

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.

*Laboratoire N°25: « Promotion des ressources hydriques, minières et
pédologiques : législation de l'environnement et choix technologique ».*



MÉMOIRE

Présenté par

**ZEHOUANI ABDELKADER CHEMS EDDINE
HADDOU BENDERBAL LOUKMANE**

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie.

Thème

**CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION DES ZONES POTENTIELLES DE
RECHARGE : CAS DU SOUS BASSIN VERSANT DE L'ISSER
(NORD-OUEST ALGERIEN).**

Soutenu le juin 2025, devant le jury composé de :

Président	Mr BENCHOUK.M	M.A.A	Université de Tlemcen.
Encadrant	Mme GUETTAIA.S	M.C.A	Université de Tlemcen.
Co-Encadrant	Mr BOUDJEMA.A	M.C.A	Université de Tlemcen.
Examineur	Mr CHIKH.M	M.A.A	Université de Tlemcen.

Année universitaire 2024 /2025.

قال الله تعالى: {وإِنَّ مِنْ لِحِجَارَةٍ لَمَا يَتَفَجَّرُ مِنْهُ

الْأَنْهَارُ وَإِنَّ مِنْهَا لَمَا يَشَّقُّ فَيَخْرُجُ مِنْهُ الْمَاءُ وَإِنَّ

مِنْهَا لَمَا يَهْبِطُ مِنْ خَشْيَةِ اللَّهِ وَمَا اللَّهُ بِغَافِلٍ عَمَّا

تَعْمَلُونَ} البقرة: 74

Remerciement

L'aboutissement de ce mémoire de fin d'études est le fruit de plusieurs années de travail, de réflexion et de persévérance. Il n'aurait pu voir le jour sans le soutien, les conseils et l'accompagnement de nombreuses personnes à qui nous tenons à exprimer notre profonde gratitude.

Nous remercions tout d'abord Allah, le Tout-Puissant, pour la santé, la patience et la force qu'Il nous a accordées tout au long de notre parcours universitaire.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos encadreurs, Monsieur Boudjemaa Abdelrezak et Madame Guettaia Sabrine, pour leur disponibilité, leur confiance et leur accompagnement constant durant l'élaboration de ce mémoire. Leur rigueur scientifique, leurs conseils avisés et leur bienveillance ont été pour nous une source d'inspiration et de motivation tout au long de ce travail.

Nous remercions sincèrement Monsieur Aoufi Abdessemed pour son aide précieuse et amicale, notamment dans l'utilisation de QGIS et ArcGIS, qu'il nous a apportée avec générosité et plaisir.

Nous remercions également les jurys, qui nous ont fait l'honneur d'évaluer notre travail. Nous exprimons une reconnaissance particulière à Monsieur le Président du jury, pour avoir accepté de présider cette soutenance et pour l'attention portée à notre mémoire. Leurs observations et remarques constructives constituent pour nous un enrichissement précieux.

Nos remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants du Département de Géologie de la Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour la qualité de leur enseignement, leur disponibilité et leur engagement tout au long de notre formation.

Nous n'oublions pas toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont aidés, soutenus ou encouragés tout au long de ce parcours. Qu'il s'agisse d'un conseil, d'un mot d'encouragement ou d'un geste de solidarité, chaque contribution a compté.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles et nos amis pour leur présence, leur patience et leur soutien moral indéfectible durant ces années d'études et durant la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Toute réussite est une faveur d'Allah, et toute gratitude
Lui revient.

Je dédie ce travail :

À mon binôme et frère de route, **HADDOU BENDERBAL LOUKMAN**, pour son soutien constant et son engagement sans faille.

À mon cher père, pilier de ma vie, exemple de persévérance et de sacrifice.

À ma tendre mère, pour son amour inconditionnel, ses prières et son dévouement sans limites.

À mon frère Yassine, pour sa présence, ses encouragements et sa fraternité sincère, Qu'Allah te protège et t'élève.

