

Centre Universitaire BOUSSOUF Abdelhafid -Mila

Institut des Sciences et Technologie

Département de Génie Mécanique et Électromécanique



N° Ref :.....

**Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
de MASTER**

Spécialité : Hydraulique Urbaine

**Hydrogéologi et caractérisation hydrochimique des eaux souterraines
de l'aquifère superficile de la plaine de bled EL Merdja- EL Hassi
wilaya de Batna , Est Algérien**

Réalisé par :

- Benachour Ikram

Soutenu devant le jury :

Dr. Koussa Miloud

Dr. Allia Zineb

Dr. Belalite Halima

Président

Examinatrice

Promotrice

Année universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

**Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers, A ma chère mère*

LOUISA** , A mon cher père **IBRAHIM

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération
pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et
j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos
innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue
vie.*

*A mes chers frères **ISHAK** , **YOUSSEF** , **NASRO**,**IMAD***

*A mes chères sœurs **CHOUROUK**, **AIDA***

*Qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que
Dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.*

*À ma chère amie **DOUMA ABIR***

qui m'a aidée et soutenue dans les moments difficiles.

*À mes chères amies **Manal** et **Aya** et **LINA***

IKRAM BENACHOUR

REMERCIEMENT

Avant de présenter mon projet de fin d'études, je souhaite exprimer ma gratitude envers Allah en disant "Al hamdou li Allah", qui m'a accordé la force, la volonté et le courage nécessaires pour

mener ce travail à terme et atteindre cette étape.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mme.

BELALITE. H

, pour son encadrement attentif et ses précieux conseils qui m'ont guidé tout au long de mon projet.

Je souhaite également adresser ma gratitude aux Membres du jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.

En conclusion, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers tous ceux qui, de près ou de loin, ont participé à l'élaboration de ce mémoire. Chacune de leurs contributions a été précieuse dans la réalisation de ce travail.

Merci

Liste des abréviations

AEP : Alimentation En Eau Potable

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrique

C : Degré Celsius

Ca : Calcium

C.E : Conductivité Electrique

C.G.G: Compagne Générale de Géophysique

Cl : Chlorure

Da : Déficit Agricole

ETP : Évapotranspiration Potentielle

ETPc : Évapotranspiration Potentielle Corrigée

ETR : Évapotranspiration Réelle

Ex : Excédent F : Faille

°F: Degree Français.

F.A.O: Food and Agriculture Organization

HCO₃: Bicarbonates

I : Infiltration Efficace Moyenne Annuelle

Kc : Coefficient d'Evapotranspiration d'une Culture

K : Potassium

Mg: Magnésium

mg/l : Milligramme par litre.

Na: Sodium

NO₃: Nitrates ohm.m: Ohm mètre

P : Précipitation

PH : Potentiel d'Hydrogène.

R : Ruissellement

RFU : Réserve Facilement Utilisable

S.E.V : Sondages Electriques Verticales

T : Température

Table des matières

Dédicace	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction générale	1
Chapitre I Généralités	
Introduction.....	4
I.1. Etude physico-géographiques de la zone d'étude.....	4
I.1. Situation géographique	4
I.1.1. Géomorphologie	6
I.1.1.1. Climat	6
I.1.1.2. Les Montagnes	6
I.1.2. Le Réseau Hydraulique:	7
I.1.3. Carte hypsométrique	8
I.1.4. Carte pentes	9
I.1.5. Caractères Physiques	10
I.1.5.1. Indice de compacité de Gravelius	10
I.1.6. Rectangle équivalent	11
I.1.6.1. Longueur du rectangle	11
I.1.6.2. Largeur équivalent.....	12
Chapitre II Cadre Géologique	
Introduction.....	14
II.1. Géologie régionale	14
II.1.1. Domaine interne	15
II.1.2. Domaine médium (sillon des flysches).....	15
II.1.3. Domaine externe.....	16
II.2. Géologie locale	17
II.2.1. Formations du Quaternaire.....	18
II.2.2. Formations du Tertiaire a.Mio-pliocène mp	19
II.2.3. Formations du Secondaire.....	19

II.2.4. Trias exotique a.Trias T	20
II.3. Tectonique et paléogéographie II.3.1.Evolution paléogéographique	20
II.3.1. Tectonique.....	21
II.4. Analyse structurale.....	21

Chapitre III Cadre Géophysique

Introduction.....	24
III.1. Principe de la prospection électrique	24
III.1.1. Polarisation spontanée	24
III.1.2. Méthode électrique des résistivités	24
III.1.3. Le profil de résistivité ou traînée électrique	24
III.2. Campagne de prospection électrique	25
III.2.1. Echelle de résistivité.....	26
III.3. Cartes des résistivités.....	27
III.3.1. Carte de résistivité en ligne AB =100 m	27
III.3.2. Carte de résistivité en ligne AB=1000 m.....	28
III.3.3. .Les Coupes géo-électriques	29
III.3.4. Carte du substratum.....	32

Chapitre IV Cadre Climatique

Introduction.....	36
IV.1. Caractéristiques de station météorologique	36
IV.2. Etude des paramètres climatiques	36
IV.2.1. Les précipitations :	36
IV.2.1.1. Variations mensuelles des précipitations	36
IV.2.1.2. Variation saisonnières des précipitations	38
IV.2.2. Température :	38
IV.2.2.1. Variation moyenne mensuelle de la température	39
IV.3. Diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN et BAGNONLS.....	40
IV.4. Les indices climatiques IV.4.1Indice d'aridité de Martonne :	41
IV.4.1. Diagramme d'EMBERGER	42
IV.4.2. Le quotient pluviométrique annuel de Morat	44
IV.5. Le Bilan hydrique	45
IV.5.1. Evapotranspiration :	45
IV.5.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :	45
IV.5.1.2. Evapotranspiration réelle ETR :	47

IV.5.1.2.1. . Méthode de Coutagne :	47
IV.5.1.2.2. Méthode de Turc :	48
IV.5.1.2.3. Méthode de Verdeil	48
IV.5.2. Calcul de l'ETR d'après le bilan hydrologique de THORNTHWAITE :	49
IV.6. Calcul du ruissellement (R) et l'infiltration (I) :	51
IV.7. L'infiltration :	51

Chapitre V Cadre Hydrogéologique

Introduction.....	54
V.1. Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire.....	54
V.1.1. Description de la formation aquifère	54
V.1.2. Alimentation	54
V.1.3. Exutoire.....	54
V.2. Etude piézométrique	55
V.2.1. La carte inventaires	55
V.2.2. Piézométrie	55
V.2.3. Interprétation le carte.....	56
V.2.4. Conditions aux limites	57

Chapitre VI Hydrochimie

Introduction.....	60
VI.1. Méthodes et stratégie de travail.....	60
VI.1.1. Prélèvement	60
VI.2. Analyse des éléments chimiques	60
VI.2.1. Les apports anthropiques en polluant :	61
VI.2.1.1. Les rejet des eaux usées	61
VI.2.1.2. L'agriculture	61
VI.2.2. Le facteur de contamination	62
VI.2.2.1. Les formations évaporitiques	62
VI.2.2.2. La variation des conditions d'oxydoréduction:.....	62
VI.3. Résulta des analyses	62
VI.3.1-	62
VI.3.1.1. Température	62
VI.3.1.2. Conductivité électrique	63
VI.3.1.3. Le pontentiel hydrogène (pH)	64
VI.3.1.4. La salinité	65

VI.3.1.5.	66
VI.3.1.6-.....	67
VI.3.2. Etude analytique des paramètres chimiques	68
VI.3.2.1. Les cations.....	68
VI.3.2.1.1. Le Calcium (Ca^{2+}).....	68
VI.3.2.1.2. Le Magnésium (Mg^{2+}):.....	69
VI.3.2.1.3. Le Sodium (Na^{+}) :.....	70
VI.3.2.1.4. Le potassium (K^{+}).....	71
VI.3.2.2. Les anions.....	72
VI.3.2.2.1. Les Chlorures (Cl^{-}).....	72
VI.3.2.2.2. Les Sulfates (SO_4^{2-}):	73
VI.3.2.2.3. Les bicarbonates (HCO_3^{-})	74
VI.3.2.2.4. Les Nitrates (NO_3^{-})	75
VI.4. Etude Hydrochimique des eaux.....	76
VI.4.1. Diagramme de Piper:.....	76
VI.4.2. Diagramme de Schoeller ou Berkloff :	77
VI.4.3. Diagramme de Stabler	79
VI.5. Aptitude de l'eau à l'irrigation	80
VI.5.1. S.A. R	81
VI.5.2. Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX) Diagramme de Wilcox.	83
Conclusion générale	86
Références bibliographiques	90

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les coordonnées géographiques de bled el Merdja ELHassi.....	6
Tableau 2 : les montagnes de la plaine de bled el Merdja EL Hassi	7
Tableau 3 : calcul les paramètres géométriques des sous bassins de la plaine de « bled el Merdja El Hassi »	12
Tableau 4 : Echelle des résistivités.	26
Tableau 5 : Coordonnées de station météorologique d'Ain Skhouna	36
Tableau 6 : Précipitations moyennes Mensuelles en mm (station Ain Skhouna) (1995-2023)	37
Tableau 7 : répartition saisonnière des précipitations, (Station Ain Skhouna).	38
Tableau 8 : Températures moyennes mensuelles (Station Ain Skhouna).....	39
Tableau 9 : Températures et précipitations moyennes mensuelles.....	40
Tableau 10 : Indice d'aridité de DEMARTONNE	41
Tableau 11 : Indices d'aridité de Moral	45
Tableau 12 : Résultats de l'ETP corrigé selon Thornthwaite aux stations Ain Skhouna (1995-2023).....	47
Tableau 13 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Coutagne.....	48
Tableau 14 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc	48
Tableau 15 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Verdeil.....	49
Tableau 16 : Le bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station Ain Skhouna (1995-2023).	50
Tableau 17 : Résultats du ruissellement par la formule de « Tixeront-Berkaloff » pour la station d'Ain Bouchekif (1995-2023).....	51
Tableau 18 : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique de la station Ain Skhouna (1995-2023).	52
Tableau 19 : Les variations de la Température °C	63
Tableau 20 : les variations de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	64
Tableau 21 : Les variations de pH	65
Tableau 22 : Les variations de la salinité (%).	66
Tableau 23 : Les variations de l'oxygène dissous	67
Tableau 24 : Les variations de TDS.....	68
Tableau 25 : Les variations du calcium.....	69
Tableau 26 : Les variations du Magnésium.....	69

Tableau 27 : les variations de Sodium.	70
Tableau 28 : les variations du Potassium.	72
Tableau 29 : Les variations de chlorure Cl^-	73
Tableau 30 : Les variations de Sulfate.	74
Tableau 31 : Les variations des Bicarbonates.	75
Tableau 32 : les variations des nitrates.	76
Tableau 33 : Classification de WILCOX	82
Tableau 34 : Normes Algériennes de potabilité	83

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique du bassin versant des hauts plateaux constantinois.....	4
Figure 2 : Carte de situation de la zone d'étude de « bled el merdja El Hassi».....	5
Figure 3 : Carte de réseau hydrographique de la plaine de « bled el Merdja El Hassi »	8
Figure 4 : carte hypsométrique de la zone d'étude« bled el Merdja El Hassi »	9
Figure 5 : carte pentes de la zone d'étude« bled el Merdja El Hassi »	10
Figure 6 : Esquisse structurale du Nord-Est Algérien (w. Wildi, 1983).....	15
Figure 7 : Carte géologique de la zone d'étude« bled el Merdja El Hassi »	18
Figure 8 : Coupes Interprétatives au/ 1/50000« bled el Merdja El Hassi »	20
Figure 9 : Schéma structural simplifié« bled el Merdja El Hassi »	22
Figure 10 : Carte de position des sondages électriques de la zone d'étude	26
Figure 11 : Carte des résistivités en ligne AB = 100 m de la zone d'étude« bled el Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).....	28
Figure 12 : Carte des résistivités en ligne AB = 1000 m de la zone d'étude« bled el Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).....	29
Figure 13 : profil (A)(redessiné par Auteurs 2025).	30
Figure 14 : Profil (B)(redessiné par Auteurs 2025).	30
Figure 15 : Profil(C)(redessiné par Auteurs 2025).	31
Figure 16 : Profil (D)(redessiné par Auteurs 2025).....	31
Figure 17 : Profil (E)(redessiné par Auteurs 2025).	32
Figure 18 : Carte du substratum de la zone d'étude « bled el Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).....	33
Figure 19 : Variation des précipitations moyenne mensuelle, Station Ain Skhouna. (1995-2023).	37
Figure 20 : précipitations inter-saisonnières de la période 1995-2023 observée dans laStation d'Ain Skhouna	38
Figure 21 : Variation des Températures moyenne mensuelle, Station Ain.....	39
Figure 22 : Diagramme pluviométrique de GAUSSEN et BAGNOULS.	40
Figure 23 : Abaque de l'Indice climatique de DE MARTONNE 1923.....	42
Figure 24 : Climato-gramme d'EMBERGER.	44
Figure 25 : Abaque de Verdeil	49
Figure 26 : Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine Bled-El-Merdja EL Hassi	55
Figure 27 : Carte piézométrique de la plaine de Bled Merdja EL Hassi	57

Figure 28 : Carte des conditions aux limites de la plaine Bled Merdja EL Hassi	57
Figure 29 : Carte d'inventaire des analyses physico-chimiques et biologiques	61
Figure 30 : Iso-valeur de la température (°C) de la plaine de	63
Figure 31 : Iso-valeur de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la plaine	64
Figure 32 : Iso-valeur de pH de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi » (redessiné par Auteurs 2025).	65
Figure 33 : Iso-valeurs de la salinité de la plaine	66
Figure 34 : Iso-teneur de l'oxygène dissous de la plaine	67
Figure 35 : Iso-valeurs de TDS (mg/l) de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi » (redessiné par Auteurs 2025).	68
Figure 36 : Iso-teneur de Magnésium de la plaine	70
Figure 37 : Iso-teneur de Sodium (Na^+) de la plaine	71
Figure 38 : Iso-teneur de potassium de la plaine	72
Figure 39 : Iso-teneur de Chlorure de la plaine de	73
Figure 40 : Iso-teneur Sulfate de la plaine de	74
Figure 41 : Iso-teneur de nitrate de la plaine de	75
Figure 42 : Diagramme de Piper pour l'échantillon de	77
Figure 43 : Diagramme de Schoeller Berkloff pour l'échantillon de « Bled EL Merdja El Hassi »	78
Figure 44 : Diagramme de Stabler pour l'échantillon de « Bled EL Merdja El Hassi »	80
Figure 45 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR)	81
Figure 46 : Diagramme de Wilcox log	83

Résumé

L'eau est une ressource rare, précieuse et indispensable. Elle constitue un moteur essentiel du développement industriel, touristique, agricole, urbain et rural. Autrefois, le principal enjeu était quantitatif : l'insuffisance des ressources en eau a été partiellement résolue par la mobilisation des eaux de surface, des eaux souterraines, ainsi que des eaux non conventionnelles. Aujourd'hui, le problème est davantage qualitatif. La qualité de l'eau se détériore en raison de l'augmentation des rejets urbains et industriels. À cela s'ajoutent les effets du changement climatique, notamment les sécheresses prolongées, qui aggravent encore cette dégradation.

Bled-El-Merdja El Hassi est une région située dans la partie nord de la wilaya de Batna, faisant partie du bassin versant des Hauts Plateaux Constantinois. Elle se caractérise par deux unités géographiques principales : une plaine et une zone montagneuse. Soumise à un climat semi-aride, cette région fait l'objet d'une évaluation quantitative et qualitative de ses ressources en eaux souterraines. Notre étude, basée sur un

levé piézométrique et une analyse hydrochimique, vise à déterminer l'état de la ressource en eau, tant sur le plan de la quantité que de la qualité. L'objectif est d'optimiser son utilisation et d'en assurer une gestion durable dans le temps, dans une perspective de développement durable.

Notre étude repose sur une synthèse des données géologiques, géophysiques et climatiques, qui met en évidence l'existence d'une nappe superficielle contenue dans les formations de remplissage du Mio-Plio-Quaternaire. Cette nappe est alimentée à la fois par les précipitations et par les apports issus des massifs carbonatés environnants.

Mots clés : Aquifère, Hydrochimie, Hydrogéologie, Nappe, Piézométrie, Plaine de Bled el Merdja El Hhassi

الملخص

الماء مورد نادر، ثمين ولا غنى عنه. إنه يشكل محرّكًا أساسيًا للتنمية الصناعية، والسياحية، والزراعية، والحضرية والريفية. في السابق، كانت الإشكالية الرئيسية كميّة: إذ إنّ عدم كفاية الموارد المائية قد تمّ حلّها جزئيًا من خلال تعبئة مياه السطح، والمياه الجوفية، وكذلك المياه غير التقليدية. أمّا اليوم، فالمشكلة أصبحت بالأحرى نوعيّة. ف جودة المياه تتدهور بسبب ازدياد النفايات الحضرية والصناعية. ويُضاف إلى ذلك آثار التغير المناخي، لا سيما موجات الجفاف الطويلة، التي تُفاقم هذا التدهور أكثر فأكثر.

بلد المرجى الحاسي هي منطقة تقع في الجزء الشمالي من ولاية باتنة، وهي جزء من الحوض الهيدروغرافي للهضاب العليا القسنطينية. تتميّز بوحدين جغرافيين رئيسيين: سهل ومنطقة جبلية.

وتخضع لمناخ شبه جاف، وتُجرى عليها دراسة تقييمية كميّة ونوعية لمواردها من المياه الجوفية. تهدف دراستنا، المعتمدة على رفع بيزومتري وتحليل هيدروكيميائي، إلى تحديد حالة المورد المائي، من حيث الكمّ والنوع. الهدف هو تحسين استخدامه وضمان إدارة مستدامة له عبر الزمن، في إطار رؤية للتنمية المستدامة.

تعتمد دراستنا على خلاصة للمعطيات الجيولوجية، الجيوفيزيائية والمناخية، تُبرز وجود طبقة مائية سطحية محصورة ضمن تكوينات الحشو للحقب الثلاثي والرباعي.

ويتم تغذية هذه الطبقة المائية من كل من التساقطات المطرية والمساهمات القادمة من الكتل الكربوناتيّة المجاورة.

الكلمات المفتاحية: طبقة مائية، كيمياء مائية، هيدروجيولوجيا، مائدة مائية، بيزومتري، سهل بلد المرجى الحاسي

Abstract

Water is a rare, precious and indispensable resource. It is an essential driving force behind industrial, tourist, agricultural, urban and rural development. In the past, the main challenge was quantitative: the shortage of water resources was partially resolved by mobilizing surface water, groundwater and unconventional water sources. Today, the problem is more qualitative. Water quality is deteriorating as a result of increasing urban and industrial discharges. Added to this are the effects of climate change, notably prolonged droughts, which further exacerbate this deterioration.

Bled-El-Merdja El Hassi is a region located in the northern part of the Batna wilaya, part of the Hauts Plateaux Constantinois watershed. It is characterized by two main geographical units: a plain and a mountainous area. Our study, based on piezometric monitoring and hydrochemical analysis, aims to determine the status of the water resource, in terms of both quantity and quality. The aim is to optimize its use and ensure sustainable management over time, with a view to sustainable development.

Notre étude repose sur une synthèse des données géologiques, géophysiques et climatiques, qui met en évidence l'existence d'une nappe superficielle contenue dans les formations de remplissage du Mio-Plio-Quaternaire. Cette nappe est alimentée à la fois par les précipitations et par les apports issus des massifs carbonatés environnants.

Mots clés : Aquifère, Hydrochimie, Hydrogéologie, Nappe, Piézométrie, Plaine de Bled el Merdja ELHhassi.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau souterraine cette composante du cycle de l'eau, joue un rôle majeur pour l'homme et les milieux. Elle représente la ressource en eau potable, une source majeure pour l'irrigation et usages industriels [8].

Les eaux souterraines forment un milieu encore mal connu, mais unique. A la frontière entre sous sol et surface, les sources, puits et forages ont de tout temps exercé un vif attrait sur l'esprit humain. Ces eaux font partie de notre patrimoine et doivent être préservées. L'importance économique et environnementale des eaux souterraines fait de leur préservation un facteur de développement durable. Cependant, le développement socio économique et les exigences de la vie moderne exercent beaucoup de contraintes sur les ressources hydriques. La surexploitation des eaux souterraines engendrent souvent des déséquilibres écologiques pratiquement irréversibles [8].

Dans le cadre de notre travail, nous proposons de réaliser une étude approfondie de la plaine de Bled-El-Merdja, située au nord de la wilaya de Batna. Cette région a connu, ces dernières années, une forte expansion agricole et urbaine, entraînant une pression importante sur les ressources en eaux souterraines, notamment en termes de disponibilité quantitative.

Notre démarche consistera à effectuer un levé piézométrique de la nappe ainsi qu'une étude de la qualité des eaux souterraines de la nappe Mio-Plio-Quaternaire, couvrant la région de Bled-El-Merdja – Ain Djaessr, à travers les chapitres suivants :

Chapitre 1 : Étude physio-géographique

Ce chapitre présente le cadre général de la zone d'étude, en mettant en évidence les caractéristiques physiques, géographiques et environnementales de la région.

Chapitre 2 : Contexte géologique

Il s'agira d'analyser la lithologie des formations géologiques présentes dans la plaine, afin de mieux comprendre leur nature et leur répartition.

Chapitre 3 : Synthèse géophysique

Cette partie vise à établir la géométrie des aquifères, leur épaisseur, leur extension spatiale ainsi que leur configuration en profondeur, à l'aide des données géophysiques disponibles.

Chapitre 4 : Étude hydro-climatologique

Elle permettra de caractériser le climat local et d'estimer les apports en eau par le biais d'un bilan hydrique, essentiel pour comprendre la recharge naturelle des nappes.

Chapitre 5 : Analyse hydrogéologique

Ce chapitre portera sur la piézométrie, le sens général d'écoulement des eaux souterraines, ainsi que sur la détermination des conditions aux limites hydrodynamiques de l'aquifère.

Chapitre 6 : Étude hydrochimique

Enfin, cette section reposera sur l'interprétation des analyses chimiques des eaux, afin de déterminer leur origine, leur qualité, les types de faciès hydrochimiques dominants, ainsi que leur aptitude à la consommation humaine et à l'irrigation.

Chapitre I

Généralités

Introduction

La présentation de la zone d'étude est une étape essentielle pour tout projet hydrogéologique, car elle permet de décrire les différentes conditions géographiques, démographiques, géologiques et climatologiques de la zone d'étude. Dans ce chapitre, nous allons présenter la zone d'étude " de l'aquifère superficielle de la plaine de bled el merdja el hassi ", située au niveau de la wilaya de Batna, Est algérienne.

I.1. Etude physico-géographiques de la zone d'étude

I.1. Situation géographique

La région d'étude fait partie des hautes plaines constantinoises de l'Est algérien qui constituent un vaste couloir dominé par deux chaînes de montagnes : le massif des Aurès au sud et la chaîne des Monts de Constantine au nord. Elle se trouve à quelques dizaines de kilomètres au nord de la wilaya de Batna. Selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) elle appartient au bassin versant des hautes plaines constantinoises (07–03) [1].

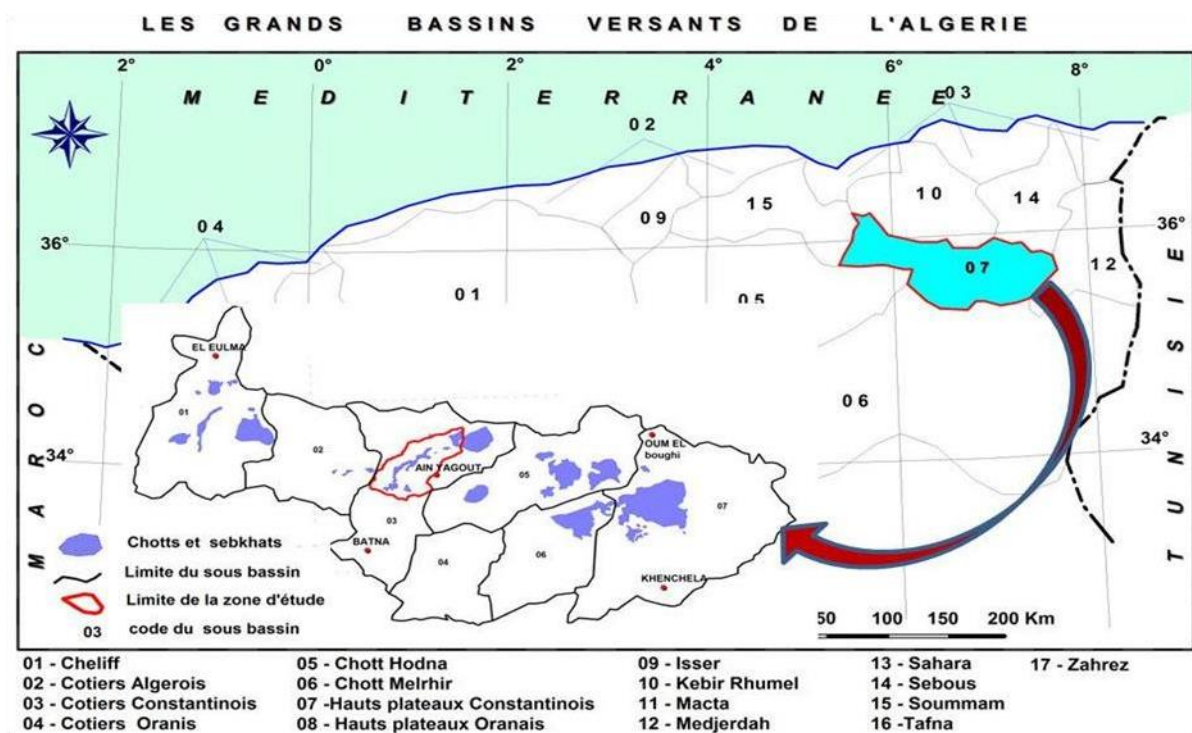


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant des hauts plateaux constantinois.

La commune d'El Hassi est située dans la wilaya de Batna, au nord-est de l'Algérie, dans la région montagneuse des Aurès. Elle relève administrativement de la daïra d'Aïn Djasser. Fait partie des strates agricoles septentrionales de la wilaya de Batna. Elle s'étale sur une superficie

de 150.58 km² et un périmètre de 57.17 km. Ce terrain représente par une plaine inter-montagneuse appartenant au grand bassin des hauts plateaux Constantinois. S'étend entre les longitudes E 6°0'30'' les latitudes N35°46'30'' Elle est délimitée administrativement par (Figure 2) :

- **Au Nord:** la commune d'Ain Djasser ;
- **A l'Est:** la commune de Zana El Beida ;
- **Au Sud:** la commune d'Oued El Ma ;
- **A l'Ouest:** la commune de Ksar Belzma et Ouled Sellam.

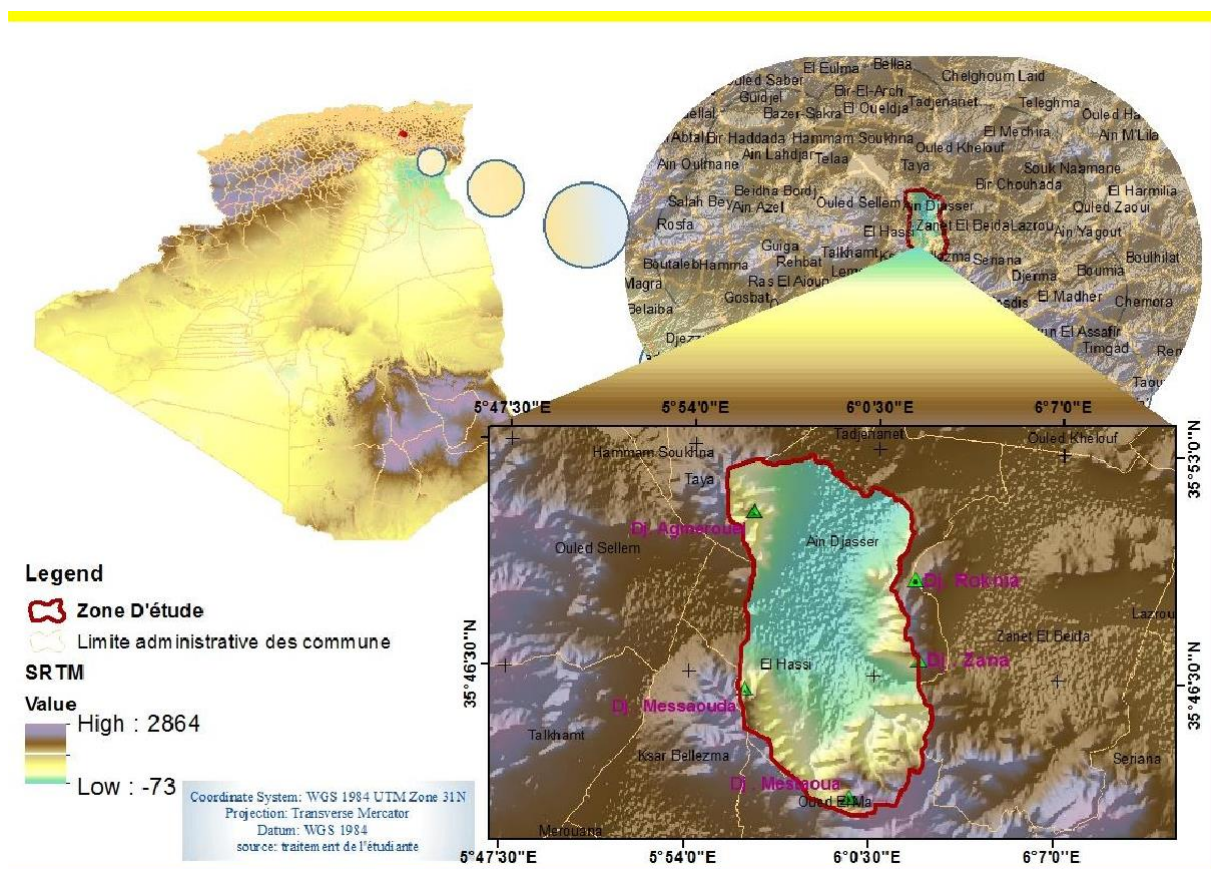


Figure 2 : Carte de situation de la zone d'étude de « bled el merdja El Hassi »

Les coordonnées géographiques correspondant sont :

Tableau 1 : Les coordonnées géographiques de bled el Merdja ELHassi

Coordonnées	Décimales
Latitude	35°46'30''Nord
Longitude	6°0'30'' Est

I.1.1. Géomorphologie

La plaine d'étude située dans les hautes plaines de l'Est algérien, entre l'Atlas Saharien et l'Atlas Tellien, la région d'El Hassi présente un relief caractérisé par une alternance de plaines ondulées et de plateaux, entrecoupés par des reliefs rocheux plus marqués. Son sous-sol témoigne d'une grande diversité géologique, dominée par des roches sédimentaires et des dépôts détritiques issus des phénomènes d'érosion, qui façonnent continuellement le paysage et influencent la composition des sols. [18].

