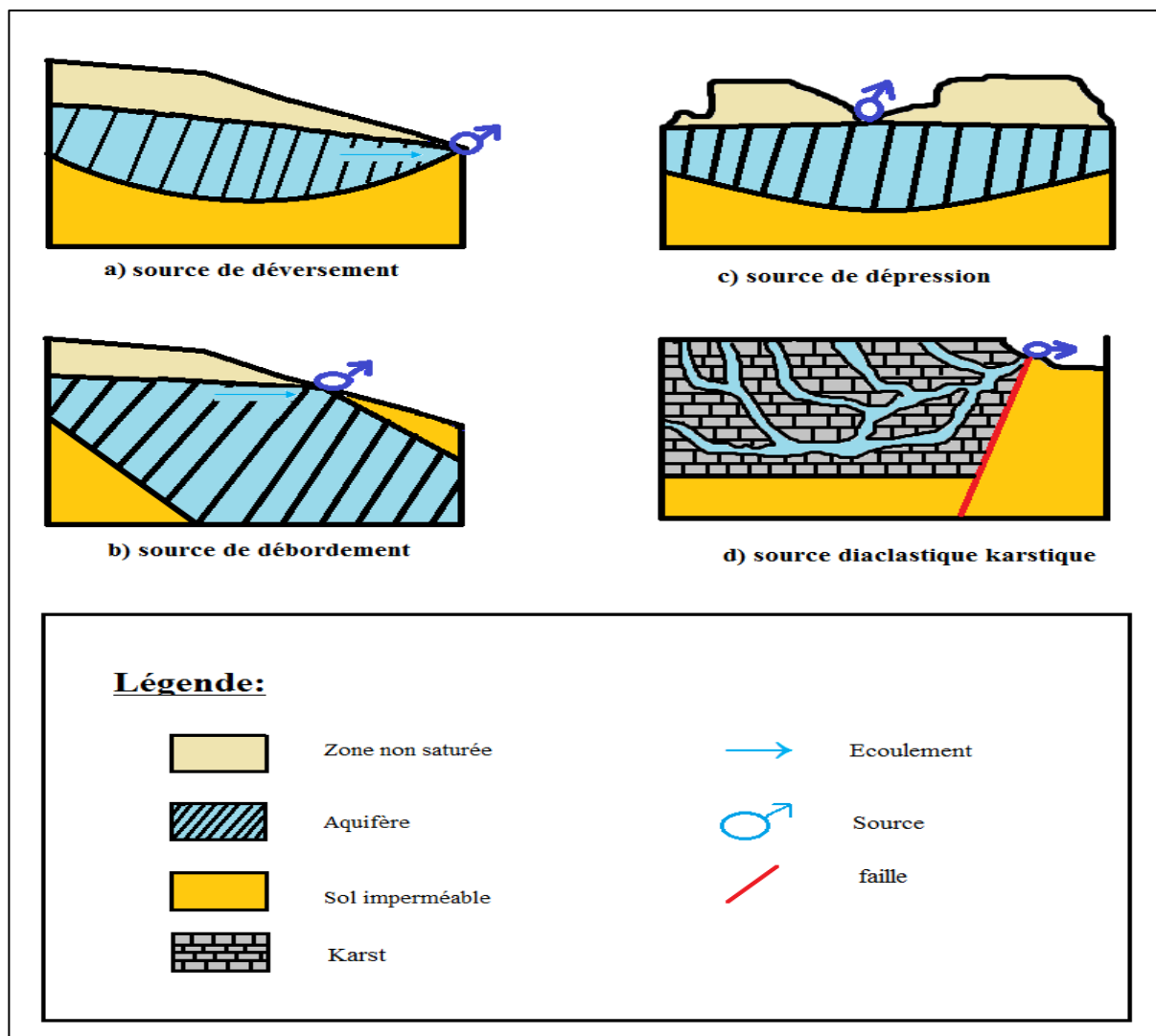


Figure 19: Schéma représentant les différents types des sources.



Source Ain Al Baâli (S44)



Source Ain Ben Talha (S29)



Source Ain B'lad Meziène (S31)



Source Ain bouthaldja (S18)

Figure 20: Photos des quelque sources.

IV.5 Impacte des variations climatiques sur le régime des sources

IV.5.1 Variation des débits de sources liée aux variations climatiques

Les aquifères jouent un rôle de tampon en lissant la variabilité annuelle et interannuelle des précipitations et des écoulements de surface. Ils soutiennent les débits des cours d'eau en été et maintiennent les zones humides dépendantes.

Les sources entant qu'une forme d'émergence de ces eaux souterraines, peuvent obéir à cette règle comme elles peuvent la contredis selon leurs conditions d'écoulements et d'émergence ; Pour confirmer cette hypothèses, nous allons essayer d'établir une comparaison graphique entre l'amplitude de variations des débits des différentes sources suivant le temps (périodes des hautes et des basses eaux) (fig.21).

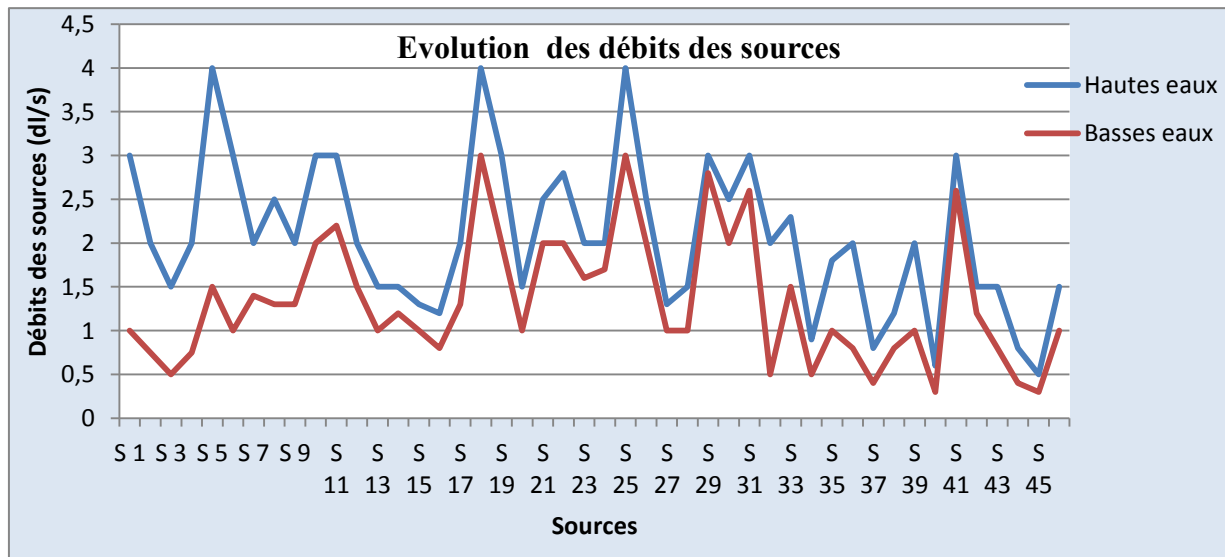


Figure 21: Evolution des débits des sources (Mai et Août 2020).