À ma sœur Mouna, dont l'affection et le soutien m'ont toujours réconforté.

À toute ma famille, les Zehouani et les Dahman, pour leur amour, leur bienveillance et leur appui moral.

À mes amis fidèles, compagnons de vie et de partage.

À mes chers amis Belmokhtar Akram et Hassi Soundousse, pour leur amitié sincère et leur présence précieuse

Et enfin, à tous mes enseignants, depuis l'école primaire jusqu'à l'université, pour leur savoir transmis avec passion et dévouement.

Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail

À la mémoire de Mes frère MOHAMED ALAA EDINNE ET ABDELRAHMAN et Ma plus chère tante paternelle ZOUBIDA “ qu’Allah leur fasse miséricorde “

À ZAHOUANI ABDELKADER mon binôme avec son dévouement et ses sacrifices, ce travail a pu voir le jour.

À qui j’ai l’honneur de porter son nom, mon cher père la lumière qui a illuminé mon chemin et qui j’ai tiré ma force et mon estime de moi-même.

À ma chère mère, Source inépuisable d’amour, de force et de sagesse. Merci pour tes sacrifices silencieux, ton soutien constant et ta foi inébranlable en moi. Ce travail est le fruit de ton amour et de ton dévouement.

À mes compagnes agréables et chères sœur (CHAIMA, SOUMIA et AYA).

À mon frère YASSER et à son épouse, Je prie Dieu de faire régner entre vous l’affection et la miséricorde, et qu’Allah fasse grandir votre fille RAHAF dans l’obéissance à Lui, qu’Allah la protège de tout mal.

À mes oncles, tantes Et a toute la famille HADDOU BENDERBAL Ce travail vous est dédié avec tout mon amour et ma reconnaissance.

À mon sincère supporter Celui qui a toujours cru en moi, même dans les moments de doute, Merci pour ta présence, tes encouragements et ta confiance.

À mes chers enseignants, Je n’oublierai jamais votre rôle essentiel dans le tracé de ce parcours qui s’achève aujourd’hui avec succès. Merci pour tout le soutien, le savoir et les conseils que vous nous avez offerts.

À mes chers camarades BELMOKHTAR AKRAM et BOUANANI DIKRA et À tous les amis.

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المناطق ذات الإمكانات العالية لإعادة شحن المياه الجوفية في حوض إيسر، بناءً على نهج رسم الخرائط المتكامل مع نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، واستند تقييم المناطق المواتية لتسرب المياه إلى مزيج من عدة معايير مكانية (الجيولوجيا، والمنحدرات، الشبكة الهيدروغرافية، الغطاء الأرضي، هطول الأمطار، وكثافة الخطوط)، حيث تم تمثيل كل منها في شكل خرائط موضوعية. تم إعادة تصنيف هذه العوامل وترجيحها وفقاً لتأثيرها على عملية إعادة الشحن، وهو ما قمنا به عبر طريقة PAH (عملية التسلسل الهرمي التحليلي) التي طورها Saaty. قمنا بدمج كل هذه البيانات في نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خريطة لمناطق الشحن المحتملة. أتاح تفسير هذه الخريطة التمييز بين ثلاث فئات من إمكانات إعادة التغذية. تتركز المناطق ذات القدرة العالية على التسلسل بشكل أساسي على الهوامش وبعض الأجزاء الوسطى من الحوض، بما يتوافق مع التكوينات القابلة للاختراق ومناطق المنحدر المنخفض (>12.61 درجة) المغطاة بالنباتات الطبيعية. وعلى العكس من ذلك، ترتبط المناطق ذات إمكانات التغذية المنخفضة بتكوينات غير منفذة وتضاريس ذات منحدرات أكثر انحداراً (50.45 في المائة).