I.1.1.1. Climat

La climatologie joue un rôle très important dans la planification et la gestion des projets d'irrigation. En effet, les précipitations, la température et l'humidité de l'air sont des facteurs clés qui déterminent les besoins en eau des cultures et influencent les choix de techniques d'irrigation, Elle permet de mieux comprendre les conditions environnementales et de prendre des décisions éclairées pour une gestion efficace de l'eau. [2].

Le climat de la zone d'étude est un climat semi-aride, caractérisé par un été chaud et sec et un hiver froid et humide. Ce climat se distingue par la fluctuation annuelle des précipitations, avec une part importante des pluies qui s'abat sur cette région en quelques semaines sous forme d'ondées, suivies de longues périodes de sécheresse après ces averses.

La région est aussi définie par une période de pluie qui va de septembre (signalant le début des premières pluies automnales) à avril, voire mai (indiquant la fin de la saison humide et l'initiation de la saison sèche).

I.1.1.2. Les Montagnes

La commune d'El Hassi, est marquée par la présence de reliefs appartenant à la chaîne des Aurès, qui constitue une extension de l'Atlas Saharien. Cette région présente une diversité géomorphologique remarquable, avec des montagnes composées principalement de roches sédimentaires. Ces formations ont été façonnées au fil du temps par l'érosion, donnant naissance à des sommets, des pentes escarpées et des vallées profondes. Les montagnes

environnantes jouent un rôle essentiel dans la régulation du ruissellement, en alimentant les oueds (cours d'eau temporaires) ainsi que les nappes phréatiques. De plus, elles influencent fortement le climat local, notamment en modifiant la direction des vents et en contribuant à la répartition des précipitations.

Tableau 2 : les montagnes de la plaine de bled el Merdja EL Hassi

	Montagnes	Altitudes(m)	Caractéristiques
Ouest	Dj-Agmerouel	1230m	Boisé
	Dj-Messaouda	865	Nu
Est	Dj-Zana	1280	Nu
	Dj-Roknia	1030	NU
Sud	Dj-Mestaoua	1622	Nu

I.1.2. Le Réseau Hydraulique:

Le réseau hydrographique généralement lié à l'organisation du relief peut prendre une multitude de formes, la différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux :

La géologie ; par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion ;

Le climat : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses humides et tend à disparaître dans les régions désertiques ;

La pente du terrain, détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire .

La présence humaine : le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Dans les régions où toute l'hydrographie superficielle converge vers les zones basses et prend un cheminement plutôt radial, représentant une hydrographie endoréique. L'étude des nouvelles cartes topographiques assemblées d'el Hassi Batna à une échelle 1/25000, révèle un réseau hydrographique endoréique faible drainée par un ensemble de cours d'eau temporaires de différentes importances et un seul oued principal (Oued Bourhzel).

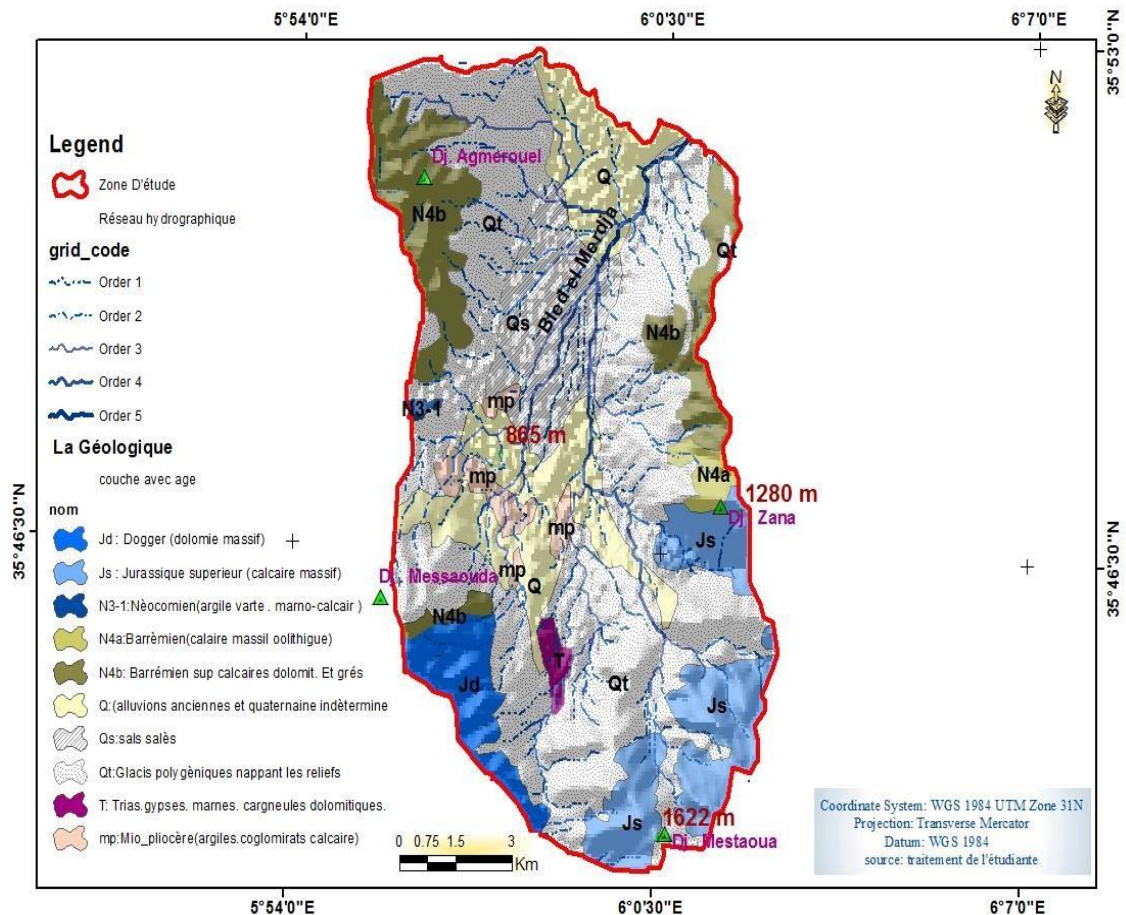


Figure 3 : Carte de réseau hydrographique de la plaine de « Bled el Merdja El Hassi »

I.1.3. Carte hypsométrique

La carte hypsométrique constitue un outil fondamental dans l'analyse géographique et environnementale d'un territoire. Elle permet de représenter les variations d'altitude à l'intérieur d'une zone donnée à l'aide de courbes de niveau ou de plages colorées, facilitant ainsi la visualisation du relief.

Dans le cadre de cette étude, la carte hypsométrique de la plaine de Bled-El-Merdja a été élaborée afin de mieux comprendre la morphologie du terrain et son influence sur la circulation des eaux souterraines. Le relief joue un rôle déterminant dans la répartition des nappes, le drainage naturel, ainsi que dans les phénomènes de recharge ou d'écoulement des eaux souterraines.

L'analyse de cette carte permet également d'identifier les zones hautement perméables ou vulnérables à l'infiltration, ainsi que les bassins de collecte naturels, éléments clés pour une gestion efficace des ressources en eau dans un contexte agricole comme celui de Bled-El-Merdja.

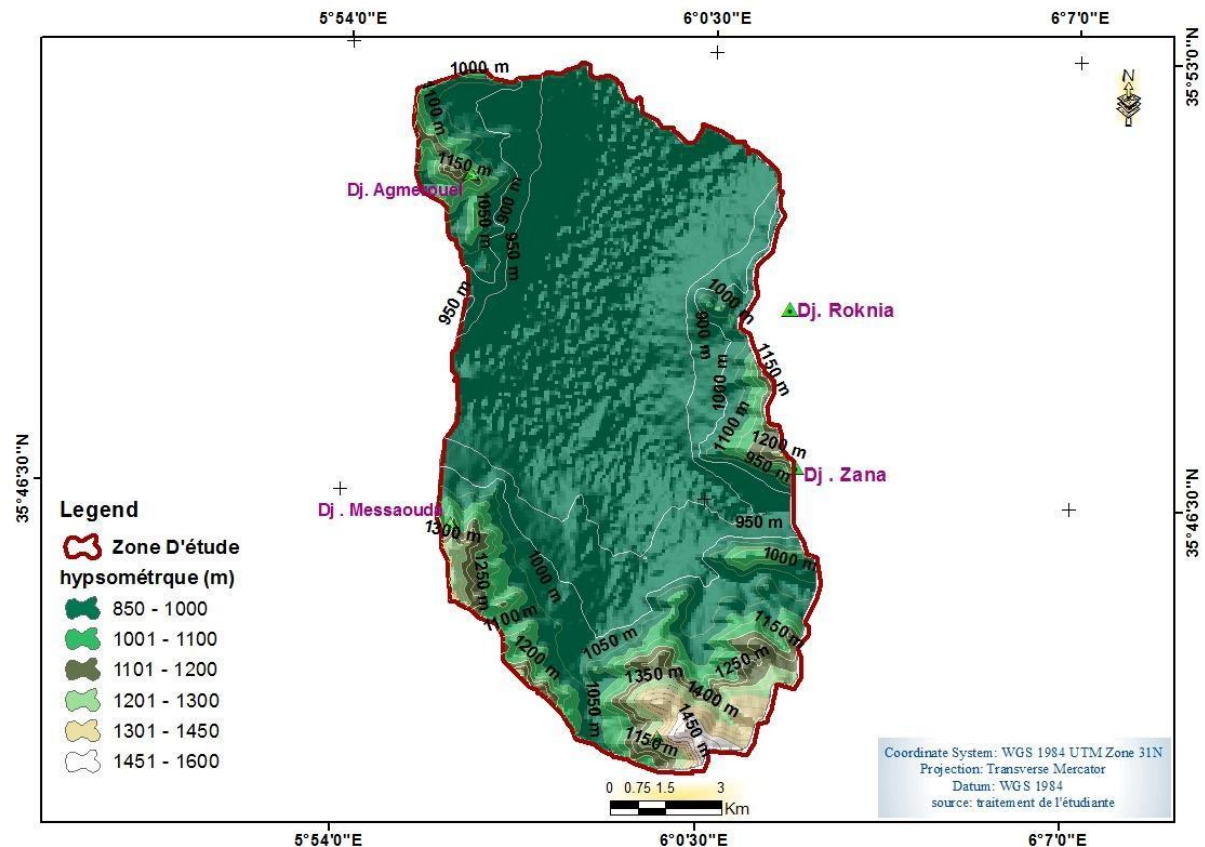


Figure 4 : carte hypsométrique de la zone d'étude « bled el Merdja El Hassi »

I.1.4. Carte pentes

L'analyse des pentes constitue une étape essentielle dans l'étude des caractéristiques physiques d'un territoire. Elle permet d'évaluer la morphologie du terrain, d'identifier les zones à risque (érosion, ruissellement, glissements) et de déterminer les aptitudes des sols à l'agriculture, à l'irrigation ou à l'aménagement.

La carte des pentes de la région de Bled El Merdja El Hassi, élaborée à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT), met en évidence les différentes classes d'inclinaison du sol. Cette carte permet de :

Distinguer les zones à pente faible, généralement favorables à l'agriculture et aux installations hydrauliques,

Identifier les zones à pente modérée à forte, qui peuvent représenter des contraintes pour les activités agricoles ou l'urbanisation.

L'exploitation de cette carte constitue un outil d'aide à la décision pour une gestion durable des ressources naturelles et une planification territoriale raisonnée dans la plaine de Bled El Merdja El Hassi.

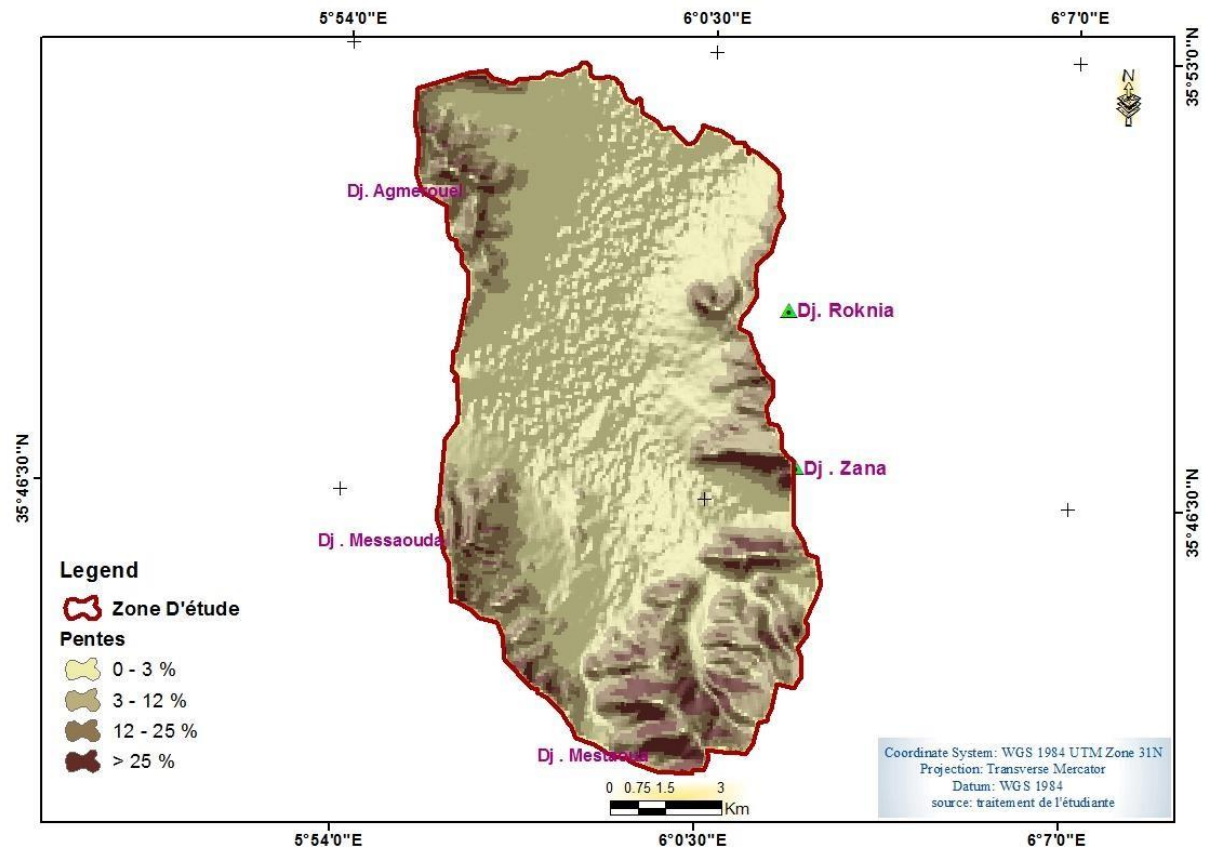


Figure 5 : carte pentes de la zone d'étude« bled el Merdja El Hassi »

I.1.5. Caractères Physiques

Les bassins versants possèdent de nombreuses caractéristiques physiques. Ici, l'accent est mis sur certains aspects, notamment les courbes hypsométriques. Trois principales caractéristiques physiques sont retenues :

- La surface « **A** » (Km²) ;
- L'indice de compacité ou coefficient de Gravelius ;
- L'indice de pente « **IP** ».

Pour le **bassin versant El Hassi** , ces paramètres ont été déterminés par planimétrage et curvimétrage, avec le calcul de la surface et du périmètre réalisé via le logiciel « Arc GiS » en utilisant des cartes topographiques à l'échelle e 1 /250000.

I.1.5.1. Indice de compacité de Gravelius

La forme d'un bassin versant a une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue notamment sur la relation pluie-débit, ainsi un bassin très allongé (c'est-à-dire trois fois plus long que large) ne régira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée, si les autres conditions sont par ailleurs égales. En 1914, Gravelius a proposé le

coefficient de compacité "compact coefficient" et d'autres auteurs (Wisler & Brater, 1959, Roche, 1963, Ward, 1975, OMM, 1996) ont également traité les paramètres morphométriques des bassins versants. Cet indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de Gravelius qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Si A est la surface du bassin en Km² et P son périmètre en km, le coefficient KC est égal à:[2].

$$K_c = \frac{p}{2\sqrt{A\pi}} K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

où :

- P est le périmètre du bassin (km) ;
- A est la surface du bassin (km²) ;
- π est la constante 3.141

$$K_c = 0.28 \frac{57.17}{\sqrt{150.58}} = 1.3m$$

Selon la valeur de K_c, le bassin versant a une forme bien déterminée. Ainsi :

Si $K_c \leq 1$: implique que le bassin versant a une forme circulaire.

Si $K_c = 1.12$: implique que le bassin versant a une forme carrée.

Si $K_c > 1.12$: implique que le bassin versant a une forme allongée.

Donc **le bassin versant de el hassi** est allongé et se rapproche d'un rectangle, ce qui induit un temps de concentration plus long.

I.1.6. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est un rectangle de dimensions « L » (longueur) et « l » (largeur) possédant les mêmes caractéristiques que le bassin versant étudié, à savoir : la surface (S), le périmètre (P), l'indice de compacité (K_c) et l'hypsométrie. Il sert de modèle de référence pour comparer différents bassins versants entre eux, notamment en ce qui concerne l'influence de leur forme sur l'écoulement des eaux.

I.1.6.1. Longueur du rectangle

$$L = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left[\left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right) \right]$$

Ce qui nous donne une longueur : **L=17.64 Km.**

I.1.6.2. Largeur équivalent

$$l = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left[\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right) \right]$$

Ce qui nous donne une largeur : $l=10.65K$ m.

Tableau 3 : calcul les paramètres géométriques des sous bassins de la plaine de « bled el Merdja El Hassi »

Longueur équivalente	Largeur équivalente
17.64Km.	10.65K m.

Conclusion

La plaine d'El Hassi fait partie des plaine septentrionale de la wilaya de Batna. Elle est caractérisée par un relief diversifié formé de massifs et de piedmonts, de plaine et des Merdjas et Chott avec un réseau hydrographique endoréique non développé et une pente faible à douce. Généralement le couvert végétal est maigre, et laisse l'écoulement superficiel converger vers les zones basses (Merdja) avec un apport peu important en débit solide lors des averses importantes. Cette morphologie à faible altitude dans la plaine est accentuée pour les massifs, donne l'impression que la plaine est une dépression plane fermée par ces massifs. On distingue deux ensembles structuraux, le secteur des massifs qui présente des caractéristiques morphométriques favorables à la genèse et à la propagation des crues ; et le secteur de plaine qui est le siège d'une accumulation des dépôts détritiques et l'infiltration des eaux ruisselées.

Chapitre II

Cadre Géologique

Introduction

La géologie est le fondement essentiel de toute recherche en hydrogéologie, elle établit les formations géologiques susceptibles ou non d'être des aquifères selon leur lithologie ; de même que l'identification des liens possibles entre elles. L'analyse géologique de la zone examinée a été effectuée en s'appuyant sur les documents suivants :

- La carte géologique de Bourghzel (1/50 000).
- Les colonnes stratigraphiques issues des sondages réalisés dans la région d'intérêt (logs des forages).

II.1. Géologie régionale

L'Algérie est subdivisée en plusieurs domaines :

Un domaine septentrional occupant le Nord de l'Algérie et qui fait partie de la Chaîne Alpine, édifié au cours du Tertiaire et qui demeure encore instable aujourd'hui.

L'Algérie saharienne : domaine relativement stable depuis la fin du Précambrien, constitué d'un socle déformé par les orogénèses éburnéenne et panafricaine, d'une couverture

Paléozoïque affectée localement de plis Hercyniens et d'une couverture Méso Cénozoïque tabulaire. Notre étude concerne le domaine atlasique plus précisément l'atlas saharien occidental, appelé Monts des Ksour.

L'Atlas présaharien : Il s'agit d'une chaîne intracontinentale formée au Tertiaire et qui constitue l'avant-pays de la Chaîne Alpine d'Afrique du Nord (ou Maghrébides). La chaîne atlasique est représentée d'un ensemble de reliefs alignés sur plus de 1000 km; elle constitue une barrière naturelle entre le Nord et le Sud de l'Algérie.

Parmi des nombreux chercheurs qui ont étudiés la structure géologique Nord- Africaine nous citons W. Wildi (1983) qui subdivise le Nord algérien en trois domaines paléogéographiques qui sont du Nord au Sud, (fig. 6).

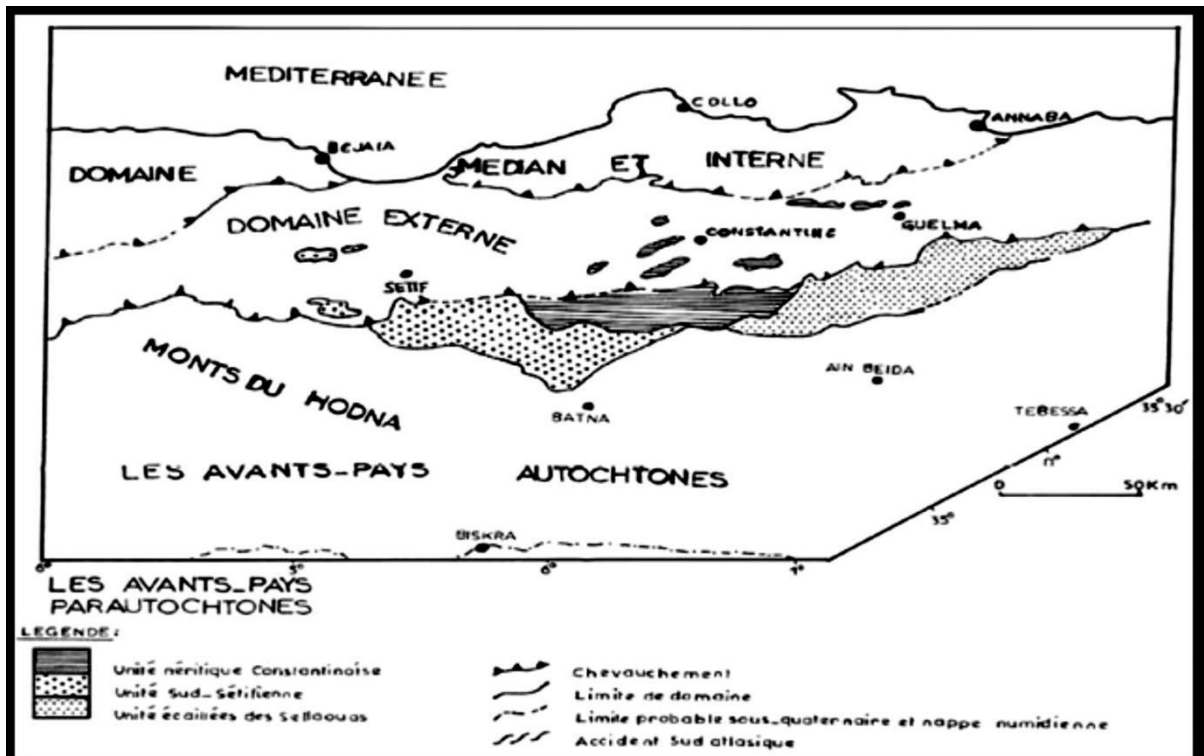


Figure 6 : Esquisse structurale du Nord-Est Algérien (w. Wildi, 1983).

II.1.1. Domaine interne

Il comprend le socle Kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire paléozoïque peu ou pas métamorphisée, caractérisant surtout la grande et la petite Kabylie.

a- Le Socle Kabyle:

Il est composé de deux grands ensembles :

- Un ensemble des roches peu ou pas métamorphiques ;
- Un ensemble des roches métamorphiques méso-zonales à catazonales.

b- La chaîne calcaire Kabyle :

Elle constitue la couverture de la bordure méridionale du Socle Kabyle. Cette dorsale comporte des formations allant du Permo-Trias au Lutétien.

II.1.2. Domaine médium (sillon des flysches)

C'est un domaine paléogéographique qui a reçu une sédimentation essentiellement argilo- gréseuse depuis le Crétacé jusqu'au Paléocène. En Algérie, ce domaine occupe une position allochtone. Il est classiquement subdivisé en deux types :

a. Les flysch mauritanien et massylien

Constitués par des formations grès-pélitiques qui se sont déposées du Barrémien à l'Albien, au Nord le flysch mauritanien et au Sud le flysch massylien.

b. Le Flysch numidien

Il occupe une position structurale allochtone la plus haute de l'édifice alpin. Il comporte une formation pélitique de base d'âge Oligocène, des alternances de grosses barres de grès et de pélites de l'Oligocène et de l'Aquitainien et des argiles et silexites sommitales du Burdigalien inférieur.

II.1.3. Domaine externe

Le domaine externe est situé plus au Sud, il comporte les séries telliennes et les séries de l'avant pays.

Les séries telliennes reposent partiellement sur l'autochtone Saharien.

a. Les séries telliennes

Ce sont des séries épaisses à faciès marno-calcaire d'âge Eocène, issues du sillon tellien. Elles sont constituées par un empilement de trois grandes séries qui sont, du Nord vers le Sud

a.1. Une série ultra-tellienne

Caractérisée par des formations calcaireuses et marno-calcaireuses d'âge Crétacé à Eocène.

Elle affleure dans la région d'Oued Zenati entre Constantine et Guelma.

a.2. Une série tellienne sensu-structo

Caractérisée essentiellement par des dépôts terrigènes du Crétacé inférieur, elle affleure essentiellement dans la région de Sétif (nappe de Djemila).

a.3. La nappe péni-tellienne

A faciès néritique prépondérant du Crétacé supérieur à l'Eocène. La nappe apparaît en lambeaux, charriés sur les massifs néritiques de Djebel Grouz, Djebel Kheneg et Chettaba, et en fenêtres sous les marnes noires des nappes telliennes de Djebel Akhal.

b. Les séries de l'avant pays allochtone

L'avant pays correspond aux formations calcaires et marneuses de la plateforme constantinoise et du domaine atlasique. Il comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone:

b.1.L'avant pays allochtone

Il regroupe trois grandes unités qui sont :

- L'ensemble Sud Sétifien.
- L'unité Néritique Constantinoise.
- L'unité de type Sellaoua.

b.2.L'avant pays autochtone

Il est représenté par des séries sédimentaires mésozoïques épaisses et très plissées. Ces séries sont principalement localisées au niveau de l'Atlas Tunisien, de l'Atlas Saharien, des monts du Hodna, des monts de Batna et des Aurès.

II.2. Géologie locale

Le bassin d'El Hassi fait partie de l'ensemble Sud-Sétifien [3,4,5]appartenant au bassin des hauts plateaux caractérisé par un climat de type méditerranéen. L'hydrologie tribulaire du relief est la conséquence directe des eaux qui montre un domaine allochtone résultant d'une h atlasique et alpine. Ce dernier est caractérisé par des séries sédimentaires carbonatées colmaté par d'abondantes formations terrigènes.

La plaine Bled-El-Merdja est une vaste dépression typique des haut plaines de l'Est algérien ,composé essentiellement des formation sédimentaires d'âge quaternaire et Mio-pliocène .Cette étendue plaine est entourée de relief en général carbonatés appartenant à l'ensemble sud sétifien d'âge secondaire .les différent structures géologique superficiel du Mio-Plio-Quaternaire reposent sur des formation d'Ere secondaire expriment une variation lithologique, (fig. 7).

On distingue dans l'ordre chronologique et de bas en haut :

- Les formations carbonatées du Secondaire de l'ensemble sud sétifien avec parfois le Trias exotique.
- Les formations Mio-**Pliocènes** continentales formées essentiellement de conglomérat
- Les formations quaternaires qui **occupent** en grande parties la plaine Bled El Merdja

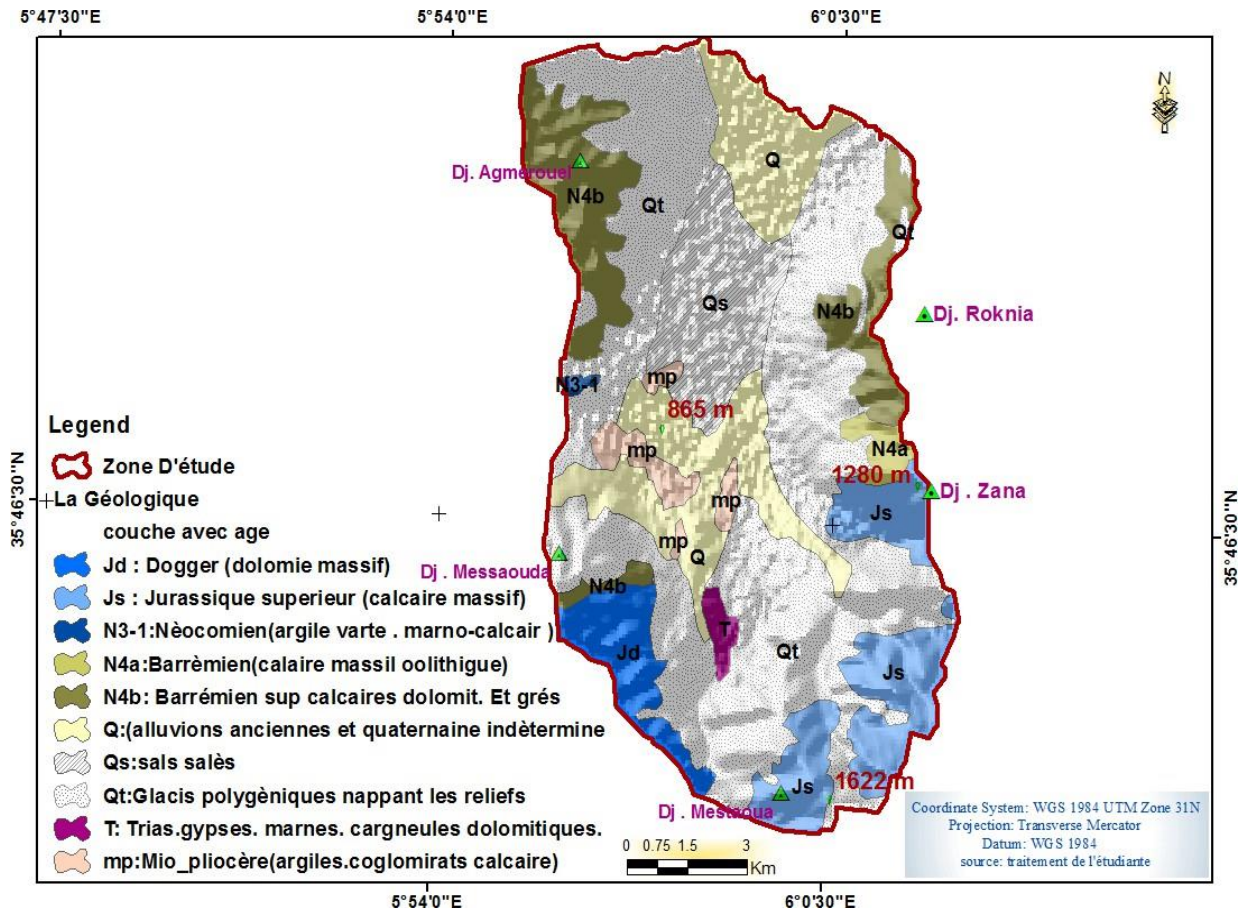


Figure 7 : Carte géologique de la zone d'étude « bled el Merdja El Hassi »

II.2.1. Formations du Quaternaire

La zone d'étude est largement recouverte de terres arables, d'alluvions récentes, d'alluvions anciennes et de glacis polygéniques :

➤ Terres arables Q

Ce sont les terres cultivables à sols bruns installées sur des limons et des graviers.

a. Glacis polygéniques Qt

Ils correspondent à des surfaces de faible pente au niveau des dépressions (niveau plaine) et des pentes plus ou moins fortes au niveau du relief montagneux.