L'observation et l'analyse de la représentation graphique permet de regrouper l'ensemble des sources en deux groupes :

- Le premier groupe : comprend les sources ayons une différence de débit entre les hautes et les basses eaux ≥ 1 dl/s et qui sont toutes les sources karstiques (S1, S2, S3, S4, S5 et S6) plus six sources alluvionnaires (S10, S18, S25, S32, S36 et S39).

Une première constatation peut être déduite, est que les débits des sources karstiques de la région d'étude sont cependant fluctuants et étroitement liées au climat, et présentent des baisses ou des hausses immédiates suivant les variations météoriques, ceci est due à leur écoulement souterrain libre et rapide à travers les fissures. L'inconvénient de ne pas résister aux périodes de sécheresse, minimise l'importance de ces émergences.

Exclusivement, les six sources alluvionnaires qui obéissent à la condition citée précédemment (Débit ≥ 1 dl/s) peuvent avoir une origine superficielle ou à faible profondeur.

- Le deuxième groupe : inclut les sources ayons un débit < 1 dl/s ; ce sont tout le reste des sources alluvionnaires plus celles qui s'émergent au niveau du piémont de Djebel El Ancel.

Leur lenteur de réponse aux variations météoriques est due, au degré de la perméabilité, à l'importance de la réserve ou encore à leur origine profonde (cas

des sources qui s'émergent au niveau des contacts anormaux entre les grès numidiens de Djebel El Ancel et les autres formations autochtones).

Toutes ces conditions confirment la pérennité de ces sources d'où leur importance socioéconomique, si le débit est favorable, c'est le cas des sources : **S18, S25, S29, S31 et S41** encourageant les citoyens locaux, la municipalité et /ou les services d'hydraulique d'effectuer des aménagements à long terme pour l'AEP et de valoriser cette richesse inépuisable par l'augmentation des capacités de stockage et d'établir des investissements stratégiques locaux. Malgré qu'on observe plutôt une alternance de périodes sèches et humides qui ont un impact sur le niveau des aquifères.

On constate une bonne capacité de résilience des aquifères, avec un retour à un niveau normal après des périodes d'étiage sévère.

IV.6 Conclusion

A travers ce chapitre nous avons pu établir pour la première fois un inventaire général avec mesure du débit et détermination des coordonnées géographiques de la majorité des points d'eau de la commune d'Ain Makhoulf,

Cette dernière en forme d'une cuvette allongée remplie par des sédiments alluvionnaires, se situe au niveau d'une zone de broyage, cette position structurale a engendrée une diversification des caractéristiques hydrogéologiques, on y trouve, des formations karstiques au Sud, alluvionnaires fortement perméables au centre et de faible perméabilité au Nord, l'ensemble est affecté par des contacts anormaux et des failles.

La carte piézométrique des hautes eaux montre un écoulement général du Nord vers le Sud avec quelque anomalie locale sous forme : des zones de drainage et des zones d'alimentation.

Les zones favorables à l'implantation des captages d'eau sont matérialisées sur la carte par un grand espacement des courbes hydroisohypses et une convergence des lignes de courant.

Le drainage de la nappe par les cours d'eau pendant la période des hautes eaux est concrétisée sur la carte par l'allure convergente des lignes secondaires de courant.

Tout ça est à l'origine de la diversité des conditions d'émergence des différents points d'eau, d'où ils ont été divisés ;

Dans une première approximation en deux groupes selon leurs situations par rapport aux différentes formations géologiques :

- La première concerne les formations calcaires du Maestrichtien et sénonien supérieur,
- La deuxième concerne la nappe libre dans les dépôts du mio-plio-quadernaire,

Suivant une deuxième approximation basée sur l'importance du débit ($Q \geq 3$ dl/s), pendant les hautes eaux a fait ressortir 11 sources, mais l'importance de débit ne représente pas un paramètre absolu de sélection, à cause de sa sensibilité aux variations météoriques.

Une troisième approximation basée sur la stabilité de leur écoulement vis-à-vis des variations climatiques, permettant de déterminer 5 sources pérennes et à débit important (pendant les basses eaux $Q \geq 2,5$ dl/s).

CHAPITRE V
*Aperçue sur les
caractéristiques physico-
chimiques des eaux sous
terraines*

V.1 Introduction

Ce chapitre s'articule particulièrement sur les variations physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine d'Ain Makhoul afin de mettre en évidence ; l'influence de la nature lithologique sur leur composition chimique, et par conséquent la détermination des conditions hydrogéologiques de leur circulation.

Compte tenu des objectifs du travail et des circonstances, nous avons mesuré in situ que les paramètres suivants : La température, le pH, la conductivité électrique et la minéralisation. Suivant une répartition spatiale qui couvre toute la zone d'étude vingt sources ont été objets de ces mesures, la majorité de ces points d'eau sont situés sur les principaux axes routiers et près des agglomérations. Leurs eaux sont donc à un usage quotidien, d'où la nécessité d'un suivi rigoureux de leur composition chimique et leur degré de potabilité ou de pollution.

V.2 Mode de travail

V.2.1 Mesures in situ

Quatre paramètres physico-chimiques [T (°C), pH, conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) et minéralisation] sont mesurés et calculés in situ directement après le prélèvement des échantillons à l'aide d'un Multiparamètre de marque WTW Cond 1971.

V.3 Qualité des eaux souterraines

Il s'agit de 20 échantillons prélevés dans les sources (Mai 2020) (annexe 7).

V.3.1 Répartition spatiale des teneurs

Pour mieux comprendre le chimisme des eaux souterraines et déduire l'origine des différentes composantes physico-chimiques et leur répartition spatiale, nous avons reporté les résultats obtenus sur des cartes d'égale teneurs afin de visualiser les zones de fortes concentrations et d'interpréter les anomalies rencontrées.

V.3.1.1 Paramètres physiques

V.3.1.1.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

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

Le pH des eaux souterraines est généralement compris entre 6,5 et 8,5, Il diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est importante.