تشكل هذه الخريطة أداة استراتيجية للإدارة المستدامة للموارد المائية. تتطلب مناطق التغذية المحددة تدابير حماية محددة من أجل الحد من الضغوط البشرية المنشأ، ولا سيما التحضر غير المنضبط، وبالتالي ضمان الحفاظ على التراث المائي لحوض إيسر وتعزيزه.

الكلمات المفتاحية:

منطقة مستجمعات إيسر، نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، إمكانات إعادة التغذية، (عملية التسلسل الهرمي التحليلي AHP)

RESUME

Cette étude vise à identifier les zones qui présentent un fort potentiel de recharge des eaux souterraines du bassin versant de l'Isser, en s'appuyant sur une approche cartographique intégrée au Système d'Information Géographique (SIG) et à la télédétection. L'évaluation des zones favorables à l'infiltration des eaux a reposé sur la combinaison de plusieurs paramètres spatiaux (géologie, pente, réseau hydrographique, occupation du sol, précipitations, densité des linéaments), chacun représenté sous forme de cartes thématiques. Ces paramètres ont été reclassés et pondérés en fonction de leur effet sur le processus de recharge, ce que nous avons fait via la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) développée par Saaty. Nous avons intégré l'ensemble de ces données dans un SIG pour produire une carte des zones de recharge potentielles.

L'interprétation de cette carte a permis de distinguer trois classes de potentiel de recharge. Les zones à fort capacité d'infiltration se concentrent principalement sur les marges et certaines parties centrales du bassin, en correspondance avec des formations perméables et des secteurs de faible pente ($\leq 12,61^\circ$) recouverts de végétation naturelle. À l'inverse, les zones de faible potentiel de recharge sont associées aux formations imperméables et aux terrains présentant des pentes plus accentuées (50.45°).

Cette cartographie est un outil stratégique pour une gestion durable des ressources en eau. Les zones de recharge identifiées nécessitent des mesures de protection spécifiques afin de limiter les pressions anthropiques, notamment l'urbanisation incontrôlée, et ainsi garantir la préservation et la valorisation du patrimoine hydrique du sous-bassin de l'Isser.

Mots clés : Sous-bassin versant de l'Isser, SIG, Potentiel de recharge, AHP.

ABSTRACT

This study aimed to identify areas with a high potential for groundwater recharge in the Isser catchment area based on a cartographic approach integrated with the Geographic Information System (GIS) and remote sensing. The assessment of areas favorable to water infiltration was based on the combination of several spatial parameters (geology, slope, hydrographic network, land cover, precipitation, lineament density), each represented in the form of thematic maps. These parameters were reclassified and weighted according to their effect on the recharging process, which we did via the AHP (Analytic Hierarchy Process) method developed by Saaty. We integrated all of this data into a GIS to produce a map of potential charging areas. The interpretation of this map has made it possible to distinguish three classes of recharge potential. Areas with a high infiltration capacity are mainly concentrated on the margins and some central parts of the basin, corresponding to permeable formations and areas of low slope ($<12.61^\circ$) covered with natural vegetation. Conversely, areas with low recharge potential are associated with impermeable formations and terrain with steeper slopes (50.45%).

This mapping is a strategic tool for sustainable water resources management. The identified recharge areas require specific protection measures in order to limit anthropogenic pressures, in particular uncontrolled urbanisation, and thus guarantee the preservation and enhancement of the water heritage of the Isser sub-basin.