Ils sont formés d'un matériel faiblement calibré et fragmenté vers le bas allant vers un matériel anguleux et plus grossier aux pieds des reliefs abrupts. Ces talus inclinés sont parcourus par de petits ruisseaux divergents inexistantes au bas de la pente. Ce sont des terres incultes livrées au pâturage.

II.2.2. Formations du Tertiaire a.Mio-pliocène mp

Ce sont des conglomérats roux mal consolidés affleurant assez largement dans la zone Nord à Ouled Haif et peu visible au Sud à Bled- El-Merdja. L'épaisseur est variable et n'excédera pas 250m.

II.2.3. Formations du Secondaire

Ces formations correspondent à l'ensemble allochtone sud Sétifien :

a. Barrémo-Aptien n4-5

Ce sont des calcaires organogènes massifs blancs correspondant à une barre calcaire d'épaisseur maximale de 70m bio micritique reformant des débris de fossiles.

b. Barrémien supérieur n 4b

C'est une alternance épaisse de 120 à 150m de bancs de grés roux, de calcaires gréseux, de calcaires oolithiques ou graveleux et de calcaires à algues. C'est une formation qui affleure à Djebel Roknia.

c. Barrémien calcaire n4a

C'est une série à grosses barres calcaires graveleux oolithiques à sommet micritique avec de petits niveaux dolomitiques roux et rares joints argileux. Son épaisseur est de 200m environ visible à Djebel Roknia.

d. Barrémien dolomitique n4

Il s'agit d'une succession de séquences comportant successivement des argiles calcaires, des grés roux, des calcaires gréseux, des dolomies et des calcaires graveleux. L'épaisseur de cette formation atteint 300m visible aux Djebel Agmeroual et Tissouras.

e. Néocomien n1-3

C'est une série à dominance argileuse bariolée ; elle est visible à Djebel Bou Hedfane et présente une épaisseur d'environ 100m.

f. Jurassique supérieur calcaire: J 6

C'est une formation de calcaire massif disposé en gros bancs de plusieurs mètres d'épaisseur, L'ensemble est caractérisé par une grande puissance atteignant les 300m à Djebel Zana. Elle renferme de gros débris de lamellibranches et de polypiers.

g. Jurassique supérieur dolomitique : J 6d

Ce sont des dolomies sombres litées en gros bancs de 2 à 5 m. Elles apparaissent aux sommets des reliefs de l'Agmeroual et du Tissouras.

II.2.4. Trias exotique a.Trias T

Il est formé par des argiles et des marnes variolées et gypsifères à glaçons calcaro-dolomitiques. Paquets de roches stratifiées montrant des calcaires gris rubanés à intercalations de marnes jaunâtres et des dolomies grises d'aspect bréchique.

II.3. Tectonique et paléogéographie

II.4. II.3.1.Evolution paléogéographique

La zone d'étude appartient au vaste ensemble structural des hautes plaines constantinoises et plus précisément à l'ensemble allochtone sud Sétifien compris entre les Aurès et l'atlas tellien représentant c'est un bassin fermé entouré de reliefs fortement plissés et tectonisés, (fig.8)

Figure 8 : Coupes Interprétatives au/ 1/50000« bled el Merdja El Hassi »

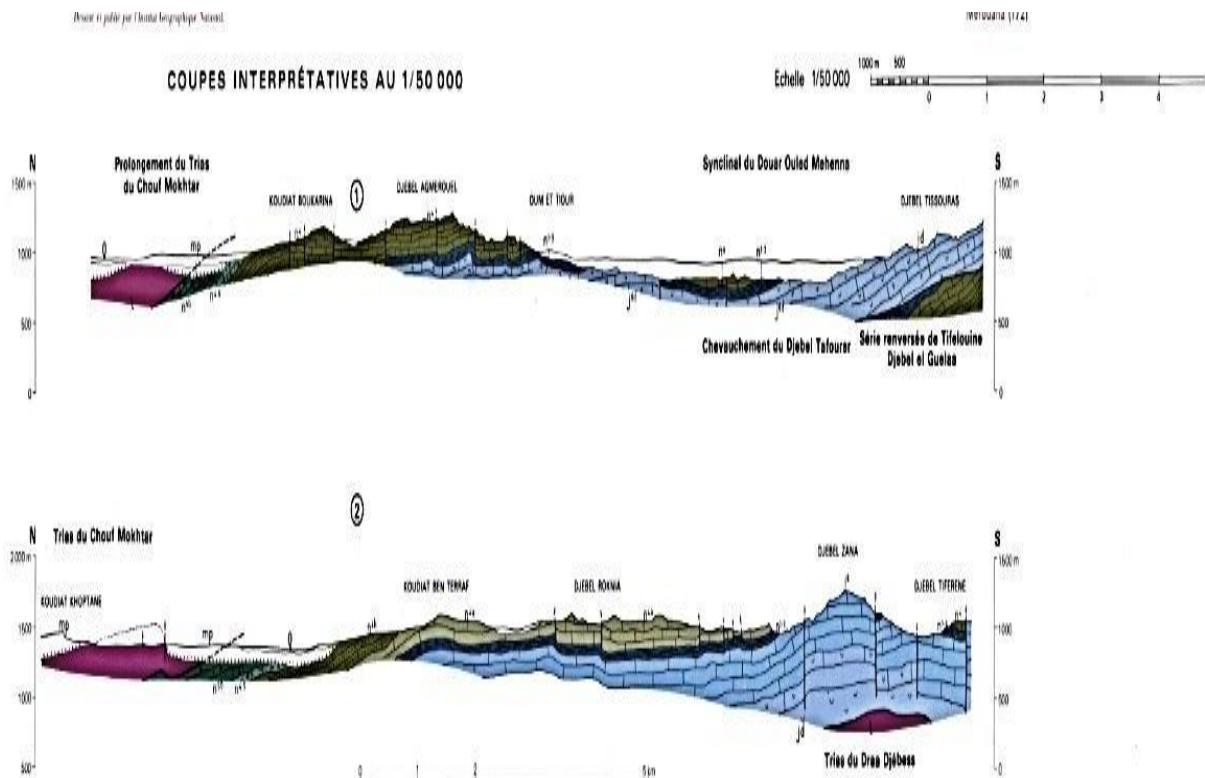


Figure 8 : Coupes Interprétatives au/ 1/50000« bled el Merdja El Hassi »

II.4.1. Tectonique

Du point de vue tectonique, l'ensemble des formations sont souvent fortement inclinées avec des épaissements diasporiques du trias.

La tectonique prédominante est la tectonique atlasique des Aurès avec des structures plissées et de grandes fractures de direction Sud-ouest Nord-est

Cette tectonique est rendue plus complexe par la combinaison des plis atlasiques et des plis telliens

II.5. Analyse structurale

L'ensemble sud sétifien est constitué essentiellement :

- Des écaillés des Djebel Agmeroual et Roknia d'âge crétacé.
- Des écaillés des Djebel Tissouras Messouda d'âge jurassique.
- D'une plaine de remplissage Mio-Plio-Quaternaire. D'une manière plus détaillée, on aura:
 - ✓ Djebel Zana : c'est le flanc nord d'un ensemble anticlinal dont le flanc ouest est le Djebel Agmeroual probablement effondré et érodé.
 - ✓ Djebel Agmeroual : c'est un bloc surélevé et faillé séparé du Bellezma par un accident tectonique important, (fig.9).

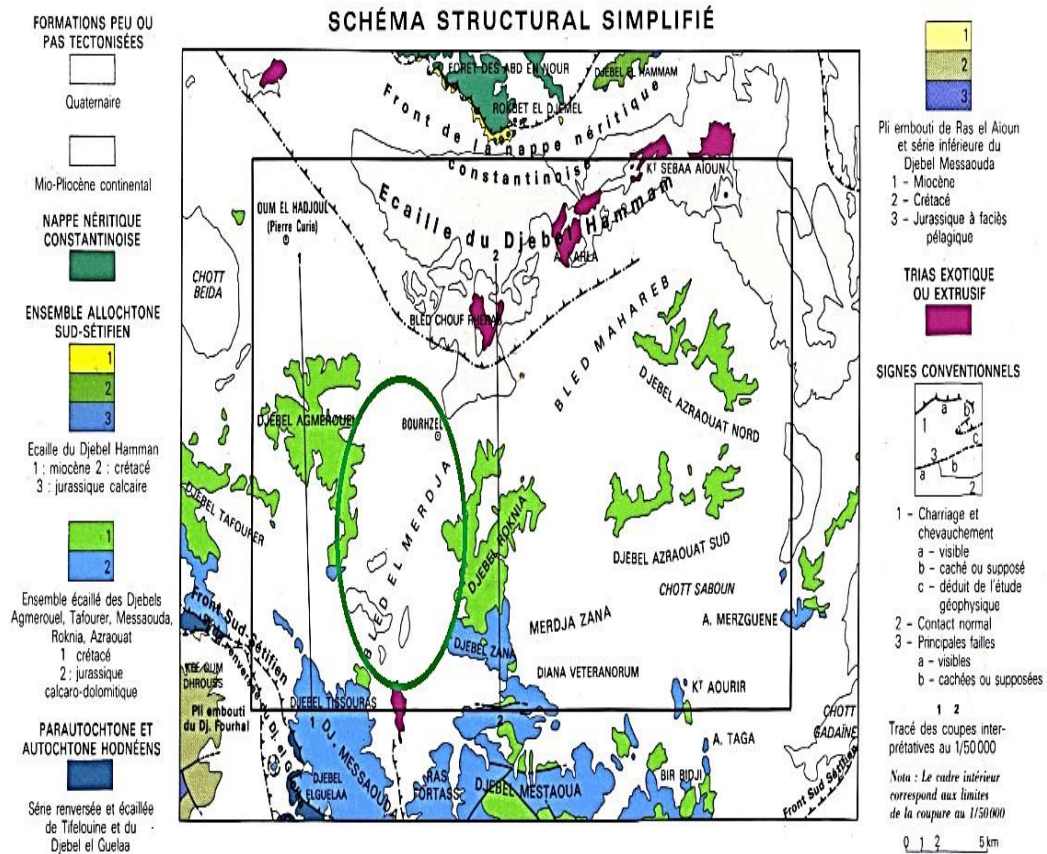


Figure 9 : Schéma structural simplifié« bled el Merdja El Hassi »

Conclusion

La Plaine d'El Hassi illustre parfaitement le paysage typique des Hautes Plaines de l'Est algérien, avec un relief varié composé majoritairement de plaines et de plateaux ; ces derniers sont généralement constitués de dépôts du Mio-PlioQuaternaire, qui comprennent des calcaires lacustres, des argiles, des conglomérats, des alluvions ainsi que des dépôts de piémonts. En revanche, les massifs rocheux sont principalement carbonatés et datent du Crétacé et du Jurassique.

Chapitre III

Cadre Géophysique

Introduction

Pour toute étude hydrogéologique, la connaissance de la géologie est primordiale, mais elle est limitée par le manque d'affleurement des formations lithologiques. De ce fait, l'étude géophysique est d'un apport précieux, car elle permet de compléter ou de confirmer l'étude géologique et de déterminer les zones susceptibles d'être aquifères [14].

La C.G.G. a mené des opérations d'exploration géophysique du 29 novembre 1971 au 20 février 1972. Les profils de sondages électriques sont généralement orientés d'Ouest en Est et se situent à une distance d'un kilomètre. [13]

III.1. Principe de la prospection électrique

Le principe de la prospection géophysique est de déterminer, à partir de mesures effectuées depuis la surface du sol une caractéristique physique du sous-sol et d'en déduire des indications sur sa constitution. De nombreuses méthodes existent en fonction du paramètre physique concerné, parmi ces méthodes :

III.1.1. Polarisation spontanée

permet de détecter les courants électriques naturels générés par les mouvements d'eau dans le sol (infiltration, écoulements de nappe) ou les différences de potentiel entre aquifères, révélant ainsi des fractures drainantes.

III.1.2. Méthode électrique des résistivités

La méthode repose sur l'étude de la conductivité électrique des roches qui sont directement fonction de leurs teneurs en eau. On mesure en fait la résistivité électrique (inverse de la conductivité) qui s'exprime en ohm.mètre ($\Omega.m$). Cette résistivité (ρ) d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à laisser passer le courant électrique.

La résistivité des formations varie de quelques $\Omega.m$ pour les vases ou les argiles vaseuses, à quelques dizaines d' $\Omega.m$ pour les argiles, les marnes ou les terrains composites, et à plusieurs centaines ou milliers d' $\Omega.m$ pour les calcaires, les granites ou les graves sèches [13].

III.1.3. Le profil de résistivité ou traînée électrique

Cette technique, complémentaire aux méthodes précédentes, consiste à déplacer un dispositif AMNB constant le long d'un tracé afin de mesurer les variations de résistivité du sous-sol à profondeur constante, ce qui permet de détecter l'homogénéité de la formation, ses variations latérales de faciès ou la présence éventuelle d'une faille, souvent en association avec des sondages électriques.

III.2. Campagne de prospection électrique

Notre objectif n'est pas d'exposer les aspects théoriques et techniques de ces différentes techniques, mais plutôt d'en dégager les applications en hydrogéologie. Nous nous aiderons de la bibliographie déjà fournie dans ce domaine. Une étude géophysique par prospection électriques a été effectuée par la campagne générale de géophysique (C.G.G) pour le compte de la direction départementale des travaux publics et de l'hydraulique et de la construction de Batna durant la période allant du 29 novembre 1971 au 20 février 1972 [5]. les plaines de bled el Merdja EL Hassi (Figure10).

La méthode adoptée dans cette étude est celle des sondages électriques verticaux avec les dispositifs quadratiques rectilignes AMNB de Schlumberger, dont les différentes longueurs de la ligne AB varient entre 100 et 1000 m. 31 sondages électriques sont exécutés au niveau de la plaine bled el Merdja EL Hassi de suivant 5 profil (A.B.C.D.E) ; orientés Ouest-Est. La campagne géophysique réalisée a pour objectifs :

- Détecter la profondeur du substratum ;
- Détermination des extensions en profondeur des massifs calcaires du Crétacé et du Jurassique (Djebel Agmerouel) ;
- Recherché dans le remplissage Plio-Quaternaire, l'existence de niveaux perméables ;
- Préciser l'extension du Trias en profondeur ;
- Détermination des lieux d'implantations possibles d'ouvrages dans les zones centrales des plaines pour solliciter la nappe profonde du Crétacé ou du Jurassique. Cette prospection électrique a permet l'établissement :
- D'une carte du substratum
- D'une carte des résistivités en ligne AB = 100 m
- D'une carte des résistivités en ligne AB = 1000 m
- De coupes transversales Les résultats obtenus sont particulièrement intéressants pour le substratum et le remplissage du Mio-Plio- Quaternaire.

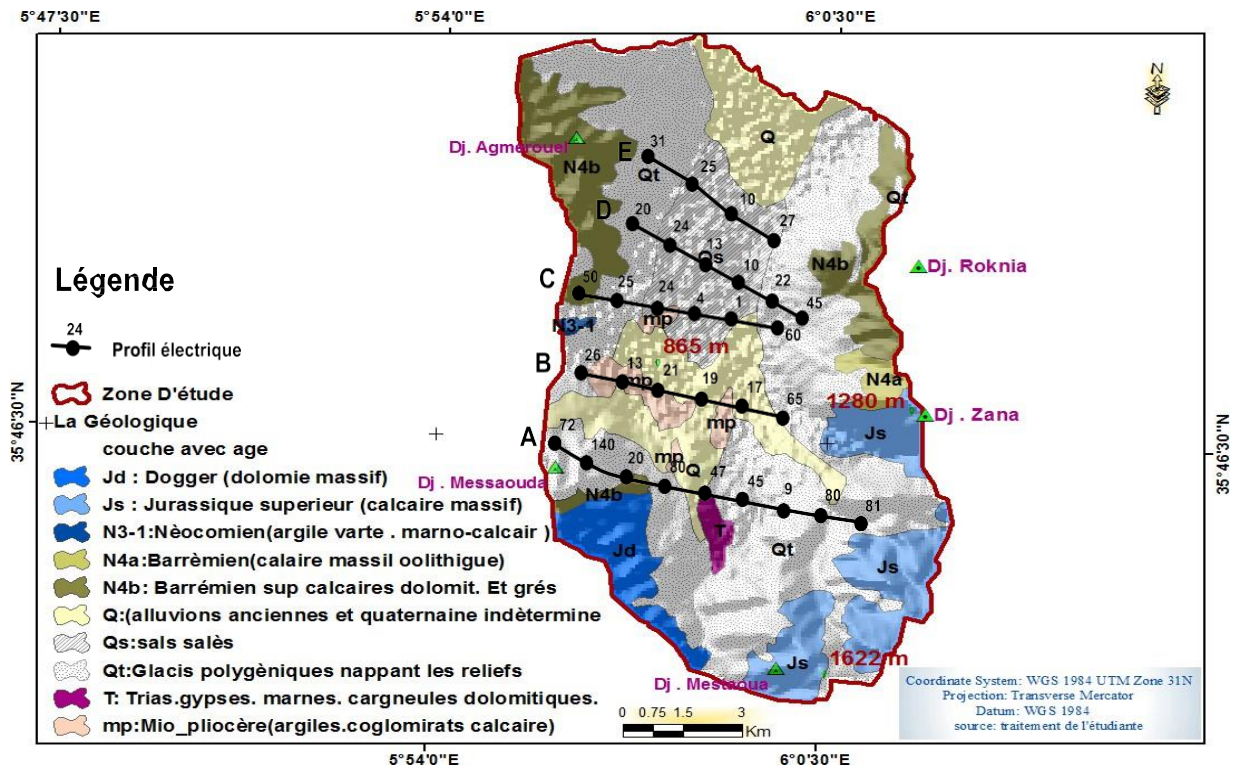


Figure 10 : Carte de position des sondages électriques de la zone d'étude « bled el Merdja El Hassi »(redessiné par Auteurs 2025).

III.2.1. Echelle de résistivité

Les mesures pratiques et l'estimation statistique déduite de l'ensemble de sondages électriques, ont permis d'établir une échelle de résistivité[15].

Tableau 4 : Echelle des résistivités.

Formations	Résistivité ($\Omega.m$)
Terrains salés des chotts	0,5_2
Argiles du Plio-Quaternaire	02_10
Sable argileux et graviers du Plio-Quaternaire	10-50
Calcaires lacustres du Pliocène	15_50
Marne miocène éventuelle non étalonnée	2_5
Conglomérats du Miocène (bordures des massifs)	100_150
Marnes du Sénonien	5_10

Calcaires du Cénomanién ou du Turonien	100_150
Marnes cénomaniennes	2_5
Grès et calcaires du Crétacé inférieur	100_300
Marnes Valanginiennes	10_20
Calcaires jurassiques	100_500

III.3. Cartes des résistivités

III.3.1. Carte de résistivité en ligne AB =100 m

Pour la carte AB=100 m, la profondeur d'investigation varie entre 5m et 70m. Dans ce contexte, les valeurs de la résistivité apparente se réfèrent au niveau du recouvrement Mio-Plio-Quaternaire. Les courbes d'iso-résistivité définissent des zones de conductivité et des zones de résistance (Figure11).

a. Les plages conductrices

Ces zones conductrices révèlent un recouvrement marno-argileux et l'existence de niveaux salins.

Cette carte présente deux plages créant une gouttière alignée Nord-Sud, l'une d'elles centrée sur les sondages électriques et montrant un recouvrement principalement argilo-marneux avec la présence d'un niveau salé majoritairement argilo-marneux. Ce dernier correspond à une formation de faible résistivité.

b. Les plages résistantes

L'influence en profondeur des formations calcaires entourant la dépression pourrait être à l'origine des plages de résistivité. Ces méthodes permettent donc d'établir à l'avance la délimitation de ces formations qui s'enfoncent sous le superposage, ainsi que la localisation des niveaux de remplissage grossier : comme les niveaux de gravier ou encore les calcaires du Pliocène. L'observation des deux cartes au fil du temps nous aidera à différencier les deux formations. Il semble donc que Djebel Tabelkha continue à une faible profondeur plus au nord. La même observation peut être faite pour la gouttière qui divise le Djebel Agmeroual

et le Djebel Messaouda, où l'influence du substratum unissant ces deux massifs est perceptible à une profondeur limitée.

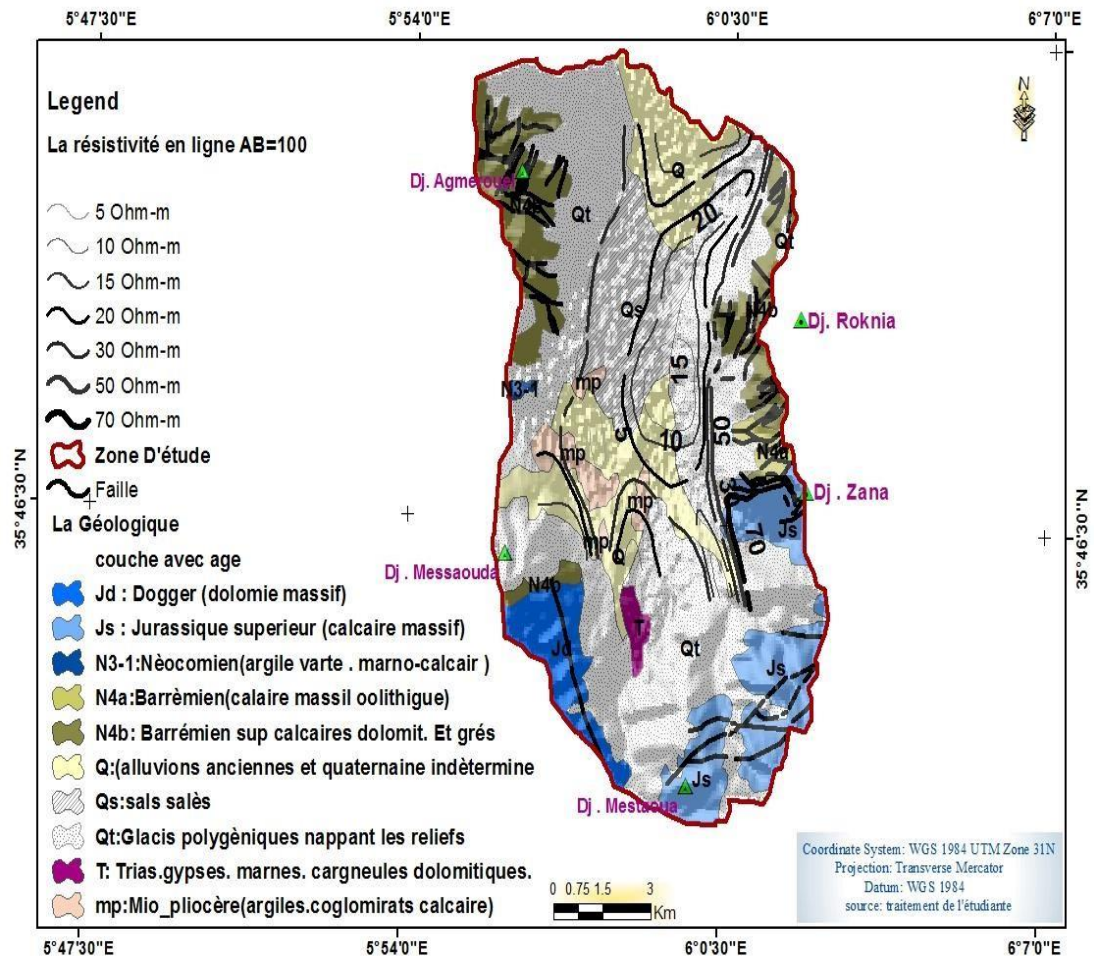


Figure 11 : Carte des résistivités en ligne AB = 100 m de la zone d'étude « bled el Merdja El Hassi » (redessiné par Auteurs 2025).

III.3.2. Carte de résistivité en ligne AB=1000 m

Pour la carte AB= 1000 m, la longueur de ligne adoptée autorise une profondeur d'exploration moyenne allant de 100 à 200 mètres. Le substrat calcaire aura une influence significative sur les lignes de résistivité. La carte illustre deux dépressions de remplissage, l'une orientée dans le sens nord-sud à Bled El Merdja et focalisée sur la ville d'Ain Djasser située plus au Nord, l'autre étant plus au Sud et centrée sur les forages électriques A6 et A7 avec une orientation nord-ouest-sud-est. Comme l'indiquent les gradients des courbes de résistivité, le plongement des formations résistantes vers l'ouest se produit de manière très rapide. Les formations résistantes des massifs de Djebel Agmerouel et Djebel Messaouda descendent vers l'est avec une inclinaison plus douce. (Figure12)

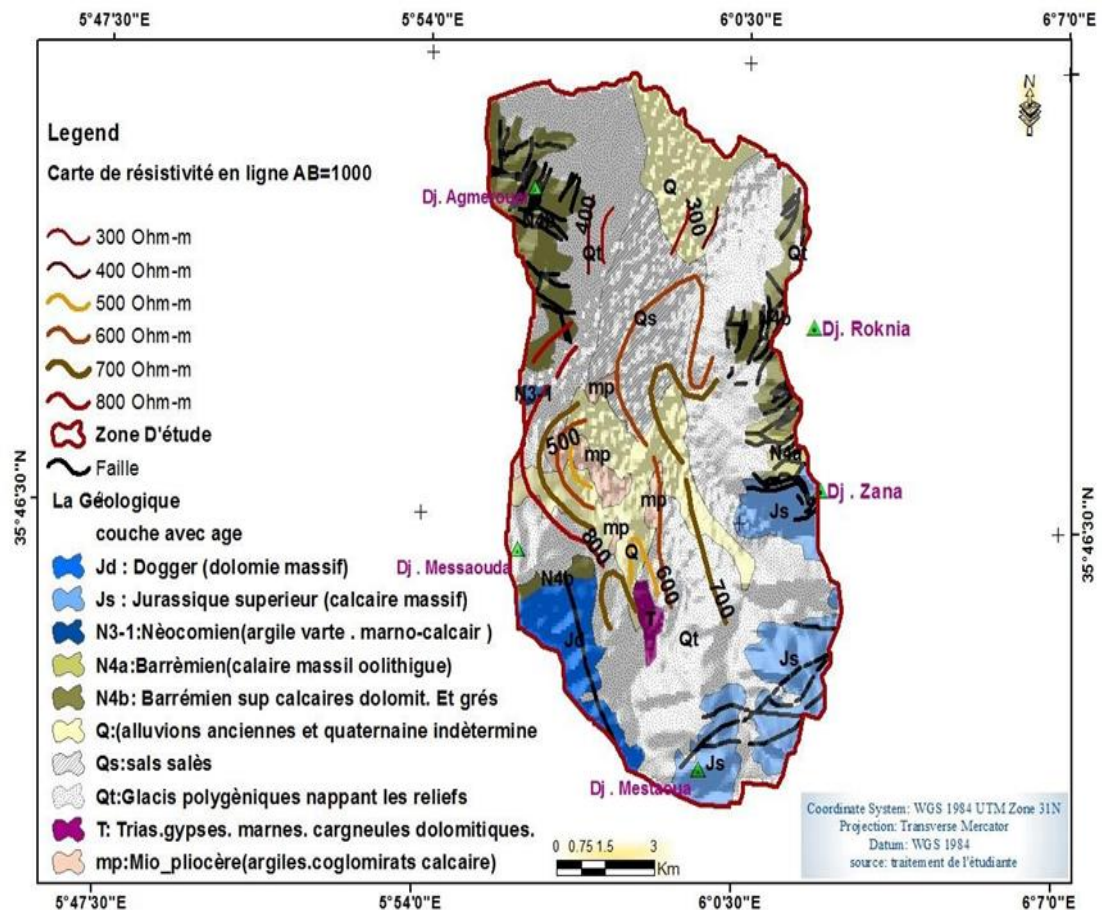


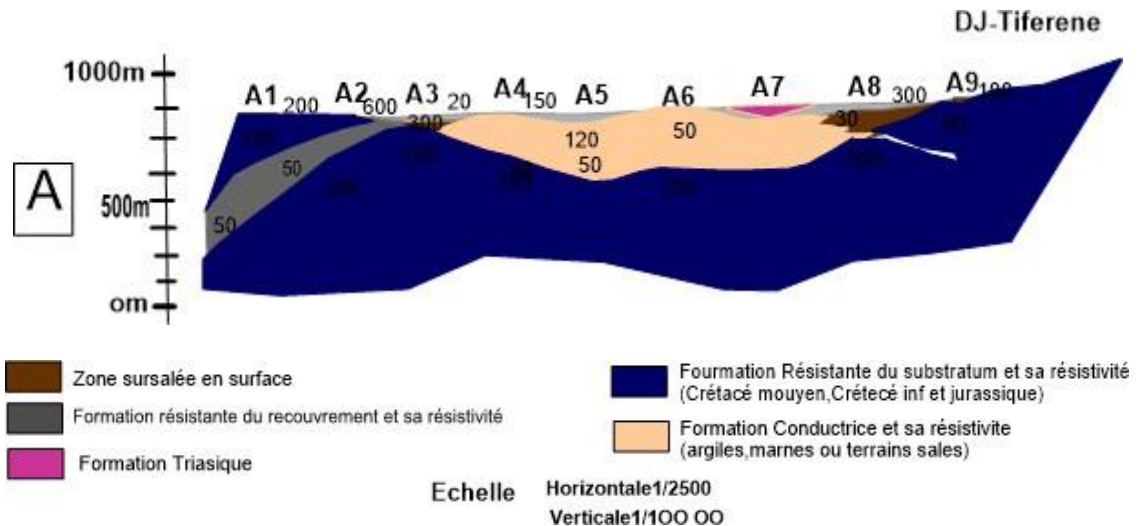
Figure 12 : Carte des résistivités en ligne AB = 1000 m de la zone d'étude «bled el Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).

III.3.3. Les Coupes géo-électriques

Ces coupes ont été réalisées suivant les profils de sondage électriques de A à E. Nous étudierons le recouvrement renfermant l'aquifère superficiel et la géométrie du substratum du remplissage.

Coupe A

L'épaisseur du recouvrement ne dépasse généralement pas la centaine de mètres (S.E A3, A5 et A7).