L'observation de la carte montre que les valeurs de pH mesurées aux différents points varient entre 6.1-8.5, ce qui attribue aux eaux un caractère proche de la neutralité. Il est à noter que les valeurs minimales sont enregistrées au niveau des sources S37 (6.1), S11 (6.4), les fortes valeurs sont observées dans d'autres sources avec une valeur maximale de 8.5 (S1), qui se localise juste à l'Est du chef-lieu de la commune.

Cette gamme de variation du pH mesurées aux différents points d'eau (entre 6,5 et 8,5) rend ces eaux acceptables pour l'alimentation en eau potable conformément aux normes algériennes, exceptant quelques réserves concernant la consommation des eaux des points : S37 (pH = 6.1), S11 = (pH = 6.4) (Fig.22) qui paraissent relativement acides.

Ces résultats permettent de conclure que les quantités en ions OH^- sont relativement supérieures aux ions H^+ en hautes eaux, suite à la mise en solution des éléments évaporitiques présents dans les formations aquifères (marnes, lentilles argileuses et travertins) d'où la légère augmentation du pH suivant le sens de l'écoulement notamment dans la partie Sud du secteur.

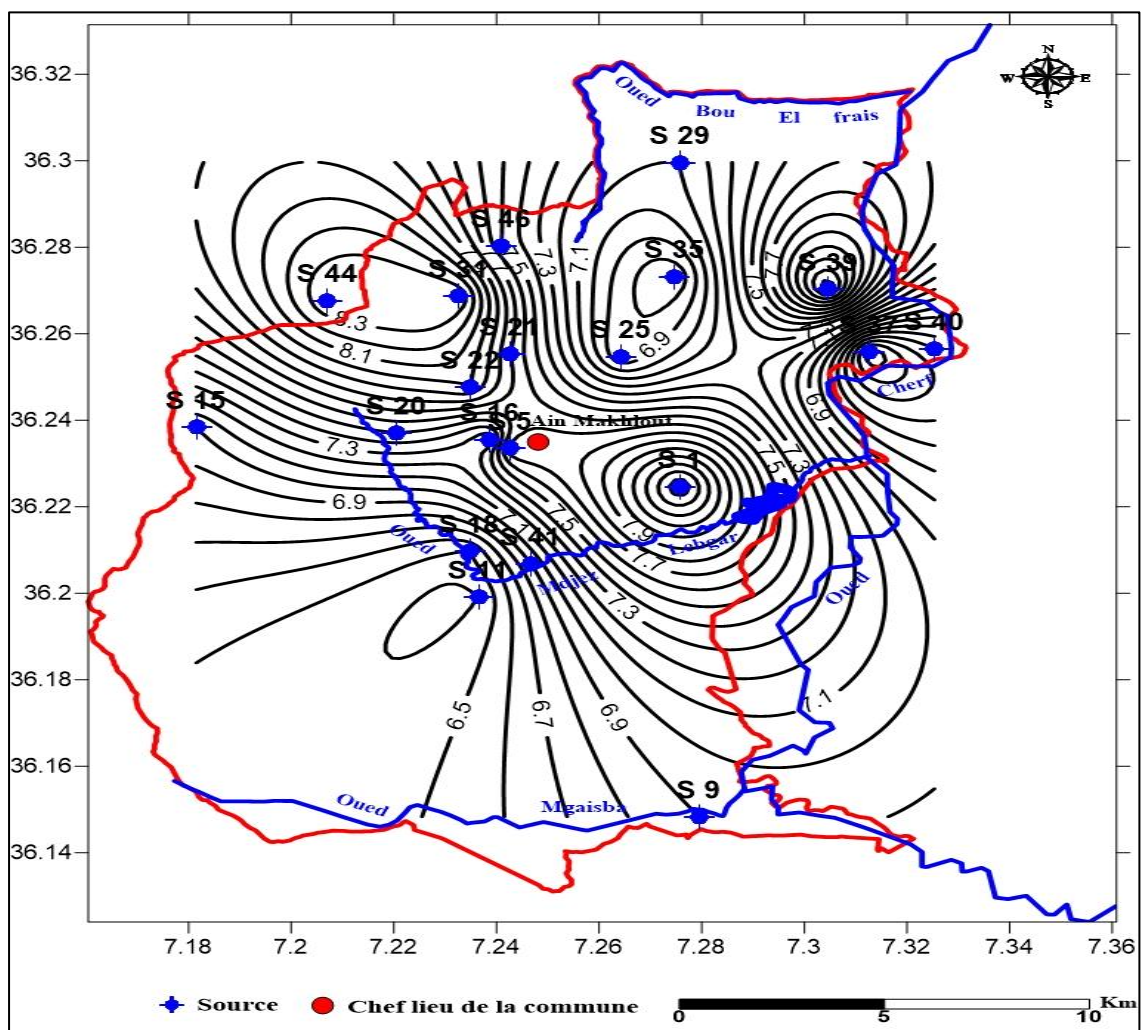


Figure 22: carte de la répartition du PH.

V.3.1.1.2 Conductivité électrique (CE)

Ce paramètre permet de donner une information sur la minéralisation totale de l'eau (sels dissous..).

La Figure 23, montre des déviations considérables entre l'amont et l'aval dans le sens d'écoulement avec un écart de 4760 $\mu\text{s/cm}$ témoigne d'un bon drainage au niveau des formations alluvionnaires.

Cette augmentation serait due à la concentration en sels par évapotranspiration en cette période (Mai 2020) d'une part et, aux lessivages des fertilisants et des formations lithologiques par les eaux de pluie et les écoulements souterrains d'autre part, le sol étant un périmètre à activité agricole intense.

D'une manière générale, la distribution de la conductivité est influencée par deux facteurs : la morphologie et les zones d'alimentation. La première concerne la partie Sud et Sud-Ouest de la plaine, la morphologie par son caractère stagnant favorise l'évaporation et la concentration des éléments chimiques.

Le deuxième facteur concerne la partie Nord et Nord-Ouest correspondant aux grès numidiens de Djebel El Ancel qui constitue une zone d'alimentation favorisant la dilution des eaux souterraines.

D'une manière générale les eaux de ces sources sont admissibles à l'amont et conductrices à l'aval.