Keywords: Isser catchment area, GIS, Recharge potential, AHP.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

GIS: Geographic Information System

AHP: Analytic Hierarchy Process

AMC : Analyse multicritère.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique du bassin de Tafna et le sous-bassin d' Isser.....	6
Figure 2 : Exemples d'indices de compacité (ZITOUN.D, ZOUAGGARI.M2014).....	8
Figure 3: Carte hypsométrique et d'altitude du sous bassin versant d'ISSER.....	10
Figure 4: Courbe hypsométrique.....	11
Figure 5: Carte des pentes du sous bassin d'isser.....	13
Figure 6: Carte de classification des talwegs selon Strehler.	16
Figure 7: Carte de densité de drainage du sous bassin versant de l'isser.	18
Figure 8: Carte d'occupation du sol du sous bassin versant de l'Isser.....	20
Figure 9: carte des précipitations.....	22
Figure 10: Variation des précipitations moyennes annuelles (1995 -2024).	23
Figure 11: Variation des précipitations moyennes mensuelles.	24
Figure 12: Variation des précipitations moyennes saisonnières.....	25
Figure 13: Variations des températures moyennes annuelles (1995 – 2024).	26
Figure 14 : Courbes des variations des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales.....	27
Figure 15: Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussen.....	28
Figure 16: Abaque de l'indice d'aridité annuel.	29
Figure 17: Climagramme d'emberger.	31
Figure 18: Détermination du déficit d'écoulement d'après WUNDT.....	34
Figure 19: Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement selon (P. VERDEIL, 1988).	35
Figure 21: Coupe schématique au niveau d'Oued Isser (Bouanani. A , 2004).	43
Figure 20: Carte géologique du sous bassin versant de l'Isser.....	43
Figure 22: Carte structurale du bassin de la Tafna (Benest.M, 1985).	44
Figure 23: Carte de linéaments.....	45
Figure 24: Interface QGIS 3.36.2.....	50
Figure 25: Interface arc map 10,8.....	51
Figure 26: Site utilisé pour la délimitation du sous bassin de l'Isser- Global Watershed.	51
Figure 27: Site des données climatiques climate engine.	52
Figure 28: Carte géologique de Tlemcen (ANRH 2008).....	53
Figure 29: Carte géologique d'Oran (ANRH 2008).	54
Figure 30: Carte géologique de Telagh (ANRH 2008).	54
Figure 31: Carte géologique de Ghazaouet (ANRH 2008).	55
Figure 32: Exemple des images satellitaires landsat.	56
Figure 33: organigramme de la carte des altitudes.	57
Figure 34: organigramme pour la création de la carte des pentes.	58
Figure 35: Organigramme de la création de la carte de densité de drainage.....	59
Figure 36: Organigramme de la création de la carte lithologique.	60
figure 37: Organigramme de la création de la carte d'occupation du sol.....	61
Figure 38: Organigramme de la création de la carte des linéaments.....	62
Figure 39: Organigramme de la création de la carte de précipitations.	63
Figure 40: Tableau de calcul des valeurs de pondération (ARC GIS).	68
Figure 41: Carte finale des potentiels de recharge.	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition altimétrique du sous bassin de l'Isser.....	9
Tableau 2: Classification du relief selon DS (Orostrom).....	14
Tableau 3 : Classification des talwegs selon Strehler.....	16
Tableau 4: La situation géographique de la station météorologique du barrage	21
Tableau 5: Valeurs des précipitations annuelles.....	23
Tableau 6: Variations des précipitations moyennes mensuelles	24
Tableau 7: Variations des précipitations moyennes saisonnières.....	24
Tableau 8: Températures moyennes annuelles (1995 - 2024).....	25
Tableau 9 : Variations des températures moyennes mensuelles (1995 - 2024).....	27
Tableau 10: Précipitations et Températures moyennes mensuelles à la station d'el-izdihar (1995-2025).....	28
Tableau 11: Indice d'aridité de DE Martonne.....	29
Tableau 12:Classification de DE Martonne	30
Tableau 13: Indices d'aridité mensuelle de DE Martonne.....	30
Tableau 14:Indice d'Emberger.....	31
Tableau 15: Calcul de l'etr par la methode de turc.....	33
Tableau 16: Valeur du déficit d'écoulement d'après Wundt.....	34
Tableau 17: Valeur du déficit d'écoulement d'après P. VERDEIL	35
Tableau 18:Résultats de l'indice thermique mensuel, l'ETP non corrigée et corrigée à la station DE Sidi Abdelli (1995-2024).....	37
Tableau 19: Calcul du bilan hydrologique de la station izdihar 1995-2024.....	38
Tableau 20:Les critères et pondérations du module final (Bouanani.A.2022).....	65

TABLE DES MATIERES.