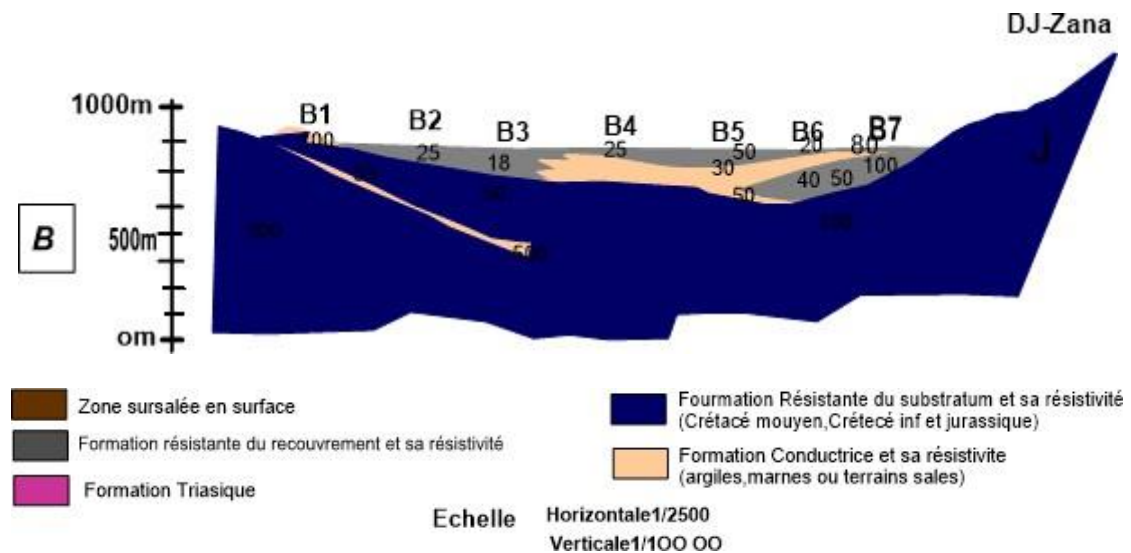


Coupe B

On observe une forte perturbation des résistivités attribuée à l'hétérogénéité du sol.

On note des valeurs dépassant 200 $\Omega.m$ jusqu'à une profondeur de 250 m ; cela est très certainement dû au calcaire du crétacé inférieur.

La couche totale d'argile atteint jusqu'à 81 mètres entre les points de forage b3 et b4.



Coupe C

Une structure synclinale, dont le noyau est Plio-quaternaire est bordée par deux anticlinaux celui de DJ.ROKNIA l'Est d'Age crétacé inférieur l'Ouest d'Age jurassique .la sédimentation débute par un jurassique calcaireux constituant le substratum de cette dépression.

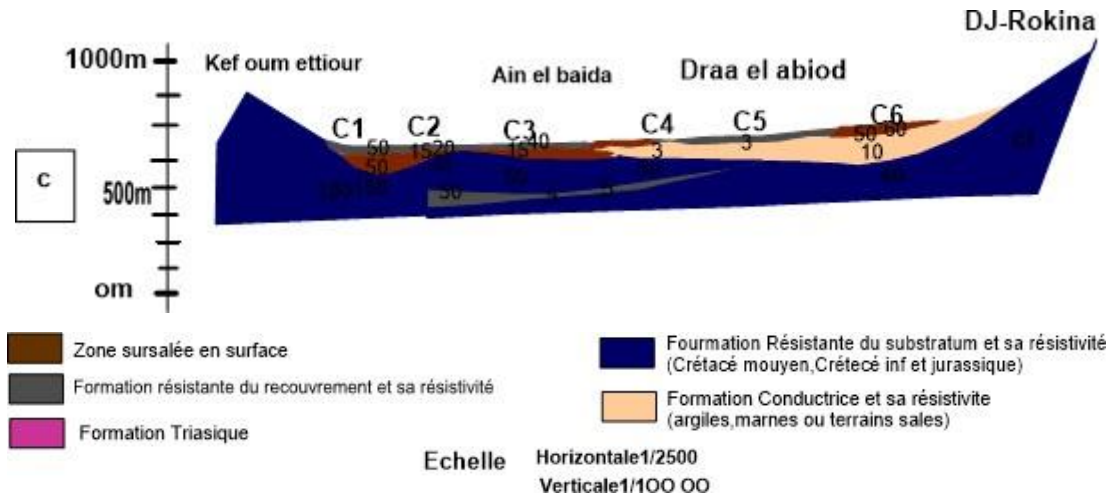


Figure 15 : Profil(C)(redessiné par Auteurs 2025).

Coupe D

Des valeurs de résistivité dépassant les 200 $\Omega \cdot m$, potentiellement attribuables à des calcaires du Jurassique. En plein milieu du profil, on observe une résistivité de 10 $\Omega \cdot m$ qui correspond aux argiles.

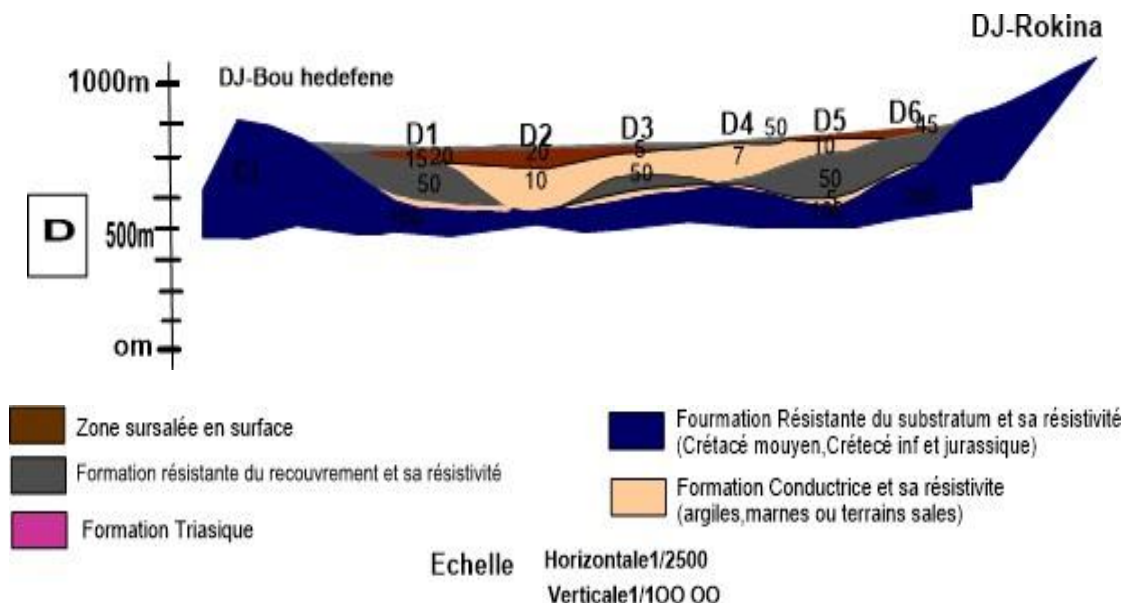


Figure 16 : Profil (D)(redessiné par Auteurs 2025).

Coupe E :

La coupe E montre:

Un ensemble inférieur calcaireux-gréseux fissuré avec une résistivité variant entre 50 à 500 Ohm, englobant trois séries principale :

Une série calcaireuse (300m), jurassique de résistivité très élevée 500Ohm constitue le substratum de bassin.

Une série calcaro-gréseuse (300m) barrémienne, de 100 Ohm.

Une série de calcaire fissuré (200m) barré mo-albienne de 50 Ohm

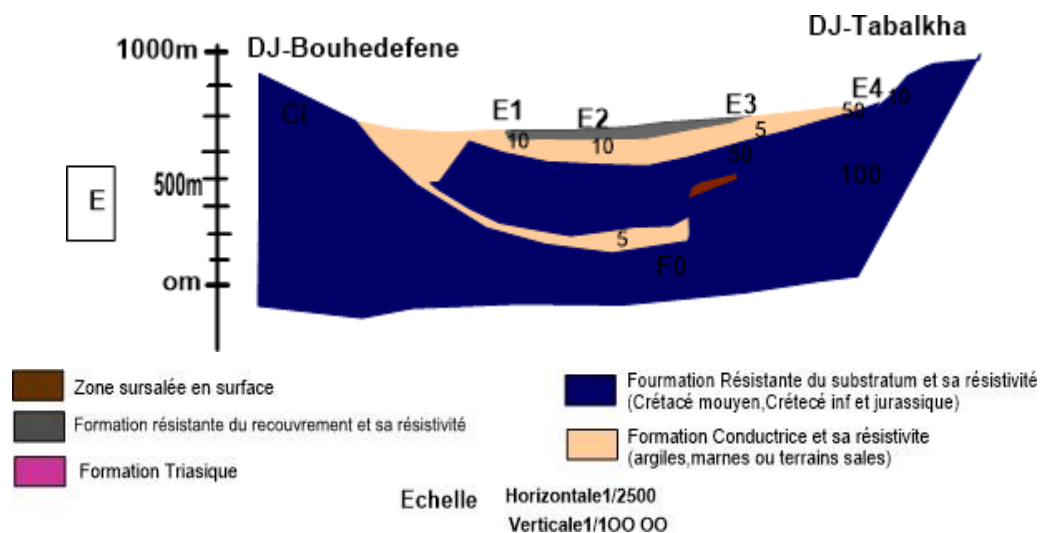


Figure 17 : Profil (E)(redessiné par Auteurs 2025).

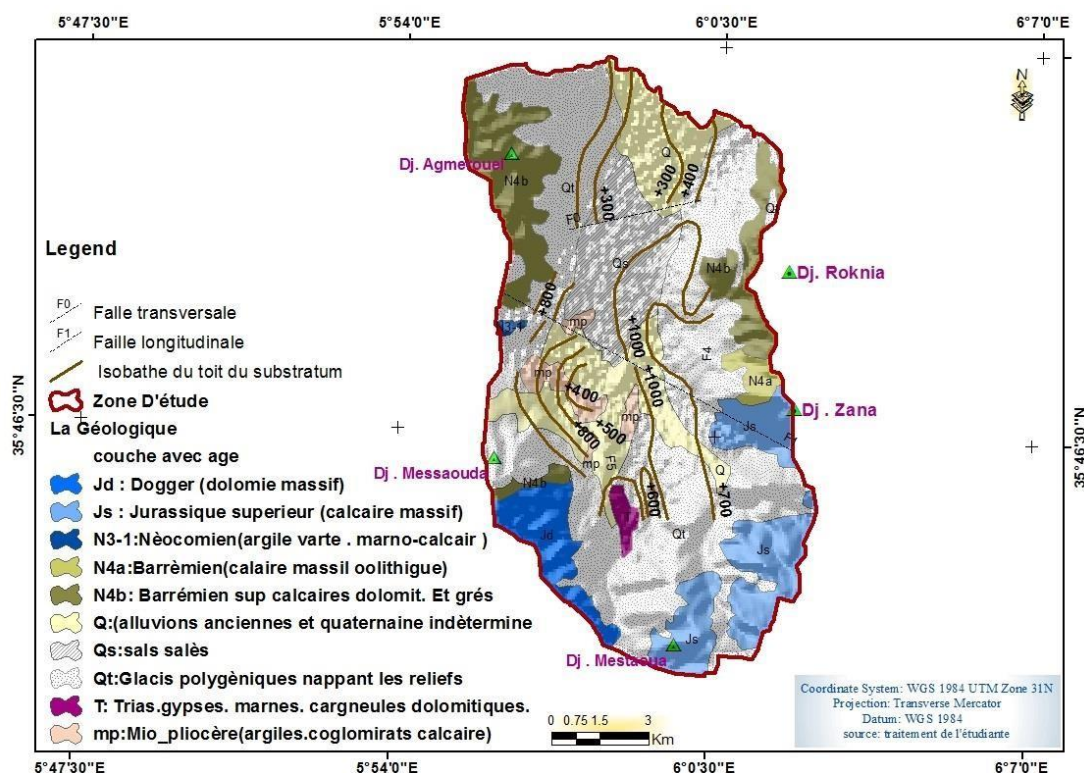
III.3.4. Carte du substratum

On désigne par substratum les couches épaisses de résistance, qui sont généralement constituées de calcaires et de dolomies datant du Crétacé et du Jurassique. Cet aquifère karstique est constitué par ce substratum. La couverture comprend des niveaux moins résistants ainsi que des calcaires lacustres.

La région se présente comme étant tectoniquement très complexe et l'interpolation entre les divers forages électriques peut parfois s'avérer extrêmement ardue. On note une structure synforme étendue et calme sur le profil E, qui devient davantage tourmentée à travers les profils B, C et D, mettant en évidence un substrat partitionné. Ce synclinal ou gouttière est délimité à l'ouest par la faille F4 qui s'étend du nord au sud au niveau de Bled El Marjaa, et c'est cette faille ainsi que la faille F5 qui sont à l'origine du déplacement observé sur l'accident F0. Ainsi,

l'extension ouest de cette structure (F0) restreint de manière abrupte le synclinal vers le sud. Les failles F5 et F1' semblent délimiter un secteur élevé (horst) en forme de coin à la hauteur des forages électriques C1 et C2, plus au sud. En outre, une formation en graben a été identifiée au début du profil B, limitée par les failles F5 et F1'. Tandis

que la portion méridionale est fortement affectée par les ruptures F5 et F1, tout en étant simultanément influencée par la présence du Trias. Il paraît que l'accident F5 est une continuation de celui qui entoure l'affleurement triasique de Draâ El Djebbs. Il convient de souligner que l'accident F0 semble assurément lié au point triasique qui marque le contact atypique délimitant l'unité du sud sétifien et l'écaïlle du Djebel Hammam.



**Figure 18 : Carte du substratum de la zone d'étude « bled el Merdja El Hassi»
(redessiné par Auteurs 2025)**

Conclusion

L'interprétation globale des différentes données géologiques et géophysiques, appuyée par les corrélations possibles, a permis de mettre en évidence l'existence de deux aquifères distincts, séparés par une formation imperméable.

Le premier aquifère, dit alluvionnaire, se situe dans la formation de recouvrement. Il est généralement constitué de calcaires lacustres, d'alluvions, d'argiles, de sables et de conglomérats, d'âge Mio-Plio-Quaternaire, de quelques dizaines de mètres d'épaisseur avec un

maximum au niveau de la localité d'El Hassi où il atteint entre 50 et 100 m d'épaisseur, parfois couvert par une mince dalle de calcaire lacustres. C'est la zone de remplissage argileux dans la partie de Bled-El-Merdja (EL Hassi) et Bled Louni avec la présence parfois de niveaux salés;

Le second aquifère est profond et karstique, logé dans une formation carbonatée datant du Jurassique au Crétacé supérieur. Cette formation est affectée par un réseau de failles qui la rend fissurée, favorisant ainsi l'accumulation et la circulation des eaux souterraines.

Ces deux aquifères sont séparés par une formation essentiellement composée d'argiles et de marnes, constituant un substratum argilo-marneux pour l'aquifère supérieur. Toutefois, cette couche n'est pas totalement imperméable : elle peut localement permettre un contact hydraulique entre les deux aquifères, notamment au niveau des failles ou dans les zones de piémont, où les alluvions reposent directement sur les formations carbonatées.

Par ailleurs, les formations carbonatées sont parfois traversées par une formation conductrice, probablement d'âge triasique, qui constitue par endroits des limites géologiques importantes pour le système aquifère.

Du point de vue tectonique, l'étude géophysique permet de faire ressortir l'existence d'accidents tectoniques de directions NE-SW, décrochés par des accidents transversaux de directions Nord-Sud associés à des accidents de direction NW-SE.

Chapitre IV

Cadre Climatique

Introduction

Dans L'étude climatique permet d'établir un bilan hydrique en analysant les précipitations, les températures, ainsi que les phénomènes d'évaporation et de ruissellement. Cette analyse offre une vision synthétique de leur répartition spatio- temporelle

Globalement, le climat de la zone d'étude est de type semi-aride, marqué par

un hiver froid et pluvieux, un été chaud et sec et ces caractéristiques climatiques sont uniformes sur l'ensemble du bassin versant, sans exception. L'étude s'est concentrée sur la région Nord-Ouest de la wilaya de Batna

IV.1. Caractéristiques de station météorologique

La station utilisée dans cette étude est celle d'Ain Skhouna.

Tableau 5 : Coordonnées de station météorologique d'Ain Skhouna

Station	Longitude	Latitude	Période D'observation
Aïn Skhouna	827.048	279.014	1995-2023

IV.2. Etude des paramètres climatiques

Dans cette étude, nous utiliserons les données climatiques provenant des stations pluviométriques situées dans la région d'étude. Ces données s'étendent sur une période de 28 ans, allant de 1995 à 2023.

IV.2.1. Les précipitations :

Dans l'établissement du bilan hydrique, les précipitations représentent le paramètre clé, car elles influencent directement le comportement hydrologique des eaux superficielles et souterraines. Par ailleurs, toute étude climatologique doit intégrer une analyse approfondie des précipitations, étant donné que celles-ci déterminent : l'écoulement saisonnier, le régime des cours d'eau, la recharge des nappes phréatiques. Ainsi, leur quantification et leur répartition spatio-temporelle sont indispensables pour caractériser les ressources en eau d'une région.

IV.2.1.1. Variations mensuelles des précipitations

L'étude des précipitations moyennes mensuelles permet de caractériser leur distribution saisonnière sur l'ensemble de l'année. Le tableau ci-dessous présente l'évolution des cumuls

pluviométriques pour la période 1995–2023, offrant ainsi une vision claire des tendances interannuelles.

Tableau 6 : Précipitations moyennes Mensuelles en mm (station Ain Skhouna) (1995-2023)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil.	Aout	Total
Ain Skhouna	45,8	33,9	39,7	40,2	45,6	31,6	44,6	45,6	48,01	25,6	8,01	21,3	429,9

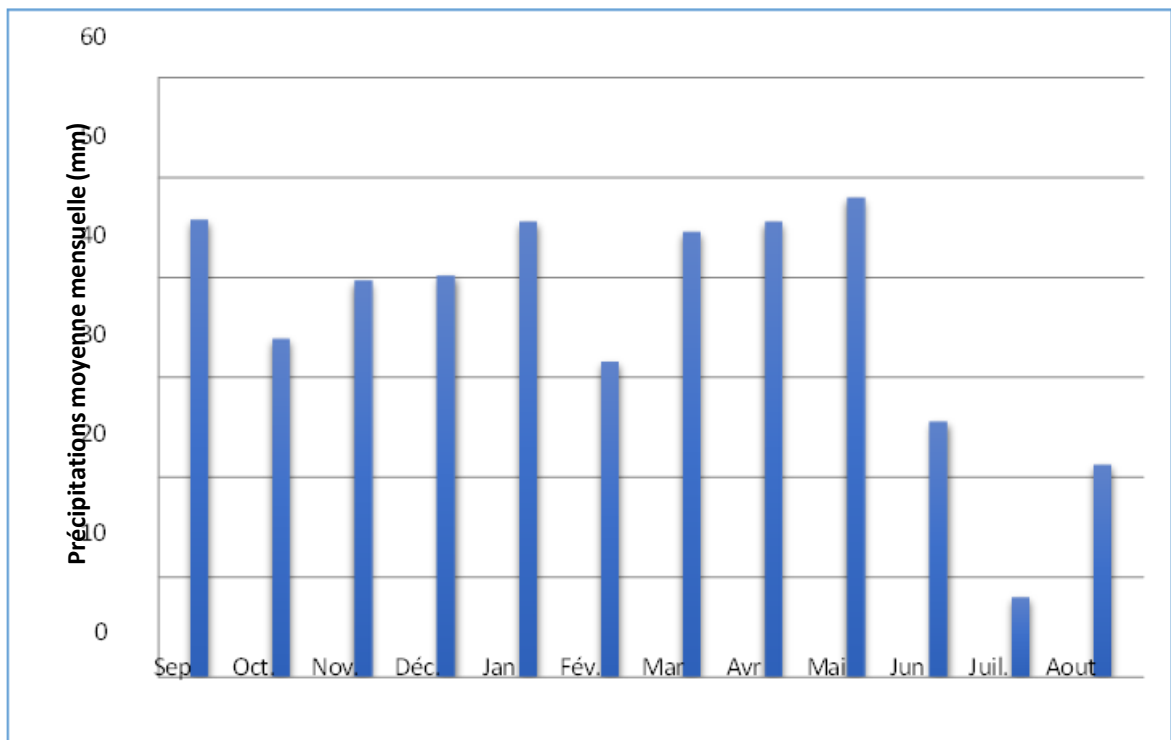


Figure 19 : Variation des précipitations moyenne mensuelle, Station Ain Skhouna. (1995-2023).

L'analyse de la courbe des variations mensuelles des précipitations sur une période de 28 ans pour la station montre que :

- Le mois le plus arrosé est le mois de Mai avec une précipitation moyenne mensuelle de 48,01 mm.
- Le mois le moins arrosé est le mois de Juillet. Avec une précipitation moyenne mensuelle égale à 8,01 mm .

IV.2.1.2. Variation saisonnières des précipitations

Tableau 7 : répartition saisonnière des précipitations, (Station Ain Skhouna).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Ain Skhouna	45,8	33,9	39,7	40,2	45,6	31,6	44,6	45,6	48,01	25,6	8,01	21,3
	119.4			117.4			138.21			54.91		

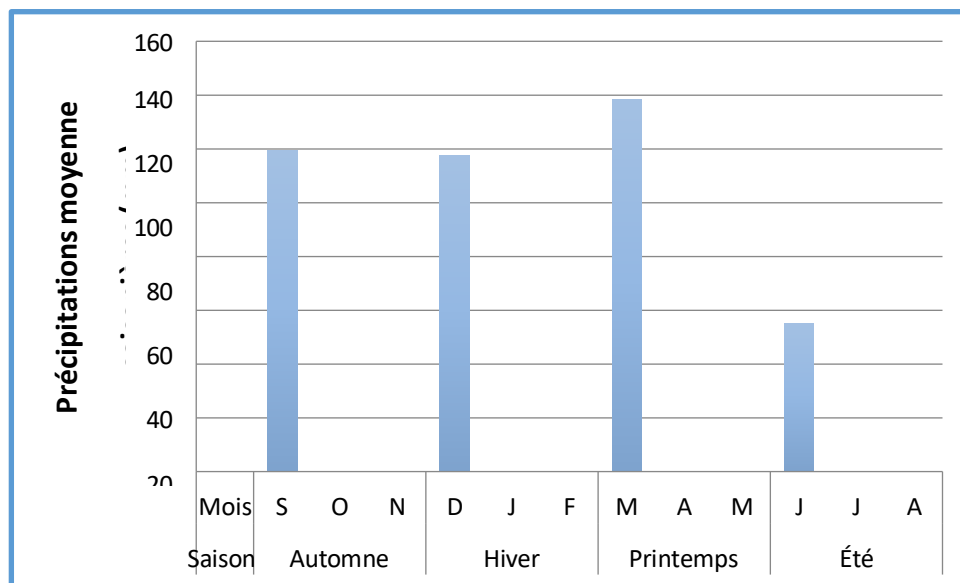


Figure 20 : précipitations inter-saisonnières de la période 1995-2023 observée dans la Station d'Ain Skhouna

L'analyse de la courbe des variations saisonnières des précipitations sur une période de 28 ans pour la station de Ain Skhouna montre que :

- La saison la plus humide est le printemps : P (138.21mm)
- La saison la plus sèche est l'Été : P (54.91mm)

IV.2.2. Température :

La température de l'air, en régulant l'évapotranspiration et le déficit hydrique, influence directement le bilan hydrologique tout en déterminant le rythme de développement végétal ; bien qu'elle ne reflète pas exactement la température des plantes, elle caractérise néanmoins l'environnement thermique moyen où s'effectuent les processus biologiques essentiels (Vilain, 1987).

IV.2.2.1. Variation moyenne mensuelle de la température

Les données des températures moyennes mensuelles de la région sont représentées dans le tableau suivant pour la période : (1995-2023)

Tableau 8 : Températures moyennes mensuelles (Station Ain Skhouana)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
T°moy max	32,41	27,46	21,02	16,97	16,30	17,78	22,02	26,18	30,37	34,87	37,34	36,53	26,60
T°moy Min	8,81	4,54	-0,74	-3,32	-4,21	-4,25	-2,95	-0,52	3,49	7,92	12,32	13,1	2,85
T°moy	20,61	16	10,14	6,83	6,05	6,77	9,55	12,83	16,93	21,4	24,83	24,82	16

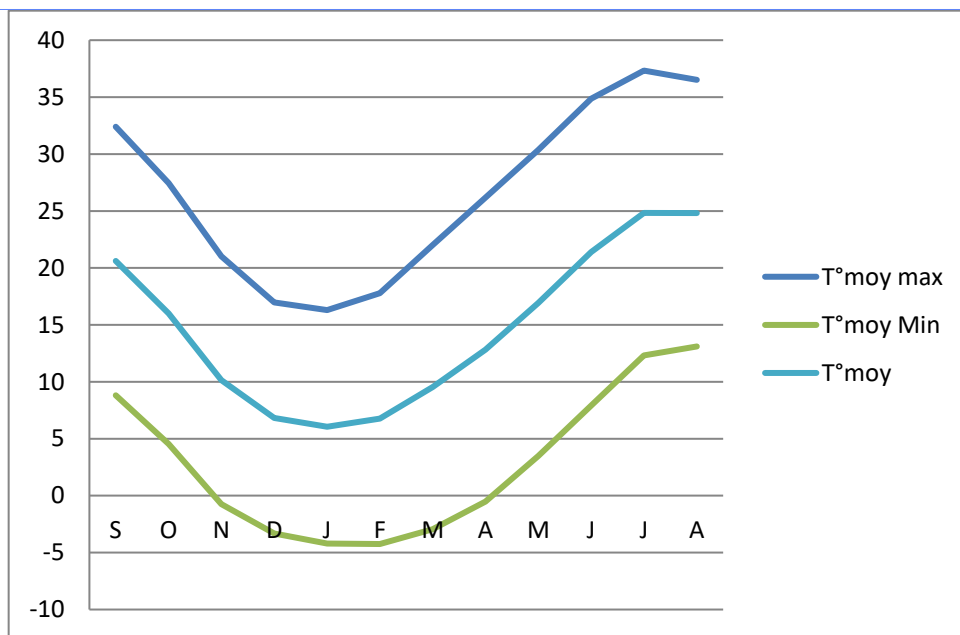


Figure 21 : Variation des Températures moyenne mensuelle, Station Ain Skhouana.(1995-2023).

Le maximum des températures est atteint en mois de Juillet, avec une valeur de 37,34°C. Tandis que le minimum est observé en Avril avec une valeur de -0,52°C. Les données du tableau 8 montre que

La saison la plus chaude est l'Été (Juin, Juillet et Aout) La saison la plus froide est l'Hiver (Décembre, Janvier et Février)

IV.3. Diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN et BAGNONLS

Pour identifier les périodes sèches et humides, un diagramme ombro-thermique selon la méthode de Gaussen et Bagnouls a été construit à partir des données pluviométriques et thermiques (1995-2023), où les précipitations sont reportées à l'échelle double des températures ; une saison est considérée sèche ($P \leq 2T$) lorsque la courbe thermique dépasse celle des précipitations, et humide dans le cas inverse. Le tableau suivant représente les précipitations et températures moyennes mensuelles :

Tableau 9 : Températures et précipitations moyennes mensuelles.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Total
T (°c)	20.61	16	10.14	6.83	6.05	6.77	9.55	12.83	16.93	21.4	24.83	24.82	16
P (mm)	45,8	33,9	39,7	40,2	45,6	31,6	44,6	45,6	48,01	25,6	8,01	21,3	429,9

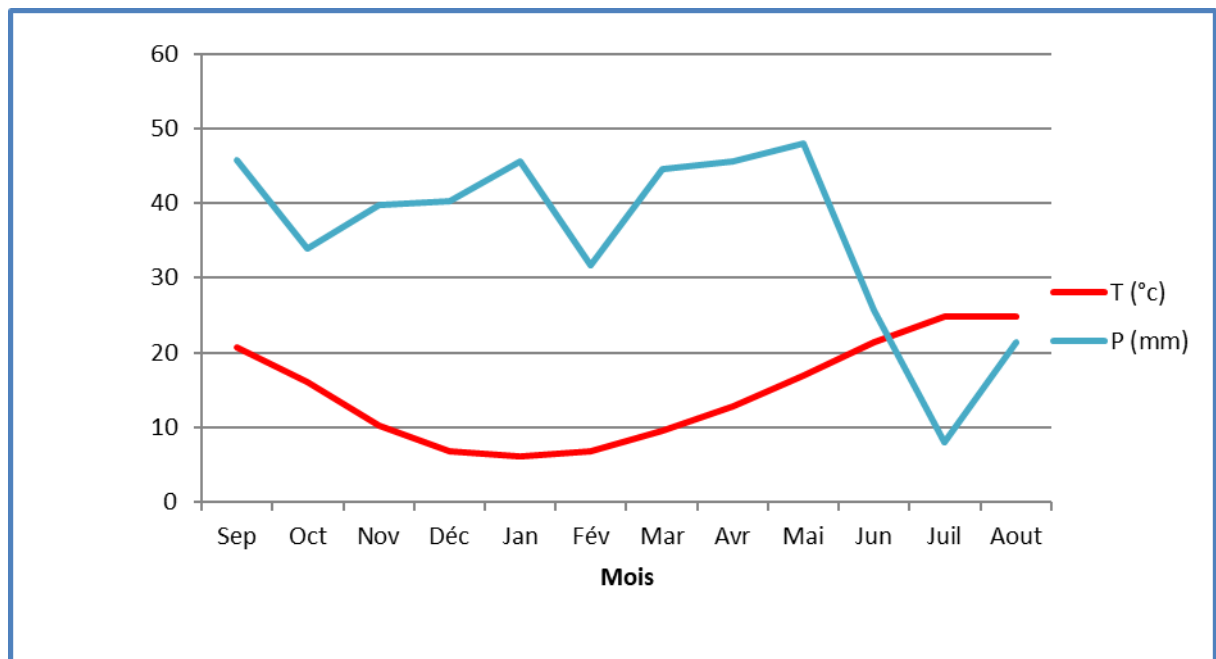


Figure 22 : Diagramme pluviométrique de GAUSSEN et BAGNOULS.

L'analyse de ce diagramme montre que :

- La période humide s'étend du mois de Oct au mois de jun.
- La période sèche s'étale du mois de Juin au mois Aout.

IV.4. Les indices climatiques IV.4.1 Indice d'aridité de Martonne :

L'aridité peut s'exprimer quantitativement par différents indices d'aridité conventionnels et empiriques, la plupart est un simple rapport hydro thermique fondé principalement sur des grandeurs moyennes des précipitations et des températures qui sont utilisées pour définir les degrés d'aridité et les conditions d'écoulement fluvial [4].