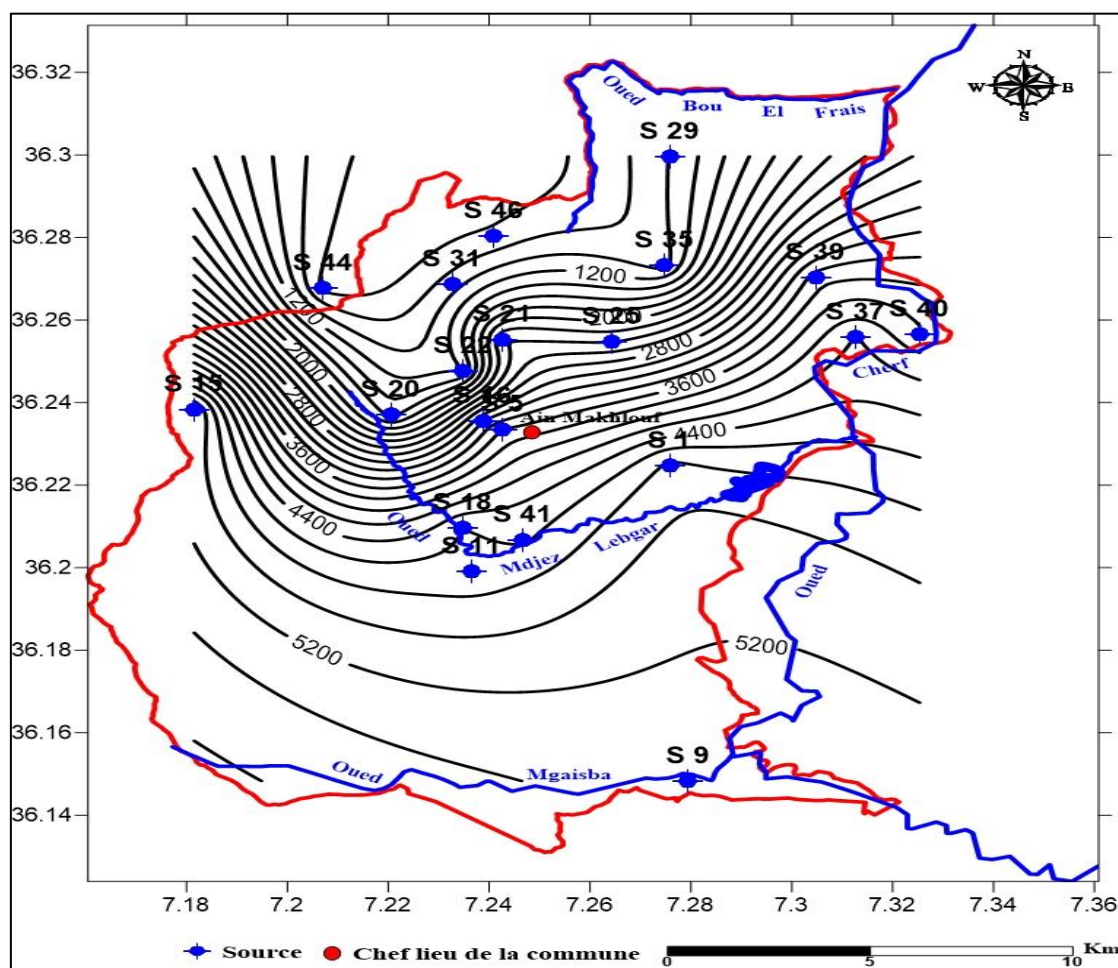


Figure 23: carte d'isoconductivité électrique.

V.3.1.1.3 Minéralisation

La minéralisation globale correspond à la teneur totale en sels dissous dans l'eau. Elle est en relation directe avec la conductivité électrique de la solution. Dans le cas de la zone étudiée, les valeurs de la minéralisation se situent généralement entre 386.64 et 3794.8 mg/l.

Leurs plus fortes valeurs se localisent au Sud-Est de la zone d'étude avec un maximum de 3794.8 mg/l au niveau de la source S9, par ailleurs les faibles teneurs se localisent dans la partie Nord- Ouest de la zone d'étude avec un minimum de 386.64 mg/l au niveau de la source S44 (Fig.24).

Ceci est dû à la combinaison des facteurs ; lithologiques (lessivage des formations), géomorphologiques (caractère stagnant de la plaine), climatologiques (pluviométrie et évapotranspiration), hydrogéologiques (capacité de drainage) et anthropiques (utilisation des fertilisants dans l'agriculture).