Cet indice proposé par De Martonne en 1923, est un indice climatique qui définit l'aridité I par le régime pluviométrique et thermique, il est calculé par la formule suivante :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec :

I : indice d'aridité annuel de DE MARTONNE ; P : Précipitations totales annuelles (mm) ;

T : Température moyennes annuelles (°C). Selon De. Martonne : □

- pour des valeurs de I inférieures à 5, on est en présence d'un régime hyper aride ;
- pour des valeurs de I comprises entre 5 et 10, on est en présence d'un régime désertique
- pour des valeurs de I comprises entre 10 et 20, on est en présence d'un régime semi-aride, mais tout dépend de la répartition saisonnière des pluies.

Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculées selon la formule de De MARTONNE sont reportées dans le (tableau10)

Tableau 10 : Indice d'aridité de DEMARTONNE

Station	P (mm)	T (°C)	I	Type de Climat
Ain Skhouna	429,9	16	16.53	semi-aride

Donc il s'agit d'un régime semi-aride lié à la répartition saisonnière des températures et des précipitations (Figure 11)

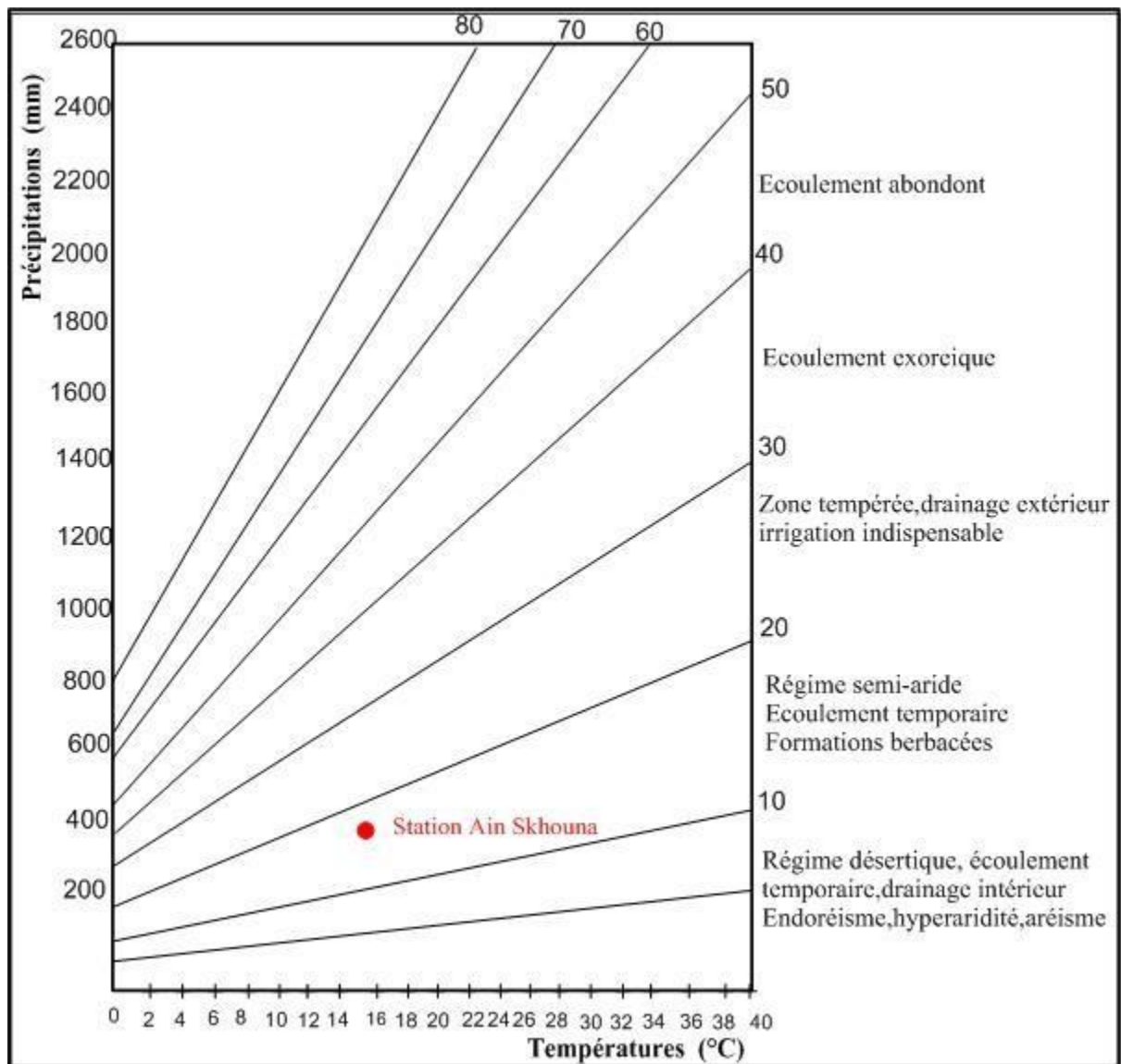


Figure 23 : Abaque de l'Indice climatique de DE MARTONNE 1923.

D'après l'indice de l'aridité de DE MARTONNE, la plaine d'étude appartient à une zone ayant un climat semi-aride.

IV.4.1. Diagramme d'EMBERGER

Pour déterminer l'étage bioclimatique de la plaine d'étude, on applique la formule d'Emberger (1932) modifié par Stewart en 1969 (Halimi, 1980). Le diagramme d'Emberger c'est un indice de caractérisation des climats ; il précise cinq étages bioclimatiques : humide, subhumide, aride, semi-aride, et saharien, et quatre sous- étages bioclimatiques :

- A hiver froid $m < 0^{\circ}\text{C}$;
- A hiver frais $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$;
- A hiver doux ou tempéré $3 < m < 7^{\circ}\text{C}$;

➤ A hiver chaud $m < 7^{\circ}\text{C}$.

Cet indice est donné par la relation suivante :

Cet indice est donné par la relation suivante :

$$Q2=3.43\frac{P}{(M-m)}$$

Où :

P : Précipitations annuelle en mm ;

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en degré absolu ($^{\circ}\text{K}$) ;

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en degré absolu ($^{\circ}\text{K}$);

Avec $T (^{\circ}\text{k}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273.2$

Ce diagramme est utilisé pour la situation du climat de la région étudiée, où nous avons :

$$M = 37.34 + 273.15 = 310.49^{\circ}\text{K}.$$

$$m = -4.25 + 273.15 = 268.9^{\circ}\text{K}.$$

$$P = 429.9\text{mm}$$

$$Q2=35.45$$

On constate à partir de l'indice d'Emberger que la plaine d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride,(Figure 12)

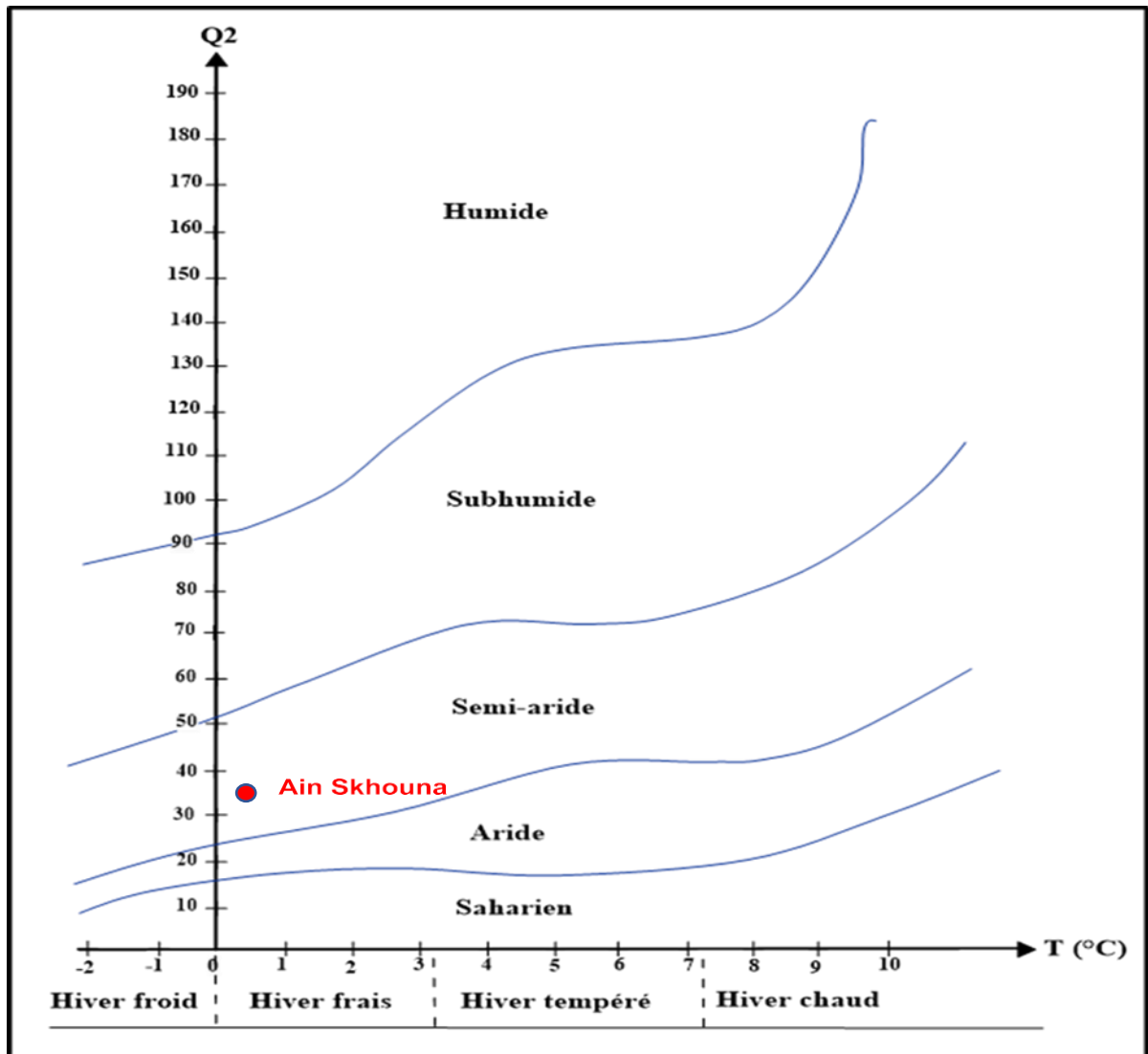


Figure 24 : Climato-gramme d'EMBERGER.

Donc la région de bled el merdja el hassi a un climat de type Semi-aride

IV.4.2. Le quotient pluviométrique annuel de Moral

En 1964, Moral a proposé un indice pluviométrique qui utilise également la hauteur annuelle des précipitations (P en mm) et les températures moyennes annuelles (T en °C) pour délimiter l'humidité et la sécheresse, selon la relation suivante :

$$IA = \frac{p}{T^2 - 10T + 200}$$

Où :

IA: Quotient pluviométrique annuel ;

P : précipitations moyennes annuelles (mm) ;

T : température moyenne annuelle (°C).

Avec :

- $IA = 1$, on est à la limite de la zone aride;
- $IA < 1$, on est dans un climat sec ;
- $IA > 1$, on est dans un climat humide (Guyot 1999).

Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculé selon la relation de Moral sont portées dans le (tableau11)

Tableau 11 : Indices d'aridité de Moral

Station	P(mm)	T(°C)	IA
Ain Skhouna	429.9	16	1.45

On remarque que la valeur dans la station d'Ain Skhouna supérieur à 1, on peut dire que le climat de la région d'étude climat humide

IV.5. Le Bilan hydrique

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports en eau dans ce lieu et pour cette période Il tient aussi compte de la constitution des réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes,

IV.5.1. Evapotranspiration :

Processus combinant évaporation et transpiration, l'évapotranspiration est majoritairement contrôlée par la radiation solaire, représentant ainsi deux voies de retour de l'eau vers l'atmosphère.

IV.5.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la somme des quantités d'eau qui peuvent s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie en considérant des apports d'eau suffisant. ETP est estimée par la formule de «C.W.Thornthwaite» proposée en 1948 et basée essentiellement sur les températures de l'air.

$$ETP = 16 * \left(10 + \frac{T}{I}\right)^A * K$$

Où :

ETP : Evapotranspiration mensuelle(mm) ;

T : Température moyenne mensuelle(°C) ;

i : Indice thermique mensuelle, déterminé par l'expression :

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

I : Indice thermique annuelle :

$$I = \sum i$$

a : Coefficient calculé par la formule :

$$a = 1,6 \left(\frac{I}{100}\right) + 0.5$$

Considérant que les valeurs d'ETP calculées par la méthode de Thornthwaite sont souvent sous-estimées en zones arides et semi-arides mais surestimées en régions tropicales humides et équatoriales, un facteur de correction K - fonction du temps, du mois et de la latitude - est appliqué pour ajuster ces estimations, comme le préconisent certains auteurs.

$$\mathbf{E. T. PC = K * E. T. P}$$

Où :

ETP : évapotranspiration potentielle calculée à l'aide de la formule (mm) ; ETPc: évapotranspiration potentielle corrigée (mm);

K : facteur de correction (ou d'ajustement mensuel).

L'application de cette formule permet d'avoir des résultats qui est de consignés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Résultats de l'ETP corrigé selon Thornthwaite aux stations Ain Skhouna (1995-2023)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T(°C)	20.61	16	10.14	6.83	6.05	6.77	9.55	12.83	16.93	21.4	24.83	24.82	16
I	8.54	5.82	2.92	1.61	1.33	1.58	2.66	4.16	6.34	9.04	11.32	11.31	66,63
a	1.57												
ETP (mm)	93.79	63.09	30.89	16.64	13.76	16.41	28.12	44.65	68.93	99.48	125.56	125.48	726.77
K	1.03	0.96	0.83	0.83	0.86	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	—
ETPc	96.60	60.57	25.64	13.81	11.83	13.78	28.96	49.11	84.09	122.36	156.95	146.81	810.51

IV.5.1.2. Evapotranspiration réelle ETR :

L'évapotranspiration réelle (ETR) représente la somme combinée de l'évaporation et de la transpiration végétale pour une surface et une période spécifiques, et peut être évaluée à l'aide de diverses méthodes de mesure ou de modélisation.

IV.5.1.2.1. . Méthode de Coutagne :

Le déficit d'écoulement, calculé à partir d'une expression intégrant les températures et précipitations moyennes annuelles, présente une relation étroite avec l'évapotranspiration réelle (ETR).

$$E. T. R = P - \lambda p$$

Où :

ETR : évapotranspiration réelle (mm) .

P : précipitation moyenne annuelle (°C) .

λ : facteur dépendant de la température moyenne annuelle.

$$\lambda = \frac{1}{(0,8+0,14t)}$$

Et qui n'est applicable que pour les précipitations comprises entre $1/8 \lambda$ et $1/2 \lambda$

Tableau 13 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Coutagne.

Station	P (mm)	T(C°)	λ	$\lambda/8$	$\lambda/2$	$\lambda/8 < P < \lambda/2$	Observation
Ain Skhouna	429,9	16	0,33	0,041	0,165	Non comprise	Méthode non applicable

IV.5.1.2.2. Méthode de Turc :

Cette expression permet de déterminer directement l'ETR annuelle d'un bassin versant à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{(0,9 + \frac{P}{L})^2}}$$

Où :

ETR : évapotranspiration réelle (mm)

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

L : le pouvoir évaporant de l'atmosphère.

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

Où :

T : Température moyenne annuelle (°C).

Les différentes valeurs de l'ETR calculée selon la méthode de Turc sont portées dans le tableau.

Tableau 14 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
ETR (mm)	429,9	16	904.8	405.18

IV.5.1.2.3. Méthode de Verdeil

En 1988, Verdeil a développé en Algérie une méthode basée sur un abaque permettant de déterminer directement les valeurs du déficit d'écoulement (correspondant à l'ETR) pour des précipitations comprises entre 0 et 600 mm, applicable à différentes stations climatiques

Tableau 15 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Verdeil

Station	P (mm)	ETR (mm)
Ain Skhouna	429.9	405.18

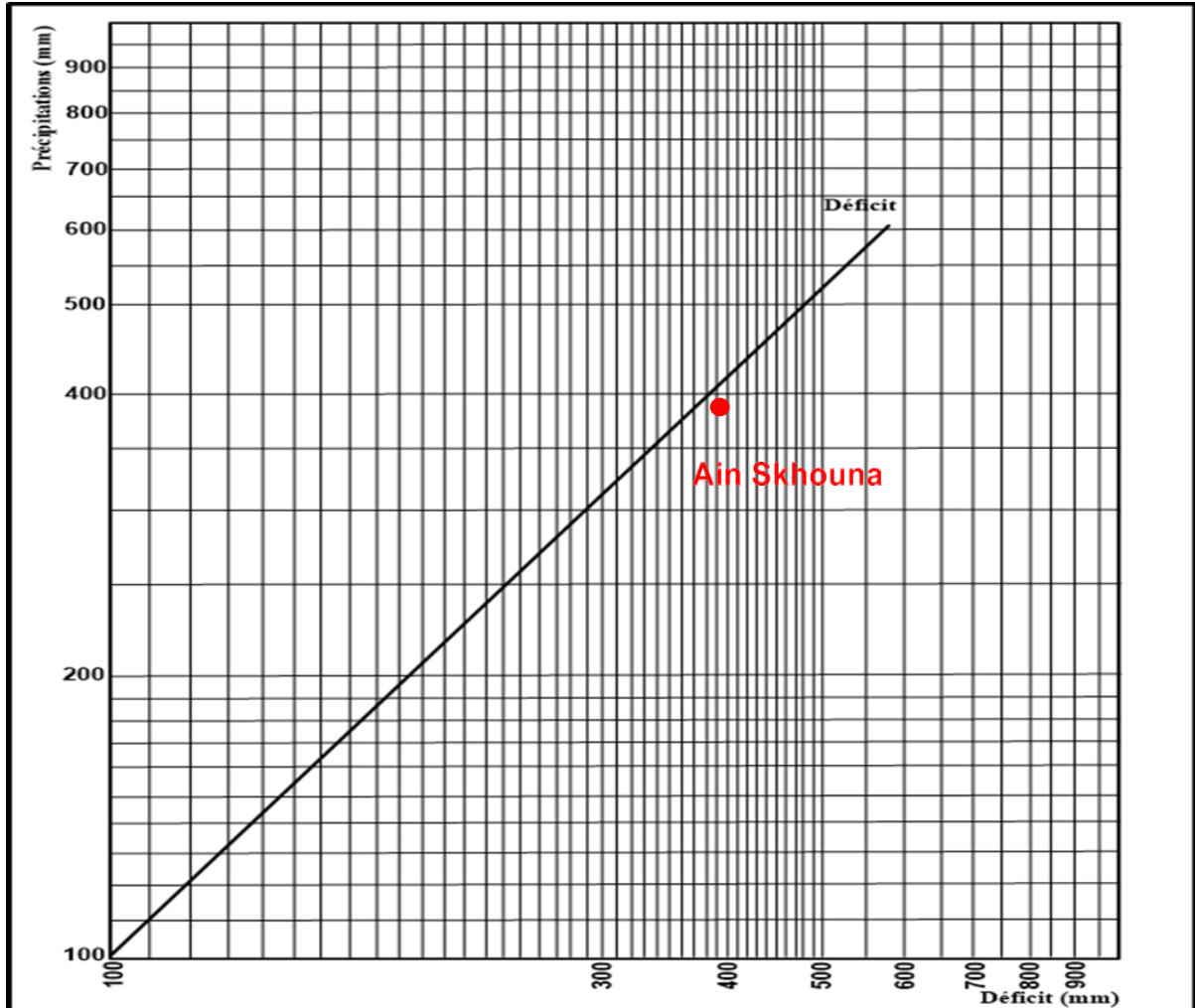


Figure 25 : Abaque de Verdeil

IV.5.2. Calcul de l'ETR d'après le bilan hydrologique de THORNTHWAITE :

- 1er cas : $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$:

Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à la saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

- 2ème cas : $P < ETP \rightarrow ETR = P + RFU$:

Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à la satisfaction de l'ETP.

Cette méthode est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU).

L'estimation de ce paramètre a été faite par l'application de la formule d'Hallaire (1960), cité par Ricard (1979) donnée ci-dessous :

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

Où :

RFU : la réserve facilement utilisable (m)

Da : densité apparente du sol prise égale à 1,4.

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

Pr : profondeur des racines prise égale à 0,4 m.

La RFU ainsi calculée pour la plaine est égale à 56 mm. Les bilans hydriques, selon la méthode de Thornthwaite, portée dans le tableau

Tableau 16 : Le bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station Ain Skhouna (1995-2023).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	20,61	16,00	10,14	6,83	6,05	6,77	9,55	12,83	16,93	21,40	24,83	24,82	14,73
I	8,54	5,82	2,92	1,60	1,33	1,58	2,66	4,16	6,34	9,04	11,32	11,31	66,62
a	1,6												
ETP (mm)	93,8	63,1	30,9	16,6	13,8	16,4	28,1	44,6	68,9	99,5	125,6	125,5	726,8
K	1,03	0,96	0,83	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	—
ETPc	97	61	26	14	12	14	29	49	84	122	157	147	811
P (mm)	45,80	33,90	39,70	40,20	45,60	31,60	44,60	45,60	48,01	25,60	8,01	21,30	429,92
P-ETP	-51	-27	14	26	34	18	16	-4	-36	-97	-149	-126	—
RFU	0	0	0	26	60	78	91	87	51	0	0	0	—
Da	66	37	2	0	0	0	0	0	1	118	167	135	526
Ex	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
ETR (mm)	31	24	24	14	12	14	29	49	83	4	-10	12	285

Pour la station de l'Ain Skhouna, nous avons obtenu une valeur ETPc totale de l'ordre de 811 mm/an

La méthode de THONTHWAITE a été critiquée par certains chercheurs, notamment quelqu'un citera Serra en 1954. Selon lui, cette méthode s'apparente à l'utilisation des lysimètres. Les résultats des lysimètres sont sous-estimés dans les régions arides et semi-arides, alors qu'en Tropiques humides ou équatoriaux. Il ne convient que pour les zones humides. Régions subhumides tempérées, d'où il est originaire (États-Unis) [5].

IV.6. Calcul du ruissellement (R) et de l'infiltration (I) :

IV.6.1 Ruissellement (R) :

Il s'agit de la part d'une précipitation qui échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration. Il est calculé par la formule de « Tixeront-Berkaloff »

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

Avec :

- R : Ruissellement en (mm).
- P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm).

Tableau 17 : Résultats du ruissellement par la formule de « Tixeront-Berkaloff » pour la station d'Ain Boucekif (1995-2023).

Paramètres	P (mm)	R (mm)
Ain Skhouna	429.9	40.31

IV.6.2 L'infiltration :

Par définition l'infiltration est la quantité d'eau qui pénètre dans le sous-sol et alimente les aquifères souterrains. Ce paramètre peut être estimé à partir de la formule du bilan hydrologique donnée par la relation suivante[7].

$$P = ETR + R + I \rightarrow I = P - (ETR + R)$$

Avec :

- I : Infiltration en (mm).

- P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- R : Ruissellement en (mm).
- ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en (mm) selon la méthode de « C.W.Thornthwaite».

Tableau 18 : Estimation de l'infiltration par l'équation fondamentale du bilan hydrique de la station Ain Skhouna (1995-2023).

Paramètres	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Ain Skhouna	429.9	485.9	40.31	0

Les résultats indiquent une infiltration quasi-nulle dans la plaine d'étude, où les précipitations sont presque entièrement reprises par l'évapotranspiration, ce qui ne reflète pas la réalité hydrologique complète ; ces valeurs conservatrices, basées sur des données stationnaires locales, doivent donc être considérées comme des ordres de grandeur plutôt que des références absolues, une approche intégrant des mesures in

situ réparties et des calculs journaliers (notamment post-averses) étant nécessaire pour une estimation fiable de l'infiltration à l'échelle du bassin.

Conclusion :

Pour conclure ce chapitre, la zone d'étude est caractérisée par un climat semi- aride avec des hivers frais et printemps pluvieux et des étés secs. La précipitation moyenne annuelle dans la région d'étude est 429.9mm pour la période (1995-2023), Une irrégularité intermittente des précipitations est observée. Le mois le plus humide est Janvier et Le mois le plus sec est Juillet. La température annuelle moyenne est d'environ 16°C avec de faible température hivernale est de °C (Janvier) et la température élevée est d'environ 37,34°C (Juillet).

Chapitre V

cadre Hydrogéologique

Introduction

Le déplacement de l'eau à travers le sol et le sous- sol constitue une phase d'un vaste cycle terrestre.

L'alimentation en eau souterraine provient de l'infiltration d'une portion déterminée de l'eau, appelée précipitations efficaces, depuis la surface du sol.

L'infiltration renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et développe une composition chimique spécifique par son parcours à travers les aquifères qui lui confère un certain aspect chimique.

L'étude géologique et géophysique ont permis de bien cartographier la géométrie et la nature de l'aquifère. La plaine de Bled-El-Merdja EL Hassi abrite deux formations aquifères superposé et en contacts par endroits :

- Un aquifère superficiel se trouvant dans les formations de Mio-Plio- Quaternaire de la Plaine.
- Un aquifère profond karstique contenu dans les massifs calcaires et dolomitiques du Crétacé inférieur et du Jurassique supérieur.

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur l'aquifère superficiel et analyserons toutes les fluctuations hydrodynamiques observées : niveau piézométrique, limites, direction d'écoulement, gradient hydraulique, etc. Nous baserons nos travaux sur les informations collectées à partir de mémoire de : YAHIAOUI Randa et ZAHAF Hind (2021).

V.1. Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire

V.1.1. Description de la formation aquifère

C'est un aquifère hétérogène constitué essentiellement par des calcaires lacustres, des conglomérats et des alluvions. Les formations occupent presque tout le terrain d'étude à l'exception des reliefs. [14]

V.1.2. Alimentation

Les principales zones de recharge se situent dans les massifs et les piémonts, là où la couverture alluviale est mince, ainsi que dans la plaine en l'absence d'écran imperméable, permettant ainsi l'infiltration directe des eaux météoriques. Par ailleurs, un réseau de fractures véhicule également d'importants volumes d'eau vers les aquifères.

V.1.3. Exutoire

L'exutoire naturel de cet aquifère superficielle est souligné par les débits important en période sèche et par affleurée dans les dépressions . [9]

V.2. Etude piézométrique

V.2.1. La carte inventaires

Dans notre travail, nous avons pris en compte les données des projets antérieurs en l'occurrence R. YAHIAOUI et H. ZAHAF (2021) Caractérisation de la pollution nitratée et vulnérabilité à la pollution de la nappe Mio-Plio-Quaternaire d'Ain Djasser.

L'examen des points d'eau qui exploitent cette nappe nous révèle que la plupart des installations sont des forages, installés récemment à l'aide de sondes, sont équipés de pompes immergées (alimentées soit par le réseau électrique, soit par génératrices à carburant). Ils sont tubés en totalité ou partiellement, avec des profondeurs comprises entre 60 et 190 m. Ces forages servent principalement à l'irrigation des cultures et à l'alimentation en eau potable.

La campagne effectuée a permis de mesurer les niveaux piézométriques et les paramètres physico-chimiques in situ (conductivité, température et pH).

On a procédé à l'inventaire de 37 points d'eau.

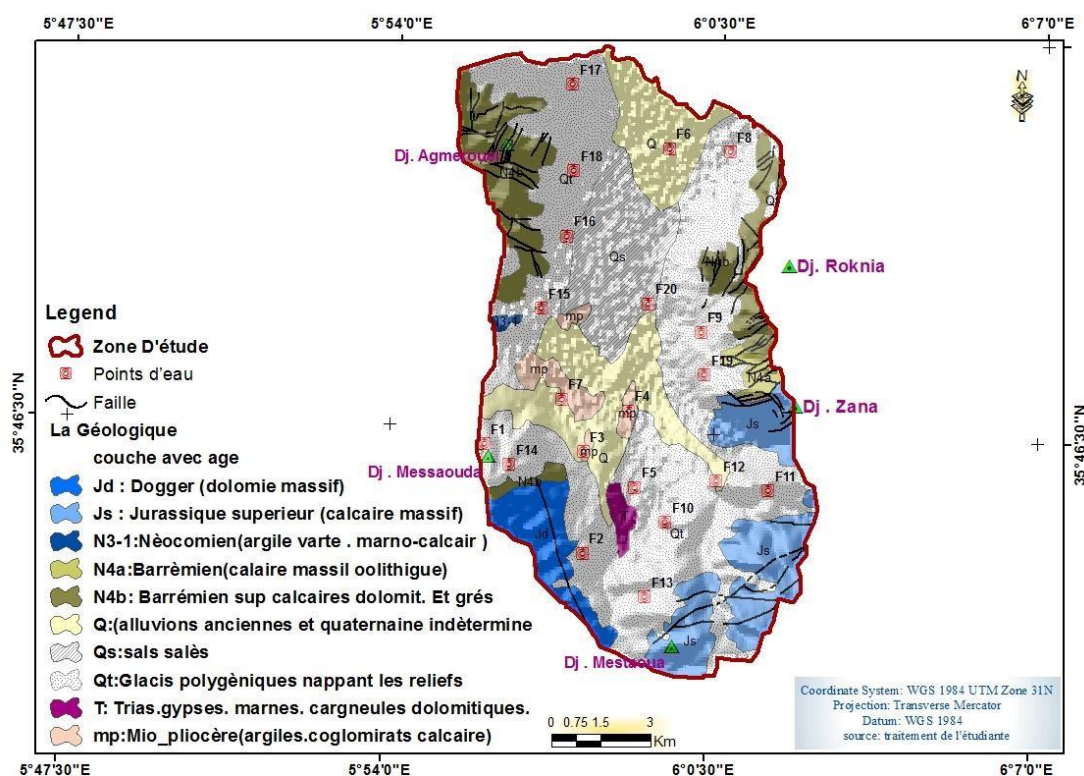


Figure 26 : Carte d'inventaire des points d'eau de la plaine Bled-El-Merdja EL Hassi

V.2.2. Piézométrie

Dans l'hydrogéologie, évaluer le niveau des eaux souterraines est primordiale.

La réalisation d'une carte piézométrique est possible grâce au niveau des eaux souterraines de l'aquifère. Cette carte est essentielle pour comprendre l'étendue de l'aquifère, la direction de l'écoulement des eaux souterraines et les zones où elles s'accumulent. La mesure du niveau piézométrique des eaux souterraines est effectuée l'aide d'une sonde mécanique.

Les mesures obtenues permettent d'établir une carte piézométrique, l'étude de cette dernière nous permet de Connaître :

- La forme de l'écoulement général de la nappe. Le sens de l'écoulement général.
- La profondeur de la surface piézométrique.

V.2.3. Interprétation de la carte

La carte piézométrique présentée ci-dessus, basé sur des relevés de terrain effectués en avril 2021, indique que l'écoulement suit généralement l'axe principal qui se dirige vers Oued Boughezel du sud au nord, suit la topographie (des hautes altitudes vers les plus basses altitudes).