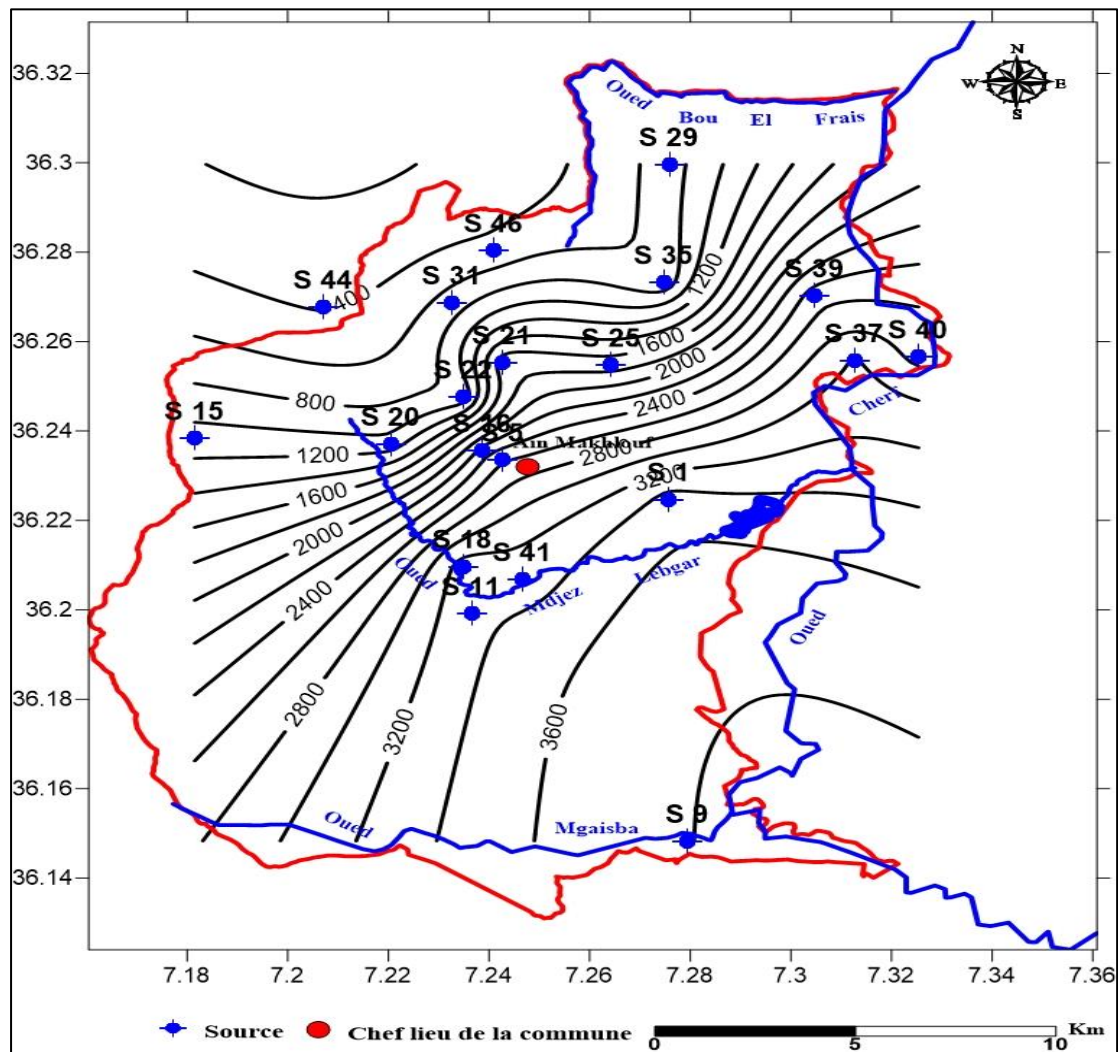


Figure 24: carte d'isominéralisation.

V.3.1.1.4 Température

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz, ainsi que sur la valeur du pH. La connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines, si l'aquifère est très profond, les eaux sont influencées par le gradient géothermique ; cependant, s'ils sont peu profonds, la seule influence possible reste les variations atmosphériques particulièrement le changement saisonnier de la température de l'air.

. Dans cette étude, les températures de l'eau des sources observées varient entre 10 °C à 22 °, ce qui est loin de toute influence hydrothermale.

V.4 Conclusion

En fonction de notre aperçu hydrochimique de la zone d'Ain Makhoul nous a permis de mettre en évidence quelques constatations :

- La température des eaux des sources de la région d'Ain Makhoul oscillent entre 10 °C à 22 °, est loin de toute influence hydrothermale.
- L'augmentation des valeurs de la minéralisation et par conséquent celles de la conductivité électrique dans le sens de l'écoulement est dû à la combinaison des facteurs ; lithologiques (lessivage des formations), géomorphologiques (caractère stagnant de la plaine), climatologiques (pluviométrie et évapotranspiration), hydrogéologiques (capacité de drainage) et anthropiques (utilisation des fertilisants dans l'agriculture).
- Les valeurs de pH sont généralement acceptables.

Selon ces paramètres, les eaux des sources de la région d'Ain Makhoul restent dans les limites des normes de potabilité en exceptant les sources à minéralisation élevée à l'aval (qui restent à vérifier).

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion Générale

Cette étude a été menée dans le but de déterminer le contexte hydrogéologique et l'influence hydroclimatologique sur les flux des eaux des sources de la région d'Ain Makhoulouf (Wilaya de Guelma, Nord-Est de l'Algérie).

La région d'étude appartenant aux hautes plaines constantinoises, correspond à une dépression allongée d'une superficie de 197 km² suivant une direction Sud-Ouest Nord-Est au cœur d'une grande région à activité agricole intense, à travers laquelle s'écoule un réseau hydrographique plus ou moins important constitué de trois principaux cours d'eau avec des possibilités d'exploitation multiples pour les différents usages d'eau.

La zone d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne des Maghrébides en forme d'une cuvette, remplie des formations d'âge mio-plio-quadernaire, s'étend du Sud-Ouest au Nord-Est entre la nappe numidienne au Nord et la Chebka des Sellaouas au Sud, ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions (graviers, limons, travertins), et des formations carbonatées (les calcaires, les calcaires dolomitique), perméables qui offrent par conséquent un intérêt hydrogéologique.

La région est soumise à un climat continental semi-aride caractérisée par deux saisons distinctes, l'une sèche et chaude et l'autre pluvieuse et froide. Les températures moyennes oscillent entre 9.86°C durant le mois de Février et 27.87°C pendant le mois d'Août. Elle reçoit une précipitation moyenne de 484.37 mm dont 46.02 mm sont ruisselés et 13.93 mm infiltrés. Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite, fait ressortir une évapotranspiration réelle de 424,42 mm engendrant un déficit agricole de 482,75 mm.

Du point de vue Hydrogéologique, la zone d'Ain Makhoulouf est d'une composition hétérogène, car on y rencontre une multitude d'horizons, incarnés en trois horizons aquifères communicants entre eux soit directement par les couches perméables ou bien par l'intermédiaire de failles affectant les formations calcaires et qui permettent la circulation d'eau :

- Aquifère à nappe libre dans les dépôts mio-plio-quadernaires.
- Aquifère à nappe karstique dans les formations maestrichtiennes.
- Aquifère à nappe karstique dans les formations des calcaires Jurassiques.

Les principales ressources en eau exploitées dans la région d'étude sont : les puits, les forages, et particulièrement les sources qui sont l'objet de notre étude, elles semblent liées

aux variations climatiques engendrées par les périodes des hautes et des basses eaux. Une classification de ces sources, basées sur la stabilité d'écoulement par rapport aux fluctuations climatiques a été adoptée comme suite :

- Sources karstiques : leur débits sont cependant fluctuants et étroitement liées au climat, et présentent des baisses ou des hausses immédiates suivant les variations météoriques, ceci est due à leur écoulement souterrain libre et rapide à travers les fissures.
- Sources alluvionnaires : Leur lenteur de réponse aux variations météoriques est due au degré de la perméabilité, à l'importance de la réserve ou encore à leur origine profonde.

L'interprétation de la carte piézométrique des hautes eaux montre que la surface piézométrique possède une morphologie non uniforme avec un écoulement de direction générale Nord –Sud et un gradient hydraulique variable, lié à des anomalies locales de l'écoulement (zones de drainage et des zones d'alimentation). Pendant cette période des hautes eaux , les cours d'eau draine fréquemment la nappe .La zone la plus favorable pour l'implantation de captage d'eau caractérisée par un grand débit important et une forte perméabilité se situe juste à l'Est du chef-lieu de la commune d'Ain Makhlouf.

Les paramètres physico-chimiques des eaux de la région d'étude restent généralement optimaux pour l'AEP, exceptant les quelques excès de minéralisation liés aux divers facteurs ; lithologiques (lessivage des formations), géomorphologiques (caractère stagnant de la plaine), climatologiques (pluviométrie et évapotranspiration), hydrogéologiques (capacité de drainage) et anthropiques (utilisation des fertilisants dans l'agriculture).