Zone Nord : Les courbes sont plus écartées, le flux se dirige du sud vers le Nord-Est de la zone centrale de la plaine et de la localité d'Ain Djasser, avec une trajectoire qui passe par Oued Boughezel au centre et au nord de la plaine.

Zone Sud : les courbes sont plus compactes que dans la partie Nord, marquées par des courants convergents venant de l'ouest et du sud vers la région de Bled-El-Merdja. Nord considérée comme zone de drainage avec axe d'écoulement des eaux du Sud vers le Nord jusqu'à Oued Boughezel.

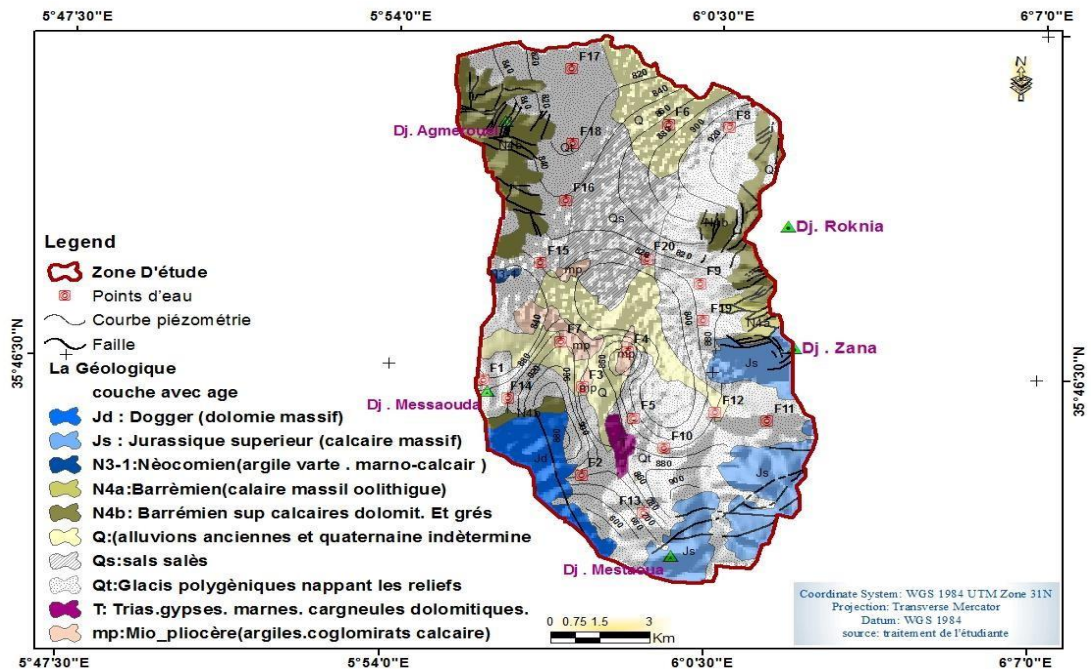


Figure 27 : Carte piézométrique de la plaine de Bled Merdja EL Hassi

V.2.4. Conditions aux limites

Limite à flux Entrant : Les massifs de Roknia et Zana à l'Est, et Djebel Agmeroul à l'ouest, représente des limites à flux Entrant.

Limite Etanche : Djebel Mestaoua au Sud, et la partie Sud de djebel Zana, représente des limites étanche à débit nul.

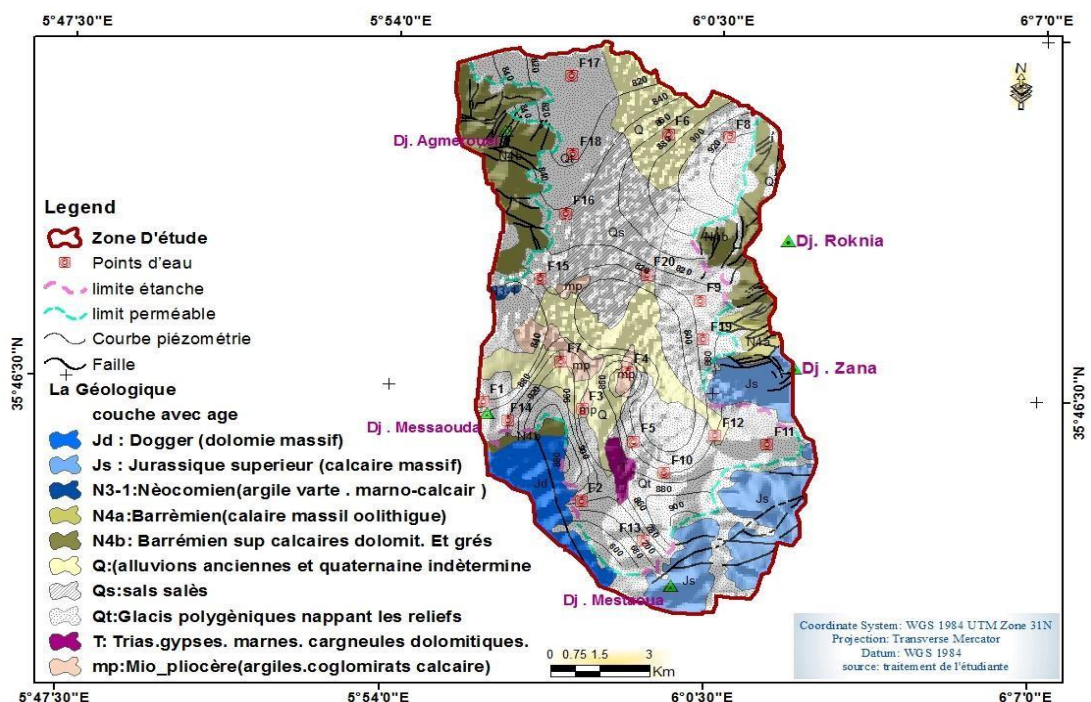


Figure 28 : Carte des conditions aux limites de la plaine Bled Merdja EL Hassi

Conclusion

L'analyse intégrée des données géologiques, géophysiques et hydrogéologiques a permis de caractériser le cadre hydrogéologique de la plaine Bled Merdja EL Hassi Il en ressort l'existence de deux aquifères principaux, superposés mais de nature distincte, séparés par une formation semi-perméable à dominante argilo-marneuse.

- Le premier aquifère, d'origine alluvionnaire et d'âge Mio-Plio-Quaternaire, est situé dans la couverture sédimentaire superficielle. Il est constitué de dépôts variés calcaires lacustres, sables, argiles et conglomérats et assure une ressource en eau relativement accessible, bien que souvent vulnérable aux pollutions de surface.
- Le second aquifère, karstique profond, est logé dans les formations carbonatées du Jurassique et du Crétacé supérieur. Sa productivité dépend fortement de la fracturation et du développement karstique induits par un réseau de failles tectoniques.

Aquifère constitue une ressource stratégique en eau souterraine de qualité, mais nécessite une exploration plus poussée pour une exploitation durable :

- L'axe principal d'écoulement des eaux souterraines est de direction Sud –ouest vers le Nord
- L'analyse de la carte piézométrique indique un écoulement de façon générale vers le Nord-Est de la plaine.
- L'alimentation de la nappe est assurée essentiellement par les massifs calcaires entourant la plaine.

Chapitre VI

Hydrochimie

Introduction

L'étude de la chimie des eaux, vient en complément à toute étude hydrogéologique, elle permet d'expliquer les mécanismes qui régissent la qualité des eaux. Elle apporte de nombreuses informations sur les échanges qui s'effectuent entre l'aquifère et son environnement c'est-à-dire sur la nature de l'encaissant, sur les zones d'alimentation et de circulation, ...

Dans ce chapitre, nous analyserons les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'aquifère superficiel de la plaine de Bled El Merdja El Hassi, à partir des résultats d'analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux recueillis à partir des travaux anciens: R.YAHIAOUI et H. ZAHAF (2021).

VI.1. Méthodes et stratégie de travail

VI.1.1. Prélèvement

Les prélèvements ont été réalisés selon une répartition et une fréquence variables d'un site à l'autre, en fonction du type de formations géologiques, des implantations agricoles et de la disponibilité des ouvrages. Les analyses chimiques utilisées proviennent des travaux de R.YAHIAOUI et H. ZAHAF (2021), à partir desquels les valeurs des éléments physico-chimiques ont été extraites à l'aide des cartes iso- teneurs après digitalisation (Figure 23).

VI.2. Analyse des éléments chimiques

Une analyse des principaux éléments chimiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-), ainsi que des composés du cycle de l'azote (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+), a été réalisée. Au total, 37 échantillons ont été analysés.

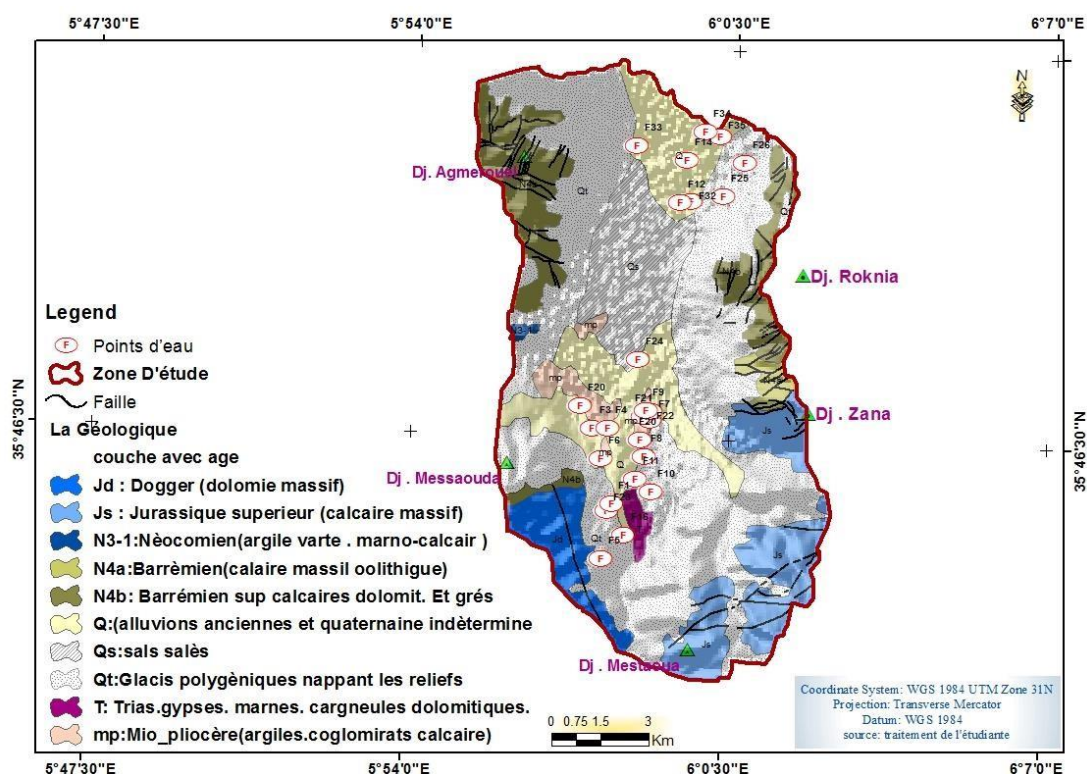


Figure 29 : Carte d'inventaire des analyses physico-chimiques et biologiques « Bled EL Merdja El Hassi »(redessiné par Auteurs 2025).

VI.2.1. Les apports anthropiques en polluants :

Le développement de l'activité urbaine et agricole dans la région, ont créé deux types de contaminants: l'un dû aux rejets directs de l'eau usée en plus des fosses septiques dans certaines régions dans la plaine, l'autre lié à l'utilisation excessive de certains produits phytosanitaires dans l'agriculture.

L'ensemble de ces apports induit une pollution chimique en provoquant l'augmentation de la concentration des éléments chimiques dans les eaux superficielles ou souterraines, ce qui conduit à la dégradation de leur qualité.[20]

VI.2.1.1. Les rejets des eaux usées

Ces eaux usées proviennent du réseau d'assainissement de plusieurs zones, notamment une partie de la ville de Aïn Djasser, la ferme ZIZA Massika, Draa Klalouche et le chef-lieu de la commune d'El Hassi. Ces apports se caractérisent par des teneurs élevées en ammonium.[20]

VI.2.1.2. L'agriculture

Son influence se manifeste par l'utilisation intensive de fertilisants, qu'ils soient chimiques ou organiques, sur des sols perméables. Ces conditions favorisent l'infiltration directe des formes azotées, notamment les nitrates, vers la nappe phréatique. Plusieurs cas de

contamination ont ainsi été observés au niveau de la nappe superficielle de la plaine de Bled-El-Merdja.[20]

VI.2.2. Le facteur de contamination

Ce processus joue un rôle clé dans l'acquisition des éléments chimiques par les eaux, par le biais de la dissolution des formations géologiques. Il devient problématique lorsque les concentrations de ces éléments dépassent les seuils admissibles.

VI.2.2.1. Les formations évaporitiques

La présence de lentilles gypseuses et salifères dans la nappe superficielle favorise la dissolution rapide des éléments évaporitiques tels que Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} et SO_4^{2-} . Cette dissolution entraîne une augmentation de la salinité des eaux.

VI.2.2.2. La variation des conditions d'oxydoréduction:

Son effet se manifeste principalement dans l'évolution des éléments chimiques sensibles aux variations du potentiel d'oxydoréduction (Eh), par l'apparition ou la disparition de certains d'entre eux.

VI.3. Résultats des analyses

Deux types de représentations des données ont été réalisés :

- Une analyse statistique descriptive incluant les valeurs maximales, minimales, moyennes, les écarts types ainsi que les coefficients de variation.
- Une représentation cartographique des éléments chimiques.

VI.3.1- Etude analytique des paramètres physiques

VI.3.1.1. Température

La température de l'eau [°C] est un paramètre d'une grande utilité pour le diagnostic hydrogéologique. Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence (ions, molécules non dissociées, gaz, solides). On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère, son origine et la présence d'éventuelles pollutions ou influences humaines. Habituellement, on mesure également la température de l'air (ou mieux encore, on donne une indication de la température moyenne du jour de mesure) qui permet de vérifier après coup les conditions climatiques dans lesquelles l'échantillonnage s'est déroulé et d'expliquer d'éventuelles anomalies dans les résultats.[2]

Les températures mesurées in situ en degré Celsius, varient entre **17°C** et **19 °C** (2021).

On remarque les points d'eau présente des températures ordinaires et ne dépassent pas les normes algériennes (25°C)(Tableau 19).

Tableau 19 : Les variations de la Température °C

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
T°C	17,7	19,7	18,7	0,6	0,032

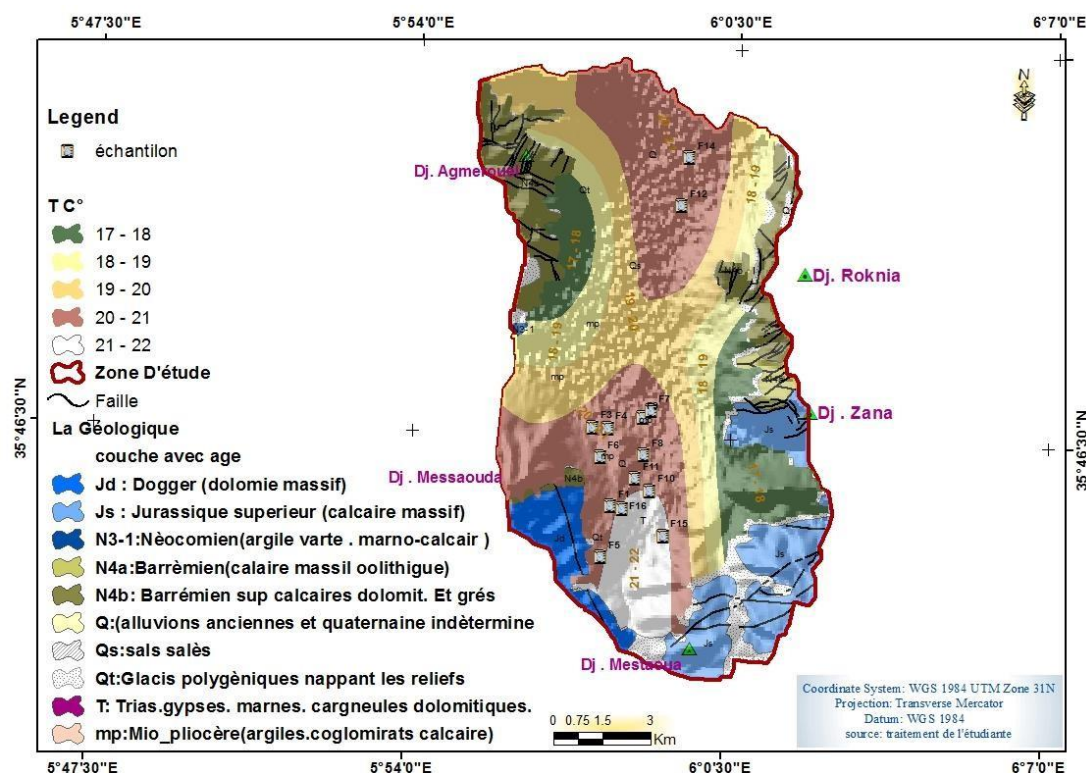


Figure 30 : Iso-valeur de la température (°C) de la plaine de « Bled EL Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.1.2. Conductivité électrique

La mesure en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm (micro ou milli Siemens par cm) de la conductivité électrique d'une eau s'effectue à l'aide d'un conductimètre. Celui-ci mesure le passage de l'électricité entre deux électrodes séparées par un cube de $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ d'eau. La mesure s'effectue à 25°C [21].

Les valeurs de conductivité électrique de la majorité des forages d'eaux de la nappe superficielle de Bled El Merdja El Hassi sont supérieures aux normes de potabilité algériennes $2800 (\mu\text{S}/\text{cm})$ (Tableau 20).

Le tableau et la carte affichent une conductivité qui varie entre 674 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 7830 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ainsi, nous observons un niveau de minéralisation très élevé dans la section no rd de la plaine.

Tableau 20 : les variations de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

tatistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
COND $\mu\text{S}/\text{cm}$	674	7830	2243,41176	2249,8	1,004

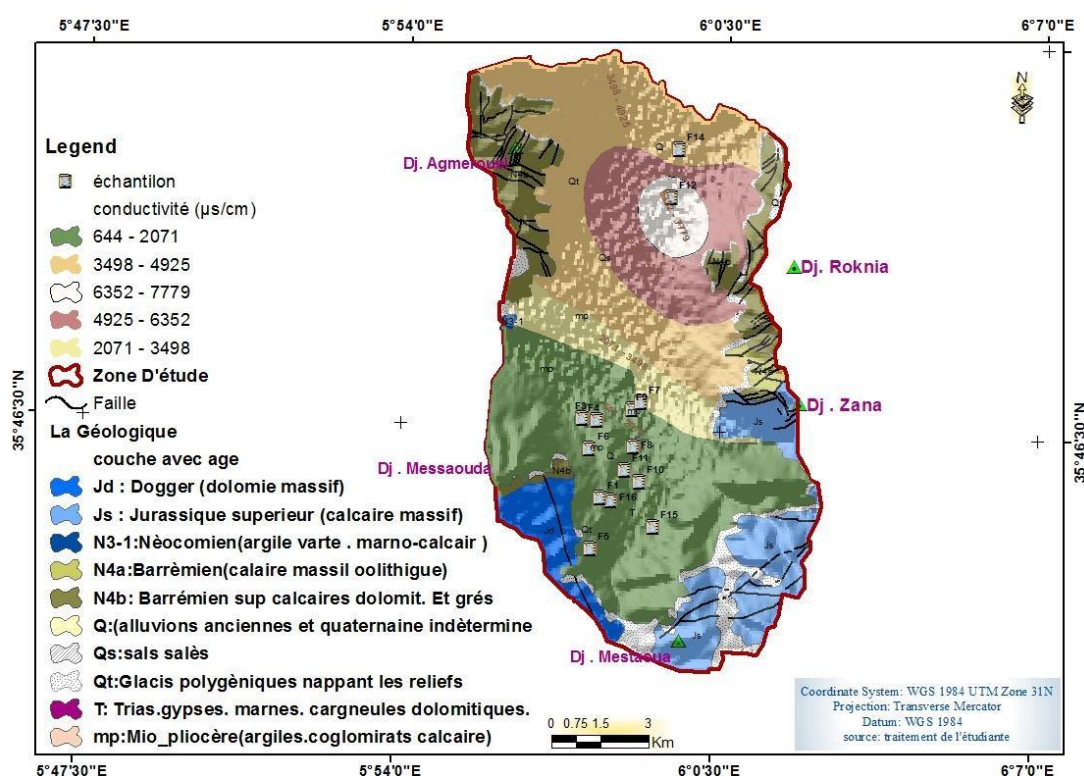


Figure 31 : Iso-valeur de la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.1.3. Le pontentiel hydrogène (pH)

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau; par définition le pH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration H:

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$$

Il exprime la concentration en ion H^+ d'une solution. Il doit être mesuré par pH-mètre.

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si : $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-] \Rightarrow \text{pH} > 7$: l'eau est basique.

$[\text{H}^+] > [\text{OH}^-] \Rightarrow \text{pH} < 7$: l'eau est acide. $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] \Rightarrow \text{pH} = 7$: l'eau est neutre .

Tableau 21 : Les variations de pH

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
pH	7,13	7,77	7,36647058	0,2	0,021

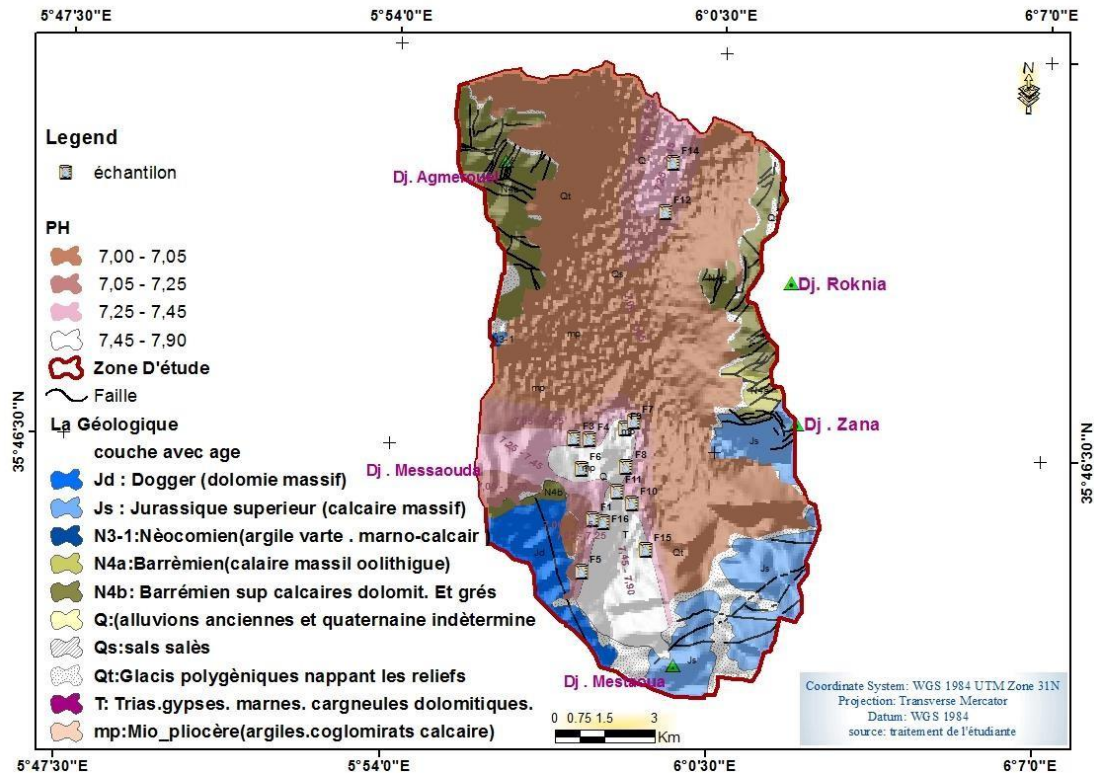


Figure 32 : Iso-valeur de pH de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi » (redessiné par Auteurs 2025).

Selon le (tableau 21), le pH des échantillons d'eau collectés dans la région fluctue entre une valeur minimale de 7,13 et une valeur maximale de 7,77. Ces valeurs restent conformes à la norme algérienne de potabilité. Selon la carte, le pH tend à devenir plus acide vers le nord et l'est de la région. De manière générale, les eaux de la zone étudiée présentent un pH proche de la neutralité.

VI.3.1.4. La salinité

La salinité d'une eau, révélée par son aptitude à conduire le courant électrique, dépend directement de sa concentration en ions. Elle constitue ainsi une mesure indirecte de la quantité de substances dissoutes.

Les principaux sels responsables de cette salinité sont ceux contenant le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), ainsi que les ions chlorure (Cl^-), sulfate (SO_4^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-).

Tableau 22 : Les variations de la salinité (%).

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
Sal %	0,3	4,3	1,2	1,4	1,13

Selon le tableau, on observe que la salinité des échantillons fluctue entre (0,3%) et(4,3%).

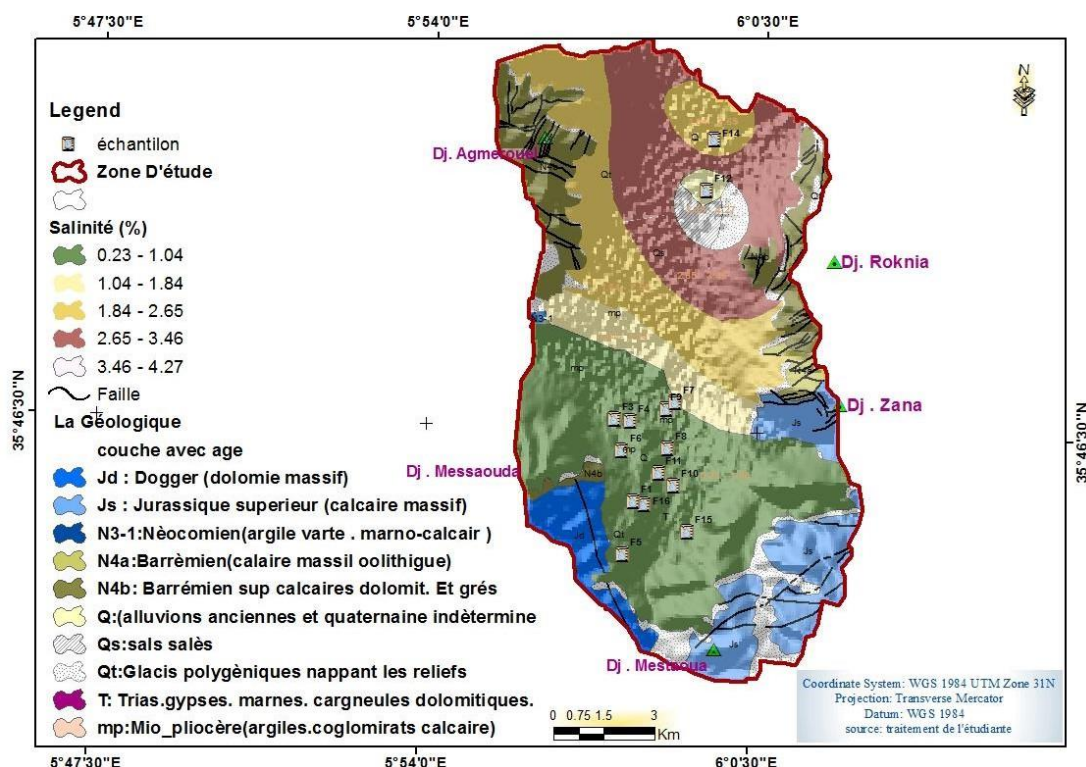


Figure 33 : Iso-valeurs de la salinité de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi »(redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.1.5. Oxygène dissous

La qualité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction et présente une évolution identique à celle du Eh. Les teneurs sont importantes dans les endroits où l'aquifère est constitué on observe une diminution des formations perméables. A l'inverse dans les endroits où il y a une couverture argileuse on observe une diminution des teneurs en oxygène [25].

Tableau 23 : Les variations de l'oxygène dissous

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
O ₂ (mg/l)	3,1	19,4	11,1	4,1	0,36

D'après le tableau on montre que l'oxygène dessous des échantillons varié entre 3,1mg/l comme minimum, et 19,4mg/l comme maximum .

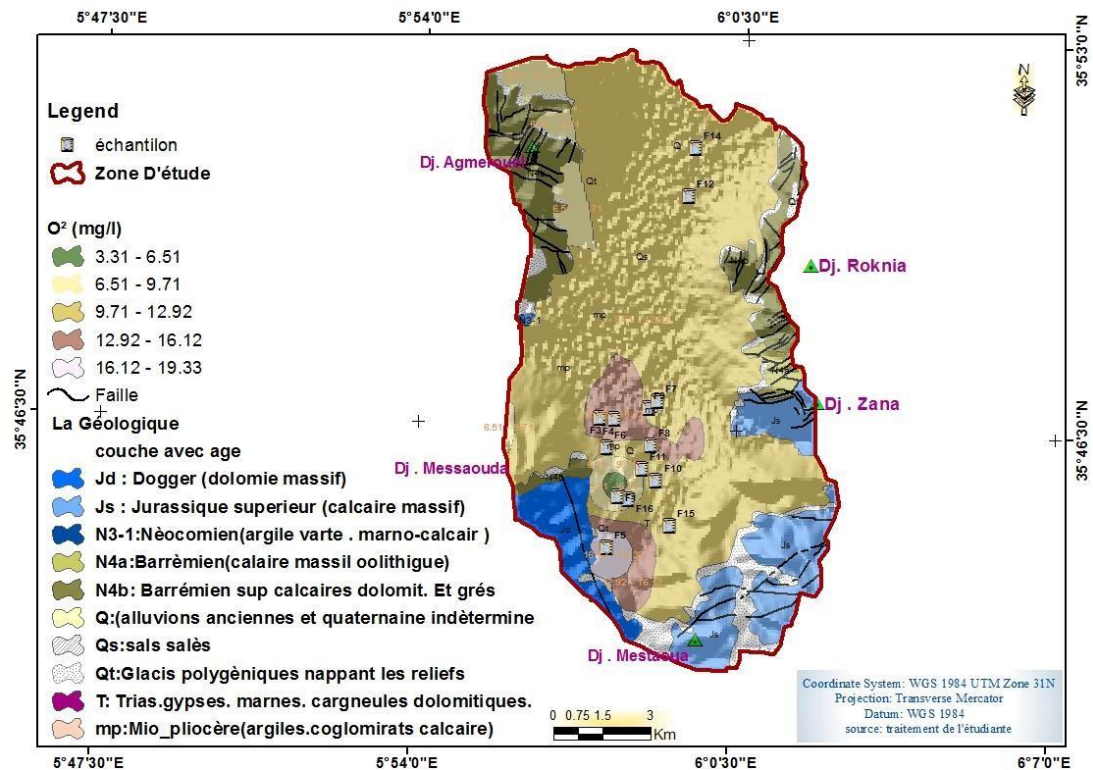


Figure 34 : Iso-teneur de l'oxygène dissous de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.1.6-Taux des sels dissous (TDS)

Le taux de solides dissous (TDS) correspond à la concentration des sels inorganiques dissous dans l'eau, tels que le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de magnésium (MgCl₂), entre autres.

L'augmentation de la salinité traduit une hausse de la concentration en ions, notamment le sodium (Na⁺), le magnésium (Mg²⁺) et le chlorure (Cl⁻), issus de la dissociation des sels en solution.

Selon les valeurs du TDS, on distingue plusieurs types d'eaux : Eaux douces : TDS < 1000 mg/L.

Eaux saumâtres : $1000 < \text{TDS} < 10\,000 \text{ mg/L}$ Eaux salines : $10\,000 < \text{TDS} < 100\,000 \text{ mg/L}$

Tableau 24 : Les variations de TDS.

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
TDS (mg/l)	298,0	4290,0	1170,1	1345,7	1,150

Les résultats d'analyse ont révélé que certains échantillons dépassent les limites de potabilité. Les valeurs de TDS oscillant entre 298,0 mg/l et 4290,0 mg/l. En effet, les valeurs obtenues sont supérieures au seuil fixé par l'OMS, soit 1000 mg/L. L'enrichissement en sels dissous s'observe du Sud vers le Nord-Est, suivant l'axe d'écoulement, ce qui s'explique par le lessivage des sols.

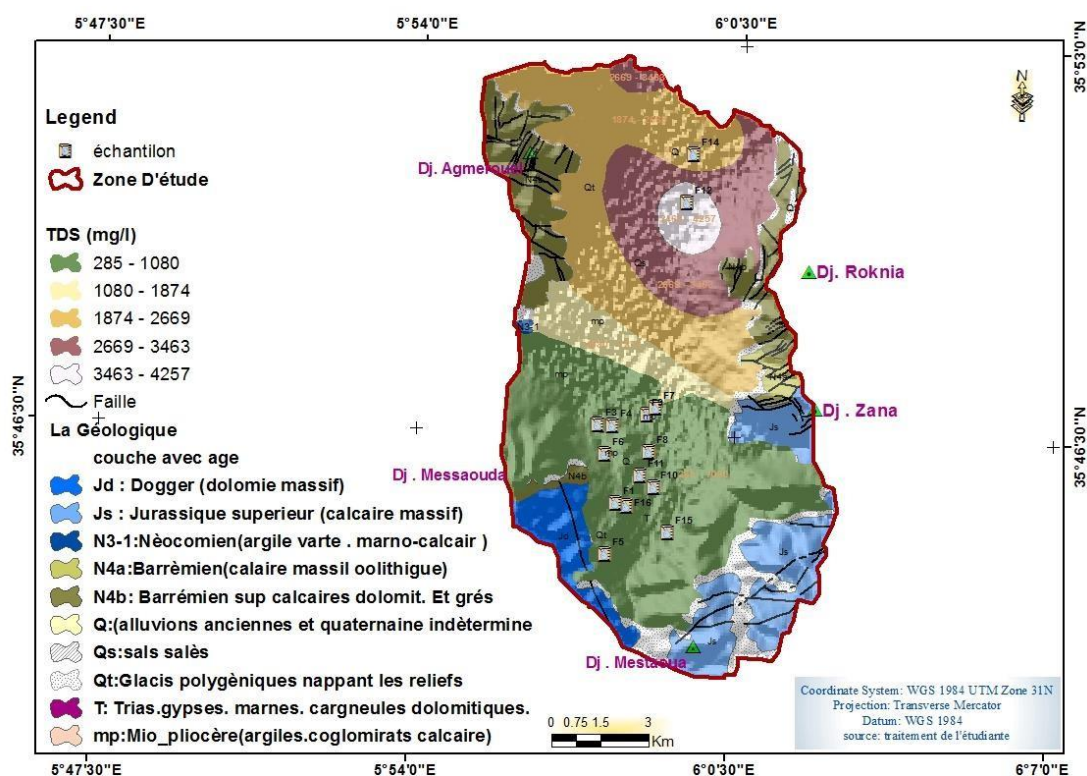


Figure 35 : Iso-valeurs de TDS (mg/l) de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.2. Etude analytique des paramètres chimiques

VI.3.2.1. Les cations

VI.3.2.1.1. Le Calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau provient principalement de deux sources naturelles : la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) ou celle des formations gypseuses (CaSO_4).





Les teneurs de calcium varient entre 55,02mg/l comme Minimum et 340,97mg/l comme Maximum (Tableau 25) on remarque un dépassement de la norme algérienne de potabilité (200 mg/l).

Tableau 25 : Les variations du calcium.

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
Ca ⁺⁺ mg/ l	55,02	340,97	146,2	86,9	0,59

VI.3.2.1.2. Le Magnésium (Mg²⁺):

C'est aussi une élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps. Il provient de l'attaque des formation dolomitiques par le gaz carbonique, de la dissolution de MgSO₄ dans les terrain gypseux entraînant le magnésium et aussi des minéraux ferromagnésiens

Tableau 26 : Les variations du Magnésium

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
Mg ⁺⁺ mg/ l	76,64	532,25	169,0	121,5	0,71

Les résultats des analyses ont montré que les eaux de cette région présentent des concentrations en magnésium (Mg⁺⁺) variant entre un minimum de 76,64mg/l et un maximum de 532,25 mg/l, avec une moyenne de 169,0mg/l et un coefficient de variation CV de l'ordre de 0,71. Il est à noter que ces concentrations dépassent la norme algérienne de potabilité (150 mg/l) (Tableau 26).

La carte révèle que les valeurs minimales de magnésium se concentrent dans la partie centrale de la région étudiée, tandis que les valeurs maximales sont réparties en périphérie. L'origine du magnésium est principalement liée aux affleurements dolomitiques présents dans la plaine

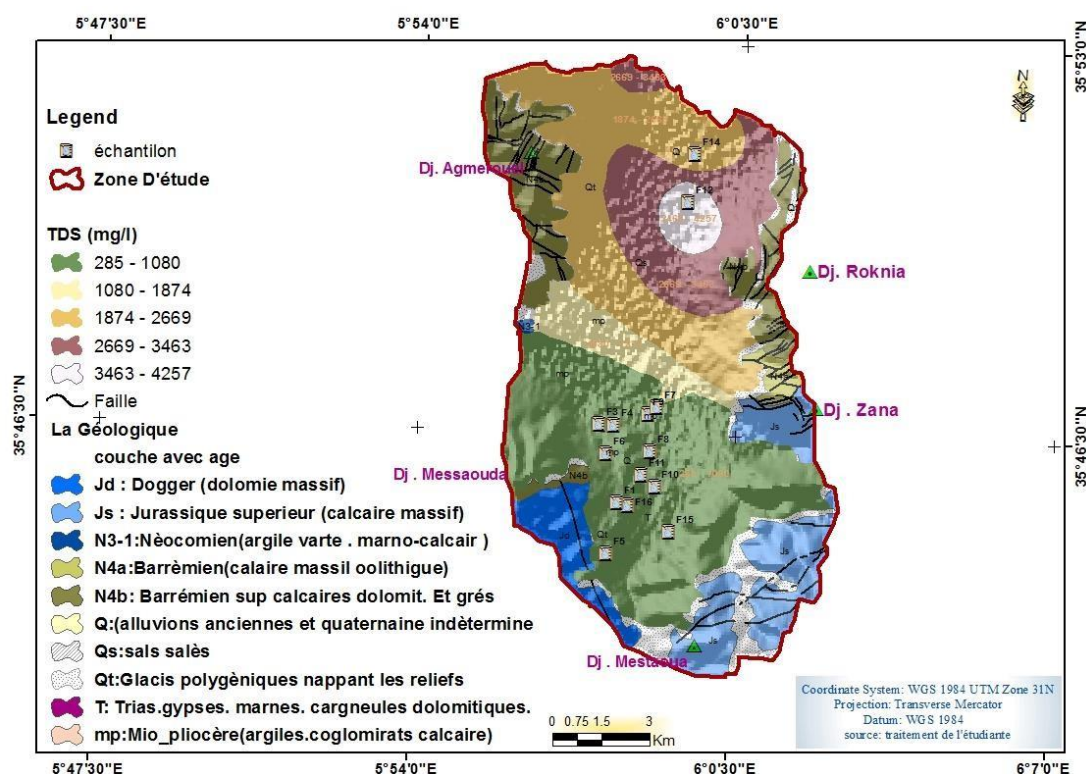
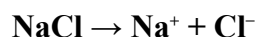


Figure 36 : Iso-teneur de Magnésium de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi » (redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.2.1.3. Le Sodium (Na⁺) :

L'origine du sodium dans les eaux souterraines est principalement liée à la dissolution des formations salifères, ainsi qu'à l'influence de la salinité marine. Cet

élément est généralement associé à d'autres ions tels que les chlorures et les sulfates, avec des proportions variables. L'équation suivante illustre cette association :



La principale source de sodium provient des roches évaporitiques, notamment l'halite (NaCl) et la mirabilite (Na₂SO₄·10H₂O). Sa présence dans les eaux est principalement due à la dissolution rapide de ces formations riches en sels. À titre de comparaison, la concentration en sodium dans l'eau de mer atteint environ 10 560 mg/l.

Tableau 27 : les variations de Sodium.

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
Na ⁺ mg/ l	24,0	800,0	180,8	265,1	1,46

À partir du(tableau27), on observe que les teneurs varient entre un minimum de 24,0 mg/l et un maximum de 800,0 mg/l, dépassant ainsi la norme algérienne de potabilité fixée à 200 mg/l. D'après la carte, de fortes concentrations sont localisées dans la partie Nord-Est, ce qui pourrait s'expliquer par un contact entre les eaux de surface et les eaux profondes à travers les failles . Les teneurs élevées sont principalement localisées à l'Est de la plaine, notamment aux abords des massifs de Dj Zana et Dj Roknia.

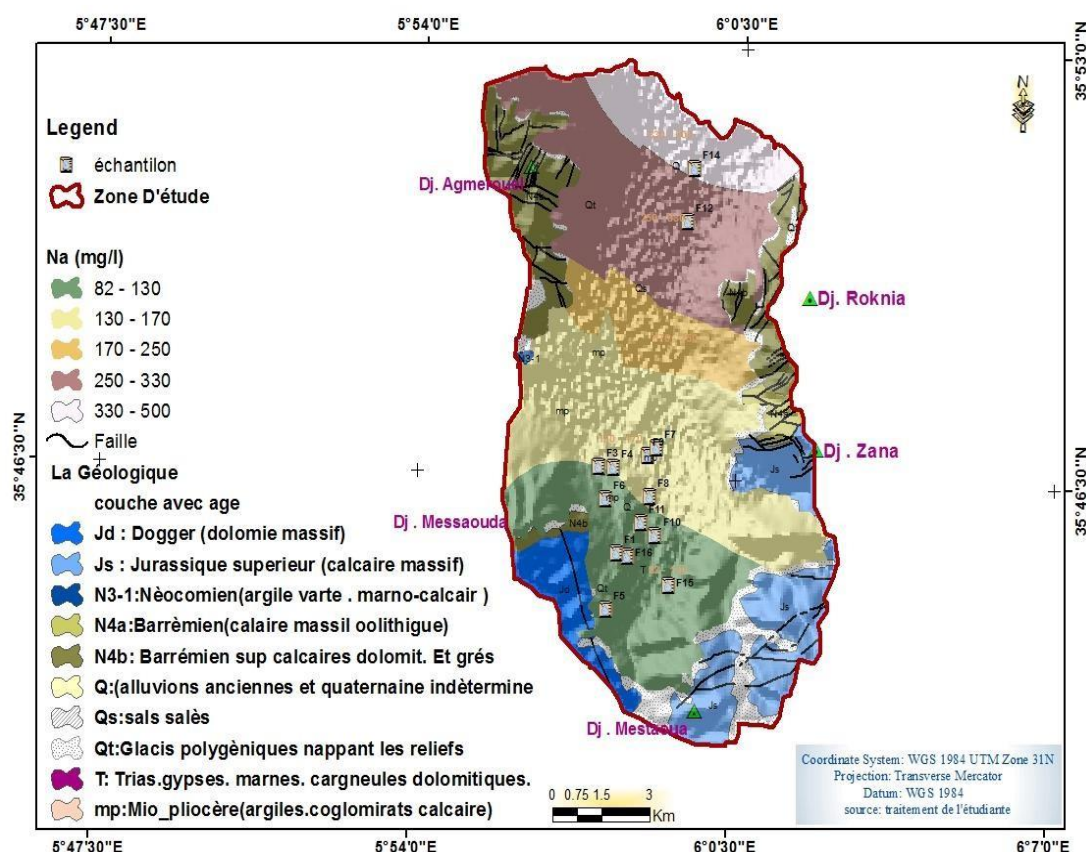


Figure 37 : Iso-teneur de Sodium (Na⁺) de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.2.1.4. Le potassium (K⁺)

Le potassium provient l'altération des formations silicatés (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques.

À partir du (Tableau 28), on observe que les teneurs varient de 0,33 mg/l à un maximum de 15,5 mg/l. La carte met en évidence des concentrations élevées au centre de la plaine. Cette accumulation est principalement due au ruissellement des eaux entraînant les engrais chimiques (NPK) vers la zone centrale, qui correspond à une dépression topographique.

Tableau 28 : les variations du Potassium.

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
K+ mg/ l	0,33	15,5	3,7	4,2	1,14

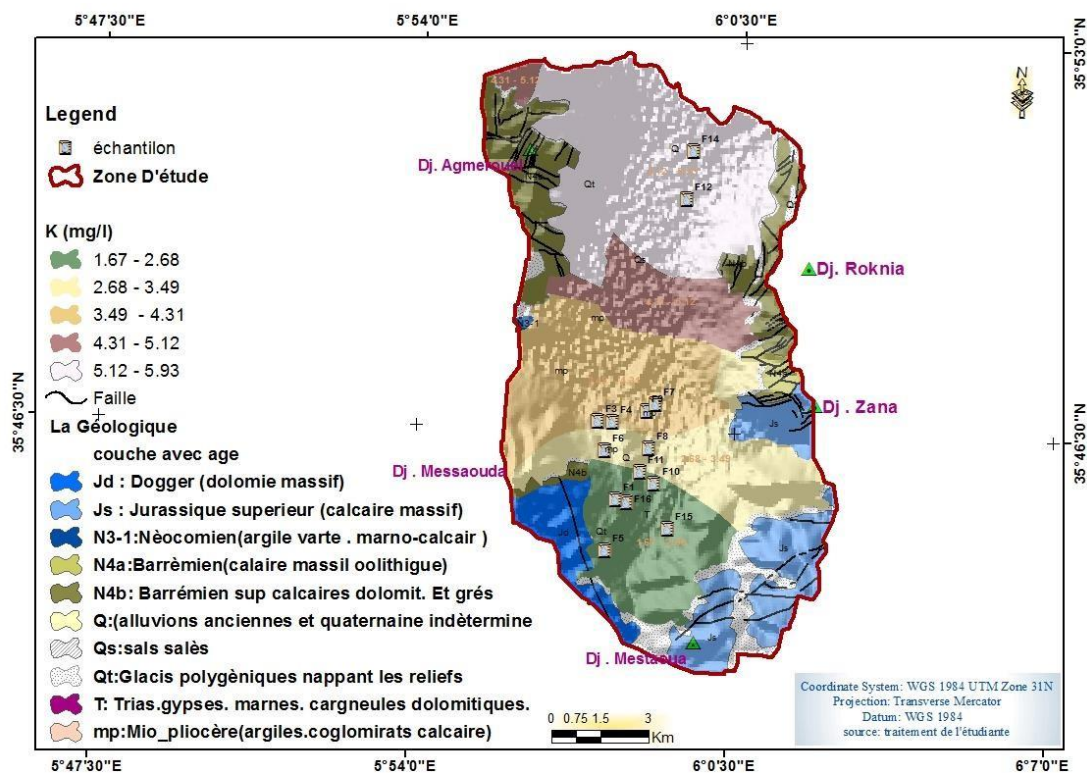


Figure 38 : Iso-teneur de potassium de la plaine « Bled EL Merdja El Hassi » (redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.2.2. Les anions

VI.3.2.2.1. Les Chlorures (Cl-)

Les chlorures sont toujours présents dans les eaux naturelles, avec des concentrations très variables. Leur présence dans les eaux souterraines résulte principalement de la dissolution de sels naturels, notamment la sylbite (KCl) et l'halite (NaCl).

À partir du (tableau29), on constate que les teneurs en chlorures varient entre 12,91 mg/let 1794,36mg/l, dépassant ainsi la norme algérienne de potabilité fixée à 500 mg/l. Les concentrations les plus élevées sont localisées dans le nord-est de la plaine. Cette situation peut s'expliquer, d'une part, par une origine salifère liée au lessivage des formations évaporitiques le long de l'axe d'écoulement, et d'autre part, par une origine anthropique, notamment les rejets issus des réseaux d'assainissement.

Tableau 29 : Les variations de chlorure Cl^-

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
Cl - mg/ l	12,91	1794,36	382,3	572,1	1,49

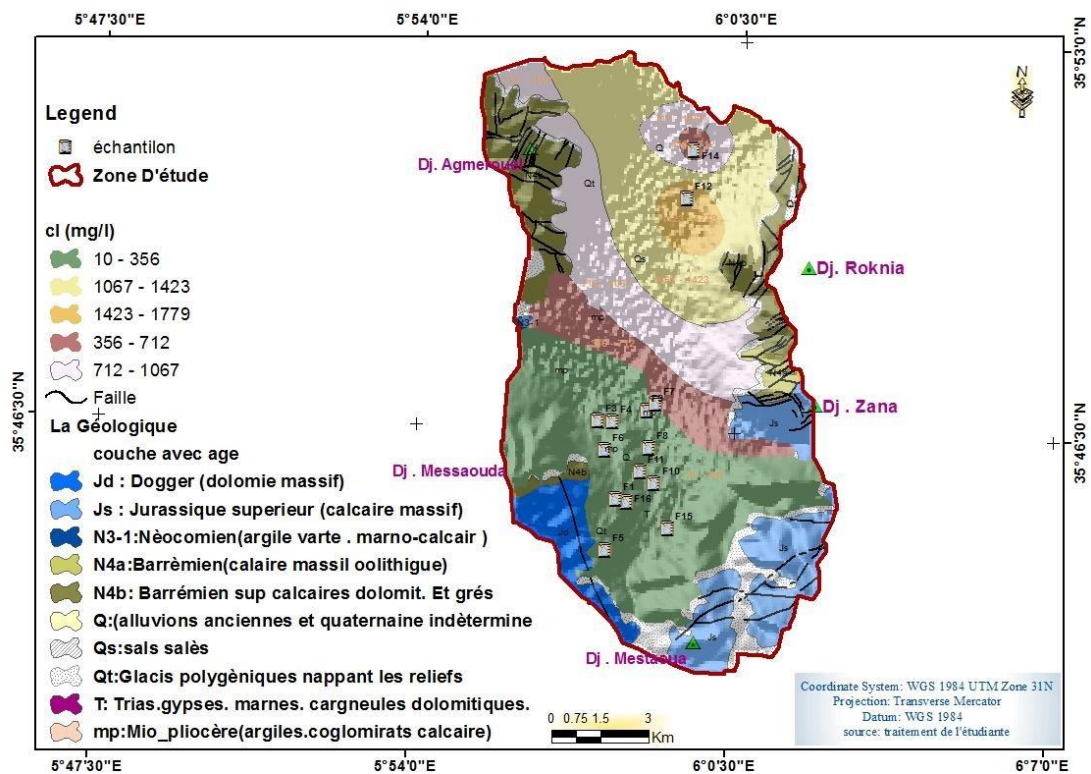


Figure 39 : Iso-teneur de Chlorure de la plaine de « Bled EL Merdja El Hassi»
(redessiné par Auteurs 2025)

VI.3.2.2.2. Les Sulfates (SO_4^{2-}):

L'augmentation de teneur des Sulfates peut être dues à :

- Des pluies où le soufre est présent dans l'atmosphère subissant une oxydation avec extension.
- La solubilité du gypse
- L'utilisation des engrais chimiques
- La dégradation de la matière organique dans le sol [27].

À partir du (tableau30), on observe que les teneurs en sulfates varient entre 10,65

et 950,0 mg/l, dépassant ainsi la norme algérienne de potabilité fixée à (400 mg/l). Selon la carte, les concentrations les plus élevées se situent au centre de la plaine, ce qui s'explique par le lessivage des formations gypseuses le long de l'axe d'écoulement.

Tableau 30 : Les variations de Sulfate.

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
SO ₄ ⁻² mg/l	10,65	950,0	136,4	241,0	1,76

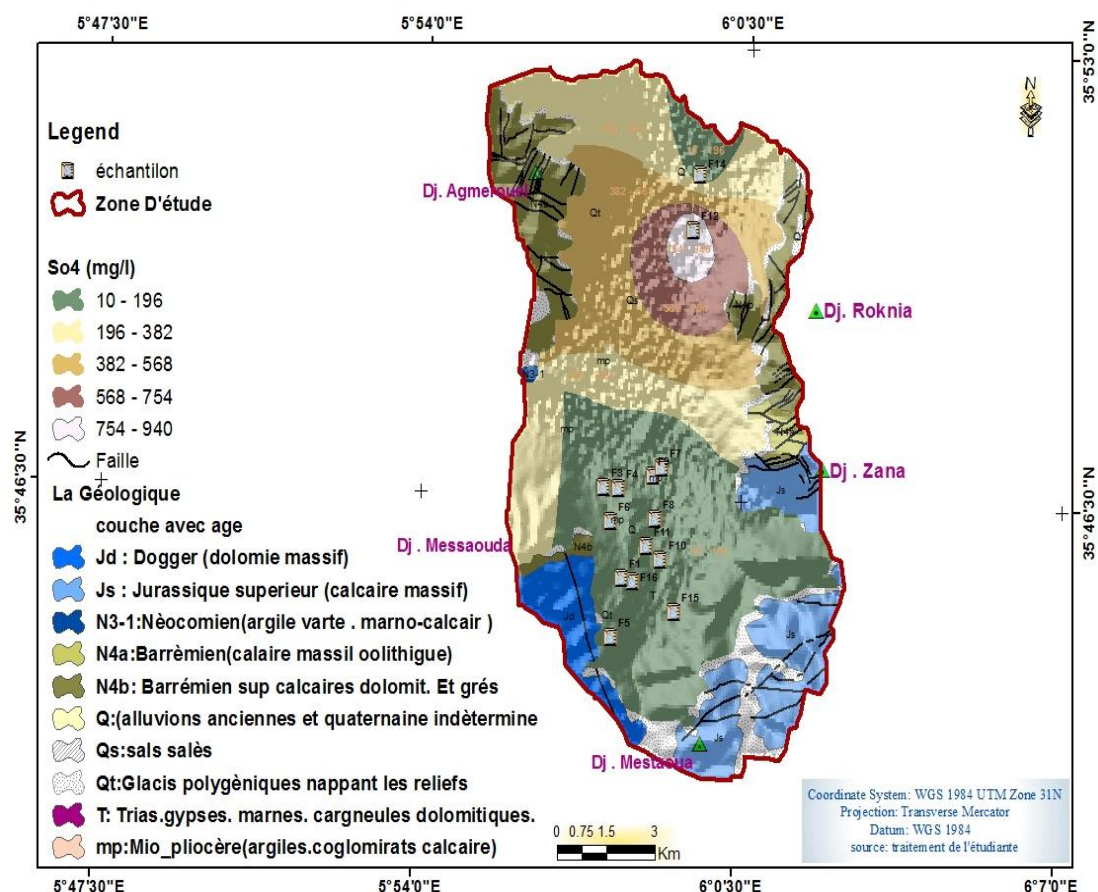


Figure 40 : Iso-teneur Sulfate de la plaine de « Bled EL Merdja El Hassi» (redessiné par Auteurs 2025).

VI.3.2.2.3. Les bicarbonates (HCO₃⁻)

Les Bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique : (La roche-l' eau et le gaz carbonique) selon l'équation générale suivante:



À partir du (tableau 31), on constate que les teneurs en bicarbonates varient entre 183,0 mg/l et 424,7 mg/l, dépassant la norme algérienne de potabilité fixée à 300 mg/l.

Tableau 31 : Les variations des Bicarbonates.

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	183,0	424,7	272,4	49,7	0,1821

VI.3.2.2.4. Les Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates (NO₃⁻) sont des ions naturels présents partout dans l'environnement.

Les sources de nitrates dans l'eau ,en particulier les eaux comprennent les matières animales et végétales en décomposition, les engrais agricoles, le fumier, les eaux usée domestiques et les formations géologiques contenant des composés azotés solubles.[21].

À partir du (tableau 32), on observe que les concentrations en nitrates varient entre 2,2 mg/ et 165,2 mg/l. Les valeurs les plus élevées sont localisées au nord-est et à l'ouest de la plaine, ce qui suggère une origine principalement anthropique, liée aux rejets domestiques et aux insuffisances des systèmes d'assainissement.

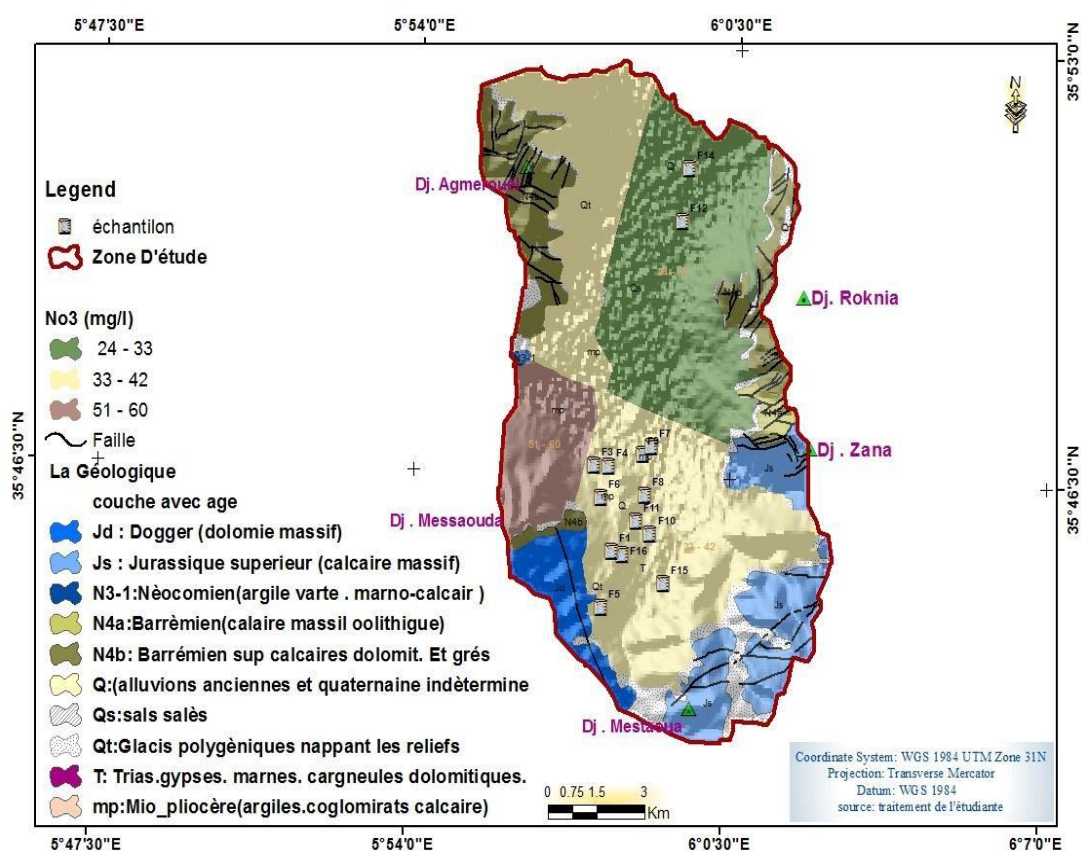


Figure 41 : Iso-teneur de nitrate de la plaine de « Bled EL Merdja El Hassi » (redessiné par Auteurs 2025).

Tableau 32 : les variations des nitrates.

Statistique	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Cv
NO_3^- mg/ l	2,2	165,2	40,9	47,1	1,15

VI.4. Etude Hydrochimique des eaux

➤ Identification des faciès chimiques

L'interprétation des résultats d'analyses vise à identifier les faciès chimiques et à permettre une comparaison spatio-temporelle. Pour ce faire, plusieurs méthodes graphiques ont été utilisées, notamment celles de Schoeller-Berkaloff, de Piper et de Stabler.

VI.4.1. Diagramme de Piper:

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines. Il permet également de visualiser l'évolution d'une eau passant d'un faciès à un autre, que ce soit à travers des analyses réalisées à différents moments ou à partir d'échantillons prélevés en divers lieux.

Cet outil est particulièrement utile pour regrouper et interpréter divers types d'analyses hydrochimiques. Il se compose de deux triangles

- l'un pour les cations, l'autre pour les anions
- et d'un losange central.

Les deux triangles sont complétés en premier, puis les données sont projetées dans le losange. Les concentrations utilisées sont exprimées en millivalents par litre (meq/L).

Les eaux de la nappe Mio-Plio-Quaternaire de la plaine de Bled-El-Merdja se répartissent principalement entre deux faciès :

- le faciès bicarbonaté calcique-magnésien
- le faciès chloruré-sulfaté calcique-magnésien.