Recommandations

A l'issue de ce travail nous proposons les recommandations suivantes :

- La valorisation des sources par ; leur aménagement en premier lieu, et leur exploitation rationnel en deuxième lieu.
- Limitation du l'utilisation intensive des engrais chimiques.
- La réalisation d'une étude hydrochimique pour mieux comprendre la variation de la qualité de l'eau.
- l'installation d'une station d'épuration à la sortie de la conduite d'assainissement de la ville d'Ain Makhlouf avant qu'elle se jette dans la mer.
- Une étude géophysique dans la zone peut en lever des ambiguïtés lithostructural.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

- Benmarce K. (2007) :** Caractéristiques Physico-chimiques Et Isotopiques des eaux souterraines Dans La région De Guelma (NE algérien). Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 126 p.
- Bouchet R.J. (1963) :** Evapotranspiration réelle et potentielle. Signification climatique. Tnt. Assoc. Sci. Hydrol, Proc. Berkeley, Calif. Symp..Publ. 62: 134 142.
- Bouillin J.P. (1977) :** Géologie Alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia (Algérie). Thèse Doctorat, science naturelle. Paris (France). Mem.Soc.Géol.fr. p.30.
- Bouillin J.P. ; Durand-Delga M. ; Gélard J.P. ; Leikine M. ; Raoult J.F. ; Raymond D. ; Tefiani M. et Vila, J.M. (1970):** Définition d'un flysch massylien et d'un flysch mauretaniien au sein des flyschs allochtones de l'Algérie. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Série D: Sciences Naturelles, 270(19):2249-2252.
- Boukrouh F. (1999) :** Etude géologique de dépôts évaporitiques du Bassin de Guelma, Mémoire de Magistère. Université de Mentouri de Constantine.
- Bolle H.J. (2003):** Climate, climatevariability and impacts in the Mediterranean area: an overview. Dans: Bolle H.-J. (Ed): MediterraneanClimate – Variability and Trends. Springer Verlag, 5-86.
- Bouznad I. E. (2009) :** Ressources en eau et Essai de la gestion intégrée dans la vallée Sud d'Oued Righ (W. Ouargla) (Sahara septentrional algérien).Mim de magister.
- Bouzidi. F et Guendooze. B (1995) :** Perspectives de développement de la commune d'Ain Makhlouf mémoire d'ingénieur d'état, Université Badji Mokhtar, Annaba. 125 p.
- Chibani S. (2009) :** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de surface et souterraine de la région de Ain Makhlouf (Wilaya de Guelma). Mémoire de Magister. Université de Guelma. 146 p.
- D.H.W.G (1987) :** Retenue collinaire sur l'Oued Mdjez El B 'gare (Ain Makhlouf). Phase : étude géologique et géotechnique, Hydro-projet Est.17 p.
- Djorfi S. et Djidel (1993) :** Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Tamloka. Mim d'ingénieur d'état. Univ. Annaba.160 p.
- Chouabbi A. (1987) :** Etude géologique de la région de Hammam N'bails Sud Est de Guelma-Constantine, Algérie, un secteur des Maghrébides, th. Univ. Toulouse. 35-49.
- Debiche T. H. (2002) :** Evolution de la qualité des eaux (salinité et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle .Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord – Est Algérien. Thèse de doctorat, Université de Franche Comte. 235 p.
- De Martonne E. (1923) :** Aréisme et indice d'aridité .Compte rendus de l'académie des sciences, Paris.
- Drouiche A. (2014) :** Impact de la remontée des eaux sur la qualité des eaux de la nappe phréatique et sur l'environnement dans la Vallée du Souf sud-est algérien, Thèse de Doctorat, Univ. Annaba. 201 p.

Références bibliographiques

- Durand Delga M. (1969) :** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131. Alger
- Durand-Delga M. Fontboté J.M. (1980) :** Le cadre structural de la Méditerranée occidentale. Mém. Bur. Rech. Géol. Manière T.2, N° 115, Paris.
- Lahondère J.C. (1987) :** Les séries ultra telliennes d'Algérie nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Th. Doct. Es sciences. Université Paul Sabatier, Toulouse. 1- 242. »
- Louamri A. (2013) :** Le bassin-versant de la Seybouse (Algérie orientale): hydrologie et aménagement des eaux. Thèse de doctorat, Université. Constantine. Algérie. 300p.
- .Mouchara N. (2009) :** Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur laqualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est Algérien).Mémoire de Magistère, Université d'Annaba.
- Peybernes B. ; Chouabbi A. et Vila J.M. (2002) :** Reconstitution du substratum jurassique-crétacé basal du domaine des Sellaoua (marge sud-téthysienne, Algérie nord-orientale) à partir des galets du bassin mio-pliocène d'Hamman N'Baïls. Comptes Rendus Palevol, 1(8) (2002) 681-688.
- Thomas M.F.H. ; Bodin S. ; Redfern J. et Irving D.H.B. (2010):** A constrained African craton source for the Cenozoic Numidian Flysch: Implications for the palaeogeography of the western Mediterranean basin. Earth-Science Reviews 101, 1–23.
- Vila J. M. (1980) :** La Chaîne Alpine d'Algérie Orientale Et Des Confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat. Paris. 665 p.
- Zeddouri A. (2003) :** Contribution à L'étude Hydrogéologique Et Hydro-chimique De La Plaine Alluviale De Guelma (Essai De Modélisation), Guelma, NE Algérien. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba. 107 p
- Wezel F.C. (1970):** Numidian Flysch — an Oligocene – Early Miocene continental rise deposit off African platform. Nature 228 (5268), 275–276.
- Wildi W. (1983) :** La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique, vol.24/3,p.201-297.

Annexe

Annexe 1 : Précipitations moyenne mensuelle de la station d'Ain Makhlouf (1985-2020).

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

Annexe 2 : Températures moyenne mensuelle de la station d'Ain Makhlouf (1985-2020).