Diagramme de Piper

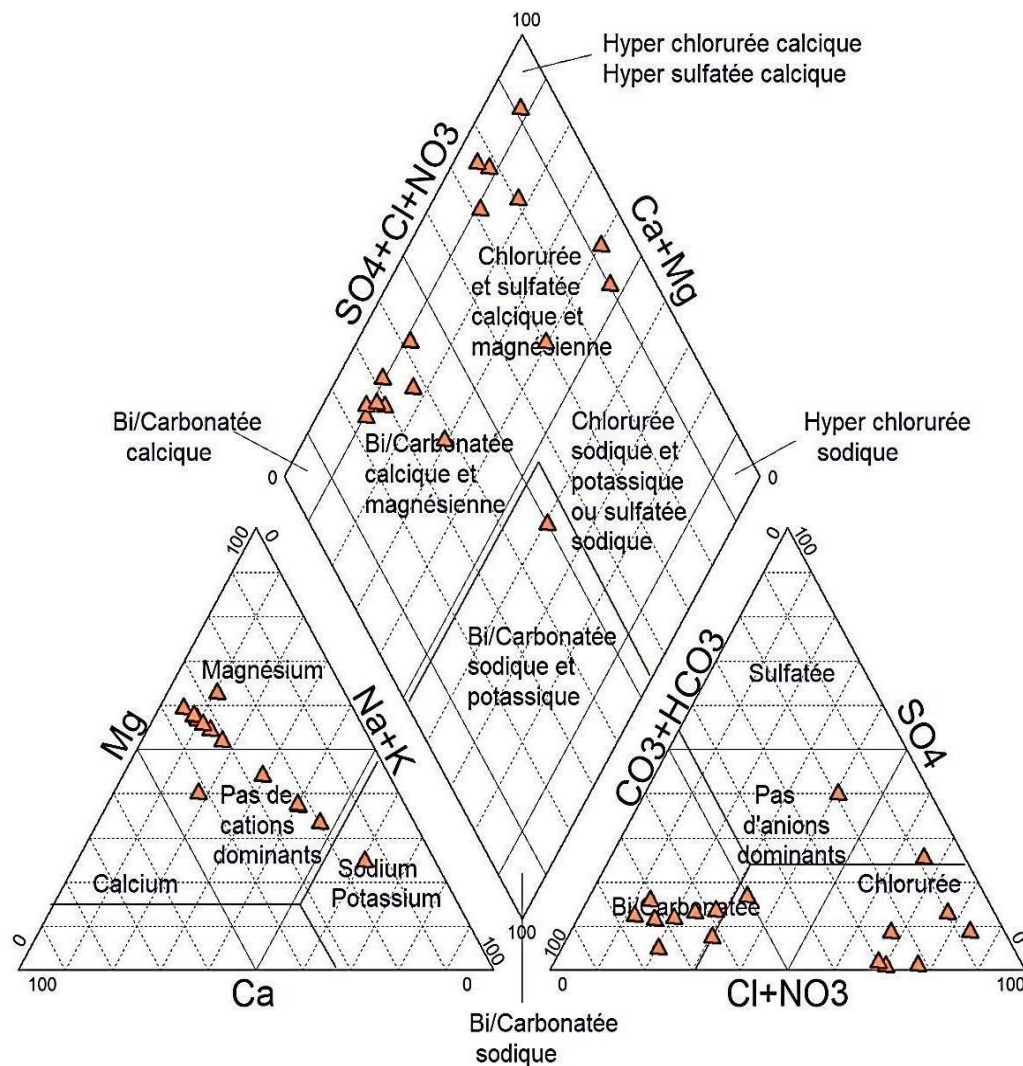


Figure 42 : Diagramme de Piper pour l'échantillon de« Bled EL Merdja El Hassi »

VI.4.2. Diagramme de Schoeler ou Berkaloff :

Le diagramme de Schoeler ou Berkaloff est un outil graphique utilisé pour représenter visuellement les titres caractéristiques d'une eau, tels que :

- le titre d'alcalimétrie
- le titre en sels d'acides forts
- et le titre d'hydrotimétrie

Développé à partir des travaux de H. Schoeler (1932) et adapté ensuite par Berkaloﬀ, ce diagramme repose sur la représentation comparée des cations et des anions sous forme de barres verticales symétriques, chacune représentant 100 % de charge ionique :

50 % pour les anions, 50 % pour les cations.

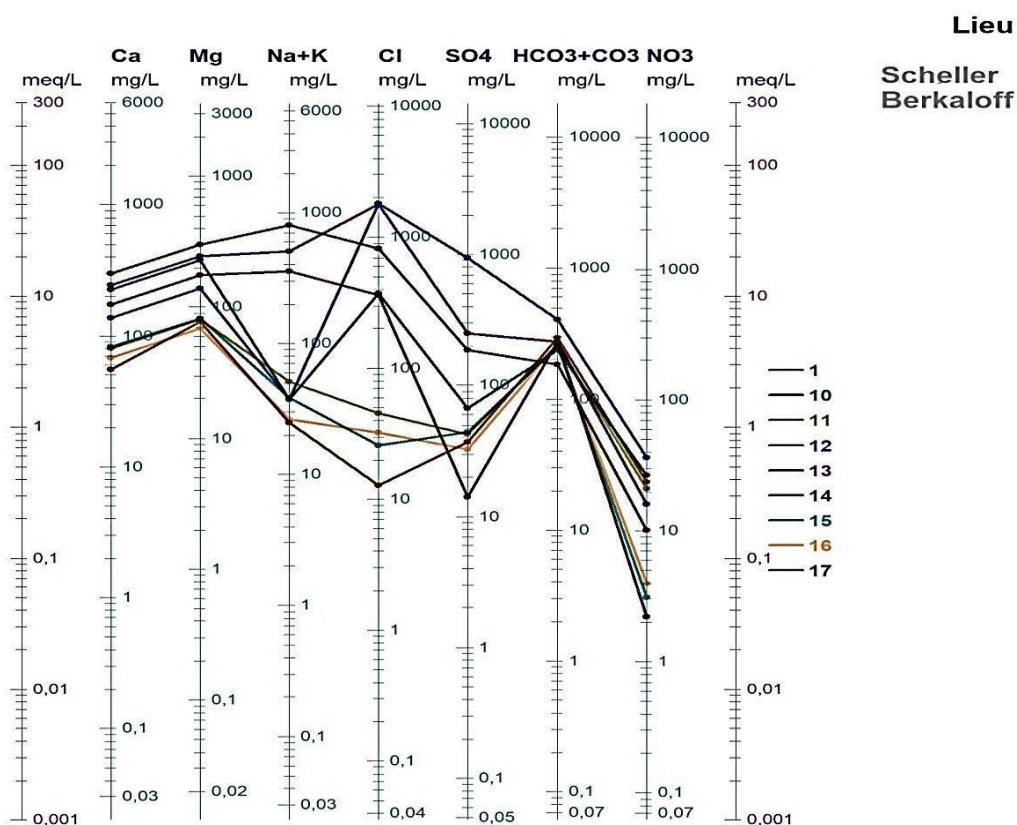
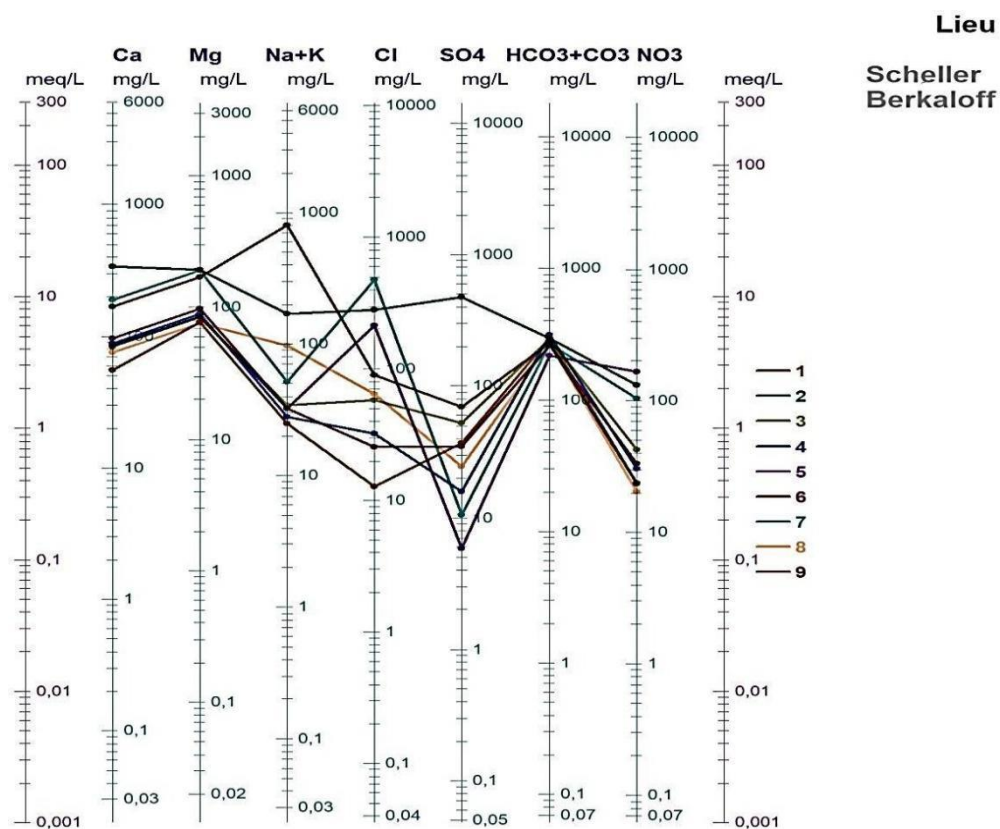


Figure 43 : Diagramme de Schoeler Berkaloff pour l'échantillon de « Bled EL Merdja El Hassi »

VI.4.3. Diagramme de Stabler

Le diagramme de Stabler est un outil graphique utilisé pour déterminer rapidement les différents titres d'une eau :

le titre d'alcalimétrie,

le titre en sels d'acides forts, et le titre d'hydrotimétrie.

Pour cela, les concentrations des anions et des cations (exprimées en méq/L) sont reportées sur deux barres ou colonnes distinctes, de même longueur. Ces concentrations sont converties en pourcentages, de manière à ce que la moitié (50 %)

de la colonne corresponde à la somme totale des anions, et l'autre moitié (50 %) à celle des cations[21].

La quantité en réaction en pourcentage (r %) d'un élément chimique est alors déterminée selon la formule :

$$r\% = \frac{r * 100}{c}$$

où :

r % : pourcentage de la quantité en réaction de l'élément, r : quantité en réaction de l'élément chimique (en mg/L),

c : concentration de l'élément chimique dans l'eau (en mg/L).

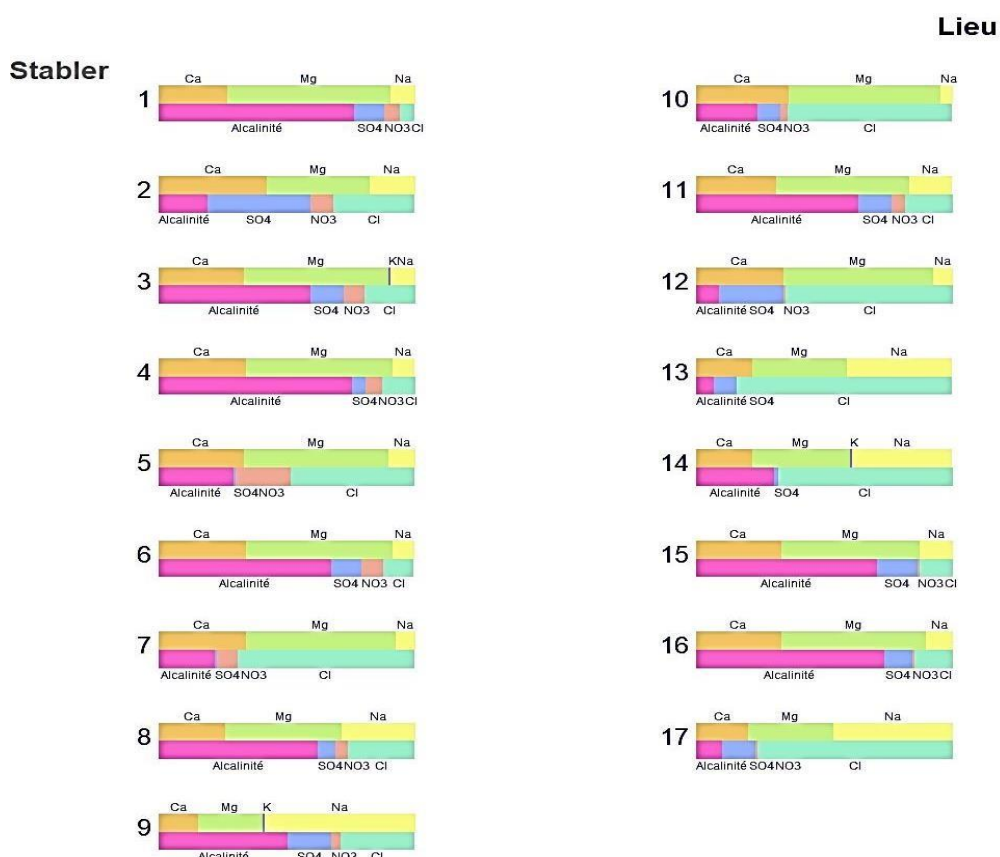


Figure 44 : Diagramme de Stabler pour l'échantillon de « Bled EL Merdja El Hassi »

D'après le diagramme de Stabler on remarque Les ions dominants sont : Ca, Mg, HCO_3^- , Cl

VI.5. Aptitude de l'eau à l'irrigation

Parmi toutes les activités humaines, l'irrigation représente de loin la plus grande consommatrice d'eau. Il est donc essentiel de disposer de ressources hydriques ayant des propriétés physico-chimiques compatibles avec les besoins des plantes.

La plaine de Bled El Merdja El Hassi est une région à vocation agricole, où l'on pratique principalement la culture des céréales et des légumes (maraîchage). Cependant, les eaux utilisées pour l'irrigation dans cette zone présentent des teneurs élevées en certains éléments chimiques, ce qui peut constituer un risque réel pour la productivité agricole.

En effet, une accumulation excessive de sels au niveau du système racinaire peut entraver la croissance des plantes, tandis qu'une salinité élevée peut altérer la structure physique du sol, notamment en réduisant sa perméabilité, ce qui nuit à l'infiltration de l'eau et à l'aération racinaire.

VI.5.1. S.A. R

L'abondance du sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium (R.S. AYERS et D.W. WESTCOT, 1988), dans de telles conditions, il devient extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture, le risque est déterminant à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio) (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique [23].

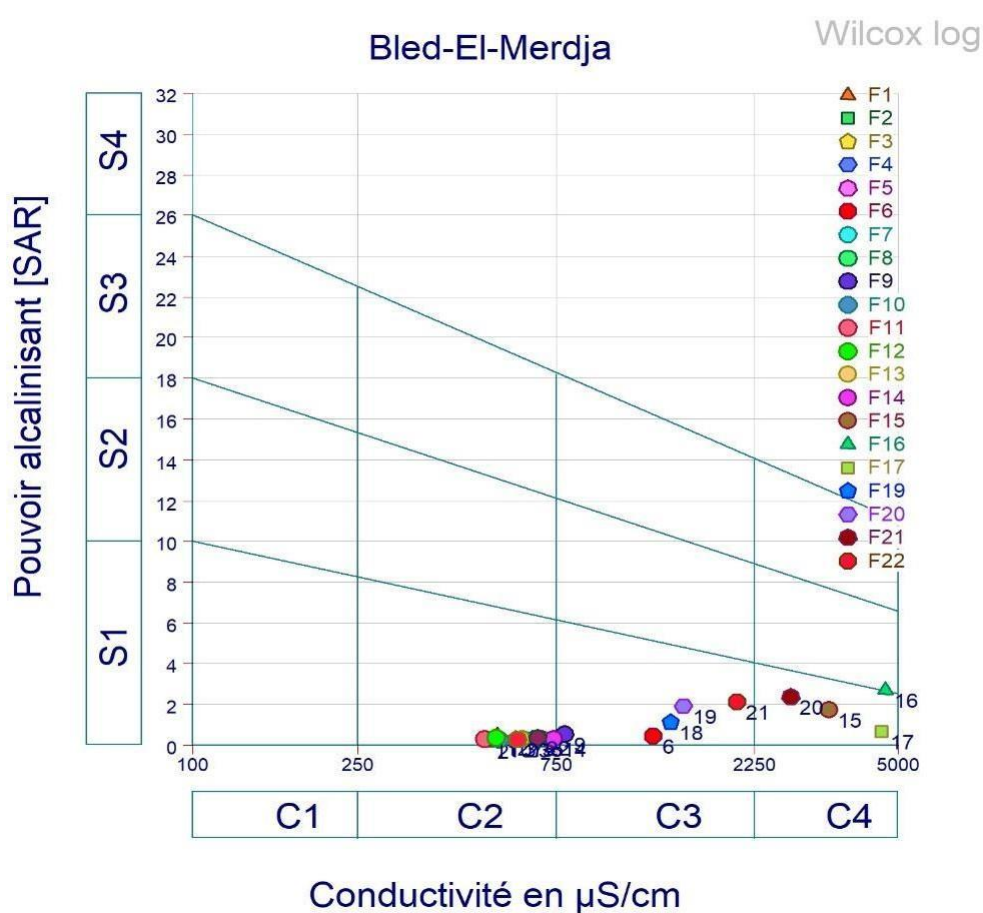


Figure 45 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR)

Ce diagramme est principalement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il s'appuie sur deux paramètres essentiels :

La conductivité électrique (CE), qui reflète la salinité de l'eau,

L'indice d'adsorption du sodium (SAR), qui mesure le risque de sodisation du sol lié à l'usage d'eaux sodiques en irrigation.

Le diagramme est divisé en quatre classes de risque de sodisation, allant de faible à très élevé.

Selon l'analyse des eaux de la plaine de Bled-El-Merdja, la majorité des échantillons présentent un risque faible, ce qui les rend globalement adaptées à l'irrigation agricole.

Cependant, quatre échantillons (n°15, 16, 17 et 20) présentent une qualité médiocre, signalant un risque plus élevé de dégradation des sols s'ils sont utilisés sans précaution pour l'irrigation. Cela souligne la nécessité d'une surveillance régulière et, le cas échéant, de mesures correctives pour préserver la qualité des sols.

Tableau 33 : Classification de WILCOX .

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions . Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

VI.5.2. Le pourcentage de sodium (classification de WILCOX) Diagramme de Wilcox.

a répartition sur le diagramme de wilcox dévoile que la majorité des points d'eau sont excellente à bon pour l'irrigation est seulement 3 point (F15, F16, F17) sont de qualité médiocre.

$$\%Na = [(rNa+) / (rCa+Mg+NA+K)] * 100$$

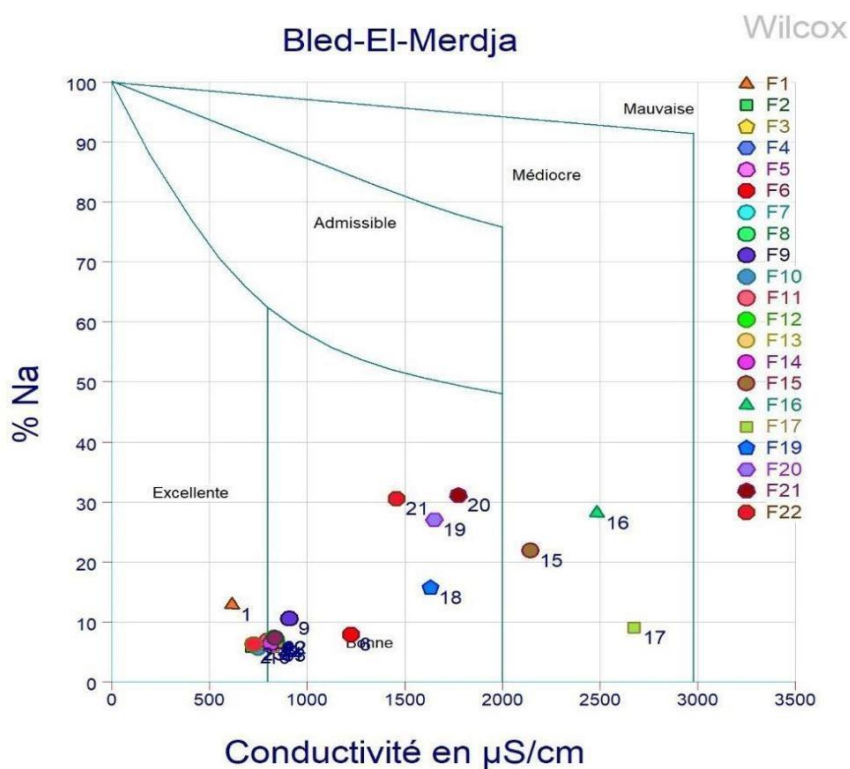


Figure 46 : Diagramme de wilcox log .

Tableau 34 : Normes Algériennes de potabilité

Paramètre	Valeur	Unité
Paramètres Physico-Chimiques		
Température	25	C°
Ph	6.5-8.2	-
Conductivité	2800	µs/cm

Durée	50	F°
Calcium	200	Mg/l
Magnésium	150	Mg/l
Sodium	200	Mg/l
Potassium	12	Mg/l
Chlorure	500	Mg/l
Sulfate	250	Mg/l
R, SEC	2000	Mg /l
Substance Indésirables		
Nitrates	50	Mg/l
Nitrites	0.2	Mg/l

Conclusion

L'interprétation des diagrammes de Piper, Schoeller-Berkaloff et Stabler a permis de constater que les eaux de la plaine sont majoritairement de type chloruré- sulfaté ou bicarbonaté-magnésien.

Sur le plan de la potabilité, les résultats indiquent que la majorité des eaux présentent une qualité globalement bonne, conforme aux normes algériennes pour l'alimentation en eau potable (AEP). En revanche, leur aptitude à l'irrigation varie de bonne à médiocre, selon les teneurs en certains éléments chimiques.

L'étude a également révélé que la composition chimique des eaux souterraines n'est pas uniquement déterminée par la nature géologique des formations traversées. Elle est aussi influencée par des activités anthropiques, notamment l'utilisation d'engrais chimiques et les rejets d'eaux usées, comme en témoigne la présence accrue de nitrates et de potassium.

Enfin, l'analyse des données hydrochimiques a mis en évidence une hétérogénéité notable des paramètres physico-chimiques, reflétant la complexité des interactions entre les eaux, les sols, et les activités humaines dans la région.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les études menées dans la région de Bled-El-Merdja nous ont permis d'approfondir la compréhension des paramètres hydrochimiques et hydrogéologiques relatifs aux eaux souterraines de la nappe superficielle, ainsi que d'identifier les principales sources de pollution affectant cette ressource.

À l'issue de cette contribution, les points essentiels à retenir sont les suivants :

La région de Bled-El-Merdja (El Hassi, Ain Djasser) se caractérise par une topographie globalement plane, avec une pente très faible. Elle fait partie du sous- bassin 07-02, rattaché au bassin versant 07 des Hautes Plaines Constantinoises. Cette zone est soumise à un climat semi-aride, marqué par l'influence des courants humides méditerranéens en hiver et des vents chauds sahariens en été.

La zone d'étude fait partie de l'ensemble sud sétifien formé roches sédimentaires où on disting:

- ✓ Des formations du Mio-plio-Quaternaire constituées essentiellement de conglomérats et d'alluvions , ces formations, dont l'épaisseur moyenne, constituent une structure favorable au développement de la nappe superficielle
- ✓ Des formations carbonatées du crétacé et du Jurassique qui entourent la plaine sont favorables à l'existence d'une nappe profonde de grande capacité
- ✓ Des formations Triasiques d'argiles et de marnes gypsifères affleurant au Nord à Bled Tachema et au Sud à Bled El Merdja

L'examen des cartes de résistivités et les coupes géoélectriques ont permis de cerner la géométrie et l'extension des différentes nappes , ceci a permis de mettre en évidence la superposition de deux aquifères:

- ✓ Aquifère superficiel objet de l'étude contenu dans les formations du Mio- plio – Quaternaire
- ✓ Aquifère profond des calcaires fissurés

Du point de vue hydrogéologique, l'étude de la nappe superficielle révèle une alimentation directe très limitée par infiltration des eaux de pluie, en raison de la faiblesse des précipitations. En revanche, elle bénéficie d'une alimentation latérale importante, en provenance des massifs calcaires

Cet aquifère se caractérise par une faible profondeur de nappe, ce qui le rend facilement accessible à l'exploitation. Toutefois, cette accessibilité favorise une surexploitation, qui se traduit par un abaissement du niveau piézométrique et une dégradation progressive de la qualité de l'eau.

La surface piézométrique conserve une morphologie cohérente avec la topographie locale, tout en présentant des fluctuations saisonnières, en lien avec les précipitations.

Le sens préférentiel de l'écoulement des eaux souterraines s'effectue du sud vers le nord.

L'analyse chimique des eaux a révélé une prédominance des ions chlorure et sulfate, principalement liée à la nature géologique des formations traversées. Ces anions sont accompagnés, dans une moindre mesure, par des concentrations notables en magnésium, sodium et calcium, souvent associés aux sulfates. Sur le plan de la qualité, les eaux présentent une potabilité variable, allant de bonne à médiocre selon les échantillons, en ce qui concerne leur usage pour l'alimentation en eau potable.

Pour l'usage agricole, leur qualité est également hétérogène, allant de bonne à mauvaise, avec un risque réel de salinisation des sols, susceptible d'affecter durablement la productivité des cultures.

au vu de ce qui a été cité précédemment, il est préférable pour le bon suivi et la bonne exploitation des eaux souterraines de cette région de prendre les dispositions suivantes:

- ✓ Prévoir des piézomètres de contrôle loin des zones d'influences pour avoir des données fiables
- ✓ Veiller à une meilleure gestion des eaux en évitant l'exploitation anarchique des eaux souterraines par les nombreux sondages existants concernant l'implantation, la réalisation et l'exploitation
- ✓ Faire les analyses chimiques nécessaires pour déterminer la destination de l'eau afin de connaître s'il y a risque d'utilisation tout en ayant à disposition l'étude du sol pour une agriculture programmée
- ✓ Connaître les conditions et les limites d'exploitation ainsi que la qualité des eaux leur destination

En conclusion, nous espérons que l'étude menée au niveau de la plaine d'Ain Djasser, située en zone semi-aride, a permis d'apporter un ensemble d'informations complémentaires et de

précisions utiles. Ces résultats pourront, nous l'espérons, contribuer à orienter les futurs travaux en matière de gestion et de maîtrise des ressources en eau dans la région.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrique.**
- [2] **ARARIA. N, KHELIFA. Kh(2015):**Etude Hydrogéologique et Caractéristiques Hydrochimiques des Eaux Souterraines de la Région de Sougueur (Wilaya de Tiaret).Memoire de Master.Université Ibn Khaldoun Tiaret.
- [3] **ATHAMENA. A.(2018):**Origine et devenir dans les eaux souterraines cas de la région de Zana, Est algérien(Université Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd) .
- [4] **ATHAMENA. A. (2018):** Thèse Doctorat. Flux azoté : origine et devenir dans les eaux souterraines, cas de la région de Zana. Est algérien. Université de Batna 2.
- [5] **ATHAMENA. M. (2006):** Etude des ressources thermales de l,ensemble allochtone sud sétifien, Thèse de Magister, Option : mobilisation des ressources hydriques, Département de l,hydraulique, Faculté des sciences de l,ingénieur, Université de Batna.
- [6] **AZLAOUI M. (2010):** Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation du synclinal d'AIN BEL Wilaya DE DJELFA. Mémoire de Magister, Université d'OUERGLA.
- [7] **Belalite. H . (2021):** Etude hydrogéologique des plaines de Zana et de Gadaïne dans un contexte de changement climatique et de contraintes anthropiques pour l'élaboration d'un schéma de gestion intégrée des ressources en eau (Nord- Est algérien) Université Mostefa Ben Boulaïd. Batna 2.
- [8] **BELKACEM.EL.M.(2016):**ESTIMATION DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES DE LA NAPPE DE AIN DJASSER W BATNA .Memoire de master.
- [9] **Boussbaa.N,Boughedid.R,Mokrane.N(2023):** Approche hydrogéologique et caractérisation hydrochimique des eaux souterraines de l'aquifère superficielle de la plaine chott Gadaïne-Lazrou, Wilaya de Batna, est Algérien(Université deAbdelhafid Boussouf - Mila).
- [10] **BOUTELDJAOUI.F.(2020):**Hydrogéologie, modélisation et gestion des ressources hydriques en zone semi-aride (Cas de la région de Djelfa)(Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche ScientifiqueÉcole Nationale Polytechnique) .
- [11] **Chabour.(1997) :** Etude hydrogéologique de la plaine d,,Ain Djasser-Zana. Mémoire de magister, Univ. De Constantine. p .200.

- [12] **CASTANY G. (1963)** : Traitement pratique des eaux souterraines. Dunod édit. Paris. 661 pages .
- [13] **Compagne Générale de Géophysique. (1969)**:Prospection géophysique des Chotts Gadaïne et Saboun et de la plaine d,El Madher, p.39.
- [14] **Dib.I (2009)**: L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaïne-Ain Yagout (Est Algérien). Université. Hadj Lakhdar-Batna.
- [15] **Dib.I.(2020)**: Vulnérabilité intrinsèque et risque de pollution des eaux souterraines par l'activité agricole de la plaine de Gadaïne - Ain Yagout, W. Batna (Nord- est algérien).Université des Frères Mentouri - Constantine 1.
- [16] **Emberger L. (1955)**:Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux des laboratoires de botanique, géologie et zoologie de la faculté des sciences de l,université de Montpellier (Série Botanique), Fascicule 7, p.3-43.
- [17] **Glaçon J. (1967)**: Recherches sur la géologie et les gites métallifères du Tell Sétifien Bull. serv. géol. Alger, 2 volumes; cartes.
- [18] Guiraud R. (1990). Evolution Post-Triasique de l'avant pays de la chaine Alpine en Algérie, Public. Office national de la géologie, Alger 259 P.
- [19] **Kinoucha.S,Atma.Kh.Zouaghi.M.(2023)**:Approche Hydrogéologique et caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de l'aquifère superficielle de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout, wilaya de Batna, Est algérien.(Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila).
- [20] **Hamdi. A , Zeghoud M.(2017)**:Evaluation la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation, problème et solution, cas de la région de Biskra (Sud-est Algérien).Memoire de master.Université d'El-Oued.
- [21] **LARBI. N,BOUZOUAL. M(2023)** :*Caractérisation Hydrochimique des Eaux Souterraines de la Nappe Superficielle de Bled-El-Merdja, Ain Djasser, Est algérien.* MÉMOIRE Présenté en vue de l'obtention du diplôme.UNIVERSITE MOSTEFA BENBOULAID –BATNA 2 .
- [22] **MEHIDI.A,BENYAHIA.I(2020)**:Gestion intégrée des ressources en eau dans la région de Rélizane.Memoire de Master.Université Ibn Khaldoun–Tiaret .
- [23] **Piper A. M. (1994)**: A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses, American. Geophysical. Union. Transactions, 25: 914-923.
- [24] **Richards L.A. (1954)**: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric.

Handbook 60, USDA, Washington D.C.

Savornin J. (1920): Etude géologique de la région du Hodna et du plateau Sétifien. Thèse es sceNat. Lyon p.44-45.

[25] YAHIAOUI .R,ZAHAF. H(2021):Caractérisation de la pollution nitratée et vulnérabilité à la pollution de la nappe Mio-Plio-Quaternaire d'Ain Djasse. Université-Batna2.

[26] ZIANI.D (2009):Impactde la pollution agricole et urbaine sur la qualite des eaux souterraines de l' aquifere de ain djasser Est algerine .Memoire de Master..Université el hadj lakhdar batna.

[27] Vieville, r., & Domont, a. (1983): Alcoolisme et accidents de trajet. Ann med accid trafic.

[28] Vila J.M. (1977):Notices explicatives des cartes géologiques 1/50000 de Boughzel. Ministère de l,énergie. Algérie.

[29] Vila J.M. (1980):La chaine Alpine d,,Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat es Science naturelle, Univ. Pierre et Marie Curie Paris VI. p.665.