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

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

Année hydrologique	Pluie annuelle (mm)	CP station Ain Makhlouf	Observation
1985/1986	719.5	1.48	AE
1986/1987	391.5	0.80	AD
1987/1988	431.5	0.88	AD
1988/1989	447.8	0.92	AD
1989/1990	663.7	1.36	AE
1990/1991	627	1.29	AE
1991/1992	670.7	1.38	AE
1992/1993	389	0.80	AD
1993/1994	500.4	1.03	AE
1994/1995	270.1	0.55	AD
1995/1996	112.3	0.23	AD
1996/1997	534.8	1.10	AE
1997/1998	1163	2.39	AE
1998/1999	587.3	1.20	AE

1999/2000	359.9	0.74	AD
2000/2001	222.5	0.45	AD
2001/2002	502	1.03	AE
2002/2003	562	1.15	AE
2003/2004	502.1	1.03	AE
2004/2005	456.8	0.94	AD
2005/2006	488.9	1.00	AE
2006/2007	414.5	0.85	AD
2007/2008	631.1	1.29	AE
2008/2009	490.8	1.01	AE
2009/2010	824.6	1.69	AE
2010/2011	635.4	1.30	AE
2011/2012	458.05	0.94	AD
2012/2013	227	0.46	AD
2013/2014	444	0.91	AD
2014/2015	429.5	0.88	AD
2015/2016	314	0.64	AD
2016/2017	226.5	0.46	AD
2017/2018	427	0.87	AD
2018/2019	449	0.92	AD
2019/2020	418.5	0.86	AD

Annexe 4 : Inventaire des forages dans la région d'Ain Makhlouf.

N° des forages	Nom du propriétaire	X (DMS) Est	Y (DMS) Nord	Z (m)	PS (m)	NS (m)
F1	Boukarboua	7° 14' 39,81''	36° 10' 41,85''	804	15.60	788.4
F2	Haidoussi	7° 16' 28,14''	36° 13' 34,73''	719	18.10	740.60
F3	Guendouz	7° 17' 37,04''	36° 14' 33,55''	711	20.00	700.9
F4	Maarouf	7° 15' 28,13''	36° 14' 38,06''	799	23.10	775.9

PS : profondeur de la surface de l'eau, NS : niveau statique, DMS : degré, minute, seconde.

Annexe 5 : Inventaire des puits dans la région d'Ain Makhlouf (Mai 2020).

N° des puits	Nom du propriétaire	X (DMS) Est	Y (DMS) Nord	Z (m)	PS (m)	NS (m)
P1	Djarboua El Oulmi	7° 15' 39,72''	36° 11' 57,47''	816	05.60	810.4
P2	Bouberdaa El Oulmi	7° 16' 31,92''	36° 11' 57,17''	826	08.10	817.9
P3	Harouel faicel	7° 15' 57,78''	36° 10' 56,21''	804	01.00	803
P4	Saad Ellah Echabbi	7° 13' 59,30''	36° 12' 06,55''	782	06.10	775.9
P5	Bouragba Kamel	7° 13' 45,93''	36° 12' 03,97''	789	08,70	780.3
P6	Kara Abd El Hamid	7° 12' 42,07''	36° 11' 01,69''	781	06.50	774.5
P7	Batta Messaoud	7° 12' 29,34''	36° 10' 53,49''	768	02.30	765.7
P8	Ferrague Noureddine	7° 14' 37,73''	36° 14' 33,20''	872	08.60	763.4
P9	BouhalaAbdEllah	7° 14' 02,08''	36° 14' 37,81''	909	01.50	899.5
P10	Choufa Soulaïmene	7° 14' 55,69''	36° 13' 03,39''	809	03.00	806
P11	Zarzara	7° 15' 11,40''	36° 14' 49,54''	822	2.50	819.5
P12	Tounssi	7° 15' 34,04''	36° 15' 37,39''	894	5.00	889
P13	Laamour	7° 16' 25,70''	36° 14' 24,79''	766	0.50	765.5
P14	Djaadour Belkhir	7° 14' 20,54''	36° 14' 13,49''	854	02.20	851.8
P15	Khabbati Moussa	7° 17' 44,69''	36° 16' 57,37''	733	03.00	730
P16	M'rad zouhir	7° 16' 28,97''	36° 13' 31,28''	720	00.50	719.5
P17	Talhaoui Allaoua	7° 14' 02,56''	36° 13' 12,90''	835	02.50	832.5
P18	Beskri M ^{ed} Larbi	7° 15' 01,87''	36° 12' 55,91''	804	04.20	799.8
P19	Ben chettah AbdElbaki	7° 13' 03,46''	36° 13' 08,8''	808	01.00	807
P20	Tadjine Laabidi	7° 17' 49,84''	36° 14' 36,58''	681	06.40	674.6

PS : profondeur de la surface de l'eau, NS : niveau statique, DMS : degré, minute, seconde.

Annexe 6 : Inventaire des différentes sources de la région d'Ain Makhlouf

Origine de l'émergence (nappe)	N° de la Source	Nom de la Source	Coordonnées Est (Longitude) <small>(Degré minute seconde)</small>	Coordonnées Nord (Latitude) <small>(Degré minute seconde)</small>	Altitude en (m)	Débit hautes eaux (Mai 2020) dl/s	Débit basses eaux (Août 2020) dl/s	Aménagement	Usage
Karstique	S 1	Ain Bir M'rad	7° 16 32,94	36° 13 29,05	715	3	1	Oui	AEP
	S 2	Ain Hadda	7° 15 39,80	36 12 36,36	737	2	0.75	Non	AEP+ irr
	S 3	Ain Messaoud	7° 14 57,10	36 13 23,69	825	1.5	0.5	Non	AEP+ irr
	S 4	Ain Guettara	7° 14 32,15	36 13 45,00	851	2	0.75	Non	AEP
	S 5	Ain Essagni	7° 14 33,78	36°14 00,81	828	4	1.5	Oui	AEP
	S 6	BirLaâmour	7° 16 26,09	36 14 24,21	766	3	1	Non	AEP+ irr
alluvionnaire	S 7	Ain El Guitounia	7° 15 35,95	36° 12 08,56	802	2	1.4	Oui	AEP
	S 8	Ain Ben M'hani 1	7° 16 45,00	36° 09 16,52	688	2.5	2	Oui	AEP
	S 9	Ain Ben M'hani 2	7° 16 46,12	36° 08 53,92	673	2	1.3	Non	AEP+ irr
	S 10	Ain Ben Aziez	7° 15 58,00	36° 10 56,00	805	3	2	Oui	AEP
	S 11	Ain Ben Arâare	7° 14 1153	36° 11 56,97	777	3	2.2	Oui	AEP
	S 12	Ain Echetatha	7° 12 48,49	36° 12 40,14	821	2	1.5	Oui	AEP
	S 13	Ain Beldjoudi	7° 12 01,61	36° 14 06,90	861	1.5	1	Non	AEP+ irr
	S 14	Ain El Bilad 1	7° 10 58,68	36°13 38,34	838	1.5	1.2	Oui	AEP
	S 15	Ain El Bilad 2	7° 10 53,46	36°14 18,31	866	1.3	1	Oui	AEP
	S 16	Ain Tafira	7° 14 19,48	36°14 08,24	850	1.2	0.8	Oui	AEP
	S 17	Ain Erriche	7° 14 21,43	36°14 14,17	854	2	1.3	Non	AEP+ irr
	S 18	Ain Bouthaldja	7° 14 05,22	36°12 35,11	779	4	3	Non	AEP+ irr
	S 19	Ain El Haouche	7° 14 03,80	36°14 48,13	921	3	2	Oui	AEP
	S 20	Ain Lahmaza	7° 13 13,86	36°14 13,69	854	1.5	1	Non	AEP+ irr
	S 21	Ain Err'mel	7° 14 33,55	36°15 19,29	901	2.5	2	Non	/
	S 22	Ain Echikh	7° 14 05,76	36°14 51,75	924	2.8	2	Oui	AEP
	S 23	Ain Elkabaili	7° 14 50,95	36°14 59,33	851	2	1.6	Non	AEP

	S 24	Ain Zarzara	7° 15 24,63	36°15 03,44	841	2	1.7	Oui	AEP
	S 25	Ain Settour	7° 15 51,60	36°15 17,30	845	4	3	Oui	AEP
	S 26	Ain Legrazza	7° 16 51,74	36°14 42,65	744	2.5	2	Oui	AEP
	S 27	Ain Bordj Gra 1	7° 15 27,73	36°15 54,88	871	1.3	1	Non	/
	S 28	Ain Bordj Gra 2	7° 15 30,31	36°16 12,32	843	1.5	1	Non	/
	S 29	Ain Ben Talha	7° 16 32,99	36°17 58,71	794	3	2.8	Oui	AEP
	S 30	Ain El Baida	7° 15 19,90	36°16 41,60	794	2.5	2	Non	/
	S 31	Ain B'ladMeziène	7° 13 57,64	36°16 07,47	936	3	2.6	Oui	AEP
	S 32	Ain Ben Rabeh	7° 16 42,64	36°16 55,06	884	2	0.5	Oui	AEP+ irr
	S 33	Ain Onceli	7° 17 26,75	36°17 00,23	787	2.3	1.5	Non	AEP+ irr
	S 34	Ain Kerdoussi 1	7° 16 25,07	36°16 19,75	901	0.9	0.5	Oui	AEP
	S 35	Ain Kerdoussi 2	7° 16 29,21	36°16 23,82	892	1.8	1	Non	/
	S 36	Ain El ôuzla	7° 16 46,02	36°16 25,77	841	2	0.8	Oui	AEP
	S 37	Ain Essafra	7° 18 45,66	36°15 21,06	593	0.8	0.4	Non	/
	S 38	Ain Kadri	7° 17 22,10	36°16 03,28	749	1.2	0.8	Non	/
	S 39	Ain H'moummou	7° 18 17,01	36°16 13,14	664	2	1	Non	AEP
	S 40	Ain Adjoul	7° 19 31,22	36°15 23,80	636	0.6	0.3	Non	/
	S 41	Ain Errabiâ	7° 14 48,16	36°12 24,60	756	3	2.6	Oui	AEP
	S 42	Ain Ben Mihoub	7° 16 39,54	36°15 31,60	795	1.5	1.2	Non	AEP+ irr
Piément de Djebel El Ancel	S 43	Ain âgueb	7° 13 25,87	36°15 02,73	900	1.5	0.8	Non	/
	S 44	Ain El Baâli	7° 12 25,61	36°16 03,94	1008	0.8	0.4	Non	AEP
	S 45	Ain Messikh	7° 13 18,73	36°16 25,47	1025	0.5	0.3	Oui	AEP
	S 46	Ain Kebbassi	7° 14 27,47	36°16 49,49	906	1.5	1	Oui	AEP

AEP : Alimentation en eau potable, **Irr** : Irrigation, **dl** : décilitre.

Annexe 7 : Paramètres physico- chimiques des sources (Mai 2020).

Origine de l'émergence (nappe)	N° de la Source	Nom de la Source	Coordonnées Est (Longitude) <small>(Degré minute seconde)</small>	Coordonnées Nord (Latitude) <small>(Degré minute seconde)</small>	C.E <small>(µs/cm)</small>	Minéralisation <small>(mg/l) (M=0,716CE)</small>	T <small>(°C)</small>	pH
Karstique	S 1	Ain Bir M'rad	7° 16 32,94	36° 13 29,05	4855	3476,18	18.5	8,5
	S 5	Ain Essagni	7° 14 33,78	36°14 00,81	3600	2577,6	17.3	7,8
Alluvionnaire	S 9	Ain Ben M'hani 2	7° 16 46,12	36° 08 53,92	5300	3794,8	14.5	6,9
	S 11	Ain Ben Arâare	7° 14 1153	36° 11 56,97	4655	3332,98	17	6,4
	S 15	Ain El Bilad 2	7° 10 53,46	36°14 18,31	5222	1089,752	15	7
	S 16	Ain Tafira	7° 14 19,48	36°14 08,24	3200	2291,2	13.5	7,2
	S 18	Ain Bouthaldja	7° 14 05,22	36°12 35,11	4600	3293,6	12.1	6,5
	S 20	Ain Lahmaza	7° 13 13,86	36°14 13,69	1514	1084,024	15.4	7,5
	S 21	Ain Err'mel	7° 14 33,55	36°15 19,29	2400	1718,4	20	7,7
	S 22	Ain Echikh	7° 14 05,76	36°14 51,75	1200	859,2	14.2	8
	S 25	Ain Settour	7° 15 51,60	36°15 17,30	2380	1704,08	10.3	6,8
	S 29	Ain Ben Talha	7° 16 32,99	36°17 58,71	1010	723,16	14.6	7,1
	S 31	Ain B'ladMeziène	7° 13 57,64	36°16 07,47	788	564,21	12	8,4
	S 35	Ain Kerdoussi 2	7° 16 29,21	36°16 23,82	918	657,288	13.4	6,7
	S 37	Ain Essafra	7° 18 45,66	36°15 21,06	4210	3014,36	14.1	6,1
	S 39	Ain H'moummou	7° 18 17,01	36°16 13,14	3500	2506	10	8,4
	S 40	Ain Adjoul	7° 19 31,22	36°15 23,80	3820	2735,12	22	6,5
S 41	Ain Errabiâ	7° 14 48,16	36°12 24,60	4570	3272,12	19.5	6,9	
Djebel El Ancel	S 44	Ain El Baâli	7° 12 25,61	3616 03,94	540	386,64	10	8,4
	S 46	Ain Kebbassi	7° 14 27,47	36°16 49,49	653	467,548	12	7,5