ملخص	I
Résumé	II
Abstract.....	III
INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE I : Généralités sur la zone d'étude et climatologie.....	4
I. Introduction.....	4
II. Localisation géographique	4
Cadre régional :	4
Situation géographique du bassin de Tafna :.....	4
Réseau hydrographique :.....	4
Cadre local :	5
1) Situation géographique du sous bassin versant de l'Isser :.....	5
2) Contexte hydrographique.....	5
III. Caractéristiques physiques du sous bassin versant	6
1. La forme du Bassin versant	7
1.1. Surface et Périmètre :.....	7
1.2. Indice de compacité de Gravelius :.....	7
1.3. Rectangle équivalent (Roche.M 1963)	8
Caractérisation topographique	9
1) Répartition altimétrique :.....	9
1.1. Analyse des tranches d'altitudes :.....	9
1.2. La courbe hypsométrique.....	11
2) Etude de pente	12
2.1. Indices de pente	13
1.2. Dénivelée spécifique 'Ds'.....	14
GEOMETRIE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	14
1) Classification Talwegs (classification Strahler) :.....	15
1.1. Principe de la classification.....	15
2) Densité de drainage.....	16
3) L'occupation du sol :.....	18
Etude Climatologique	20
1. Précipitations :.....	21
1-1 Précipitations moyennes annuelles :.....	22
1.2. Variabilité moyenne mensuelle des précipitations :	24

1.3.	Variabilité moyenne saisonnière des précipitations :.....	24
2.	Températures	25
2.1.	Températures moyennes annuelles.....	25
2.2.	Températures Mensuelles	26
3.	Etude du climat.....	27
3.1.	Méthodes de visualisation (Méthodes graphiques).....	28
3.2.	Indice d'aridité de DE Martonne (1923) :.....	29
3.2.1.	Formule de l'indice de De Martonne :.....	29
3.3.	Indice d'aridité mensuel	30
3.3.1.	Formule de l'indice d'aridité mensuel :.....	30
3.4.	Indice pluviothermique d'Emberger (Q)	31
4.	Bilan Hydrologique :	32
4.1.	Evapotranspiration et déficit d'écoulement.....	32
4.1.1.	Méthode de Turc (1954) :.....	33
4.1.2.	Méthode de Coutagne :.....	33
4.1.3.	Méthode de Wundt :.....	34
4.1.4.	Méthode de P. VERDEIL :.....	35
4.2.	Evapotranspiration potentielle (ETP).....	36
4.2.1.	Méthode de THORNTHWAITE :.....	36
4.3.	Évapotranspiration réelle (ETR).....	37
4.3.1.	Calcul de la réserve facilement utilisable (R.E.U).....	37
Chapitre II : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE.....		41
I.	Introduction.....	41
II.	Synthèse Géologique :.....	41
III.	Tectonique :.....	44
IV.	Synthèse Hydrogéologique :.....	45
V.	Conclusion :	46
CHAPITRE III : Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques.		48
I.	Introduction.....	48
II.	Technique d'élaboration de la carte des potentialités :	49
1.	OUTILS ET DONNEE	49
○	Qgis.....	49
○	ArcMap 10.8 :	50
○	Le site Global Watershed :.....	51
○	Données climatiques :	52

○ Les documents cartographiques	52
○ Le model numérique MNT.....	55
○ Images satellitaires :	55
2. Méthode :	56
2.1. Cartographie des paramètres et reclassification	57
a. Les altitudes :	57
b. Les pentes :	57
c. Densité de drainage :	58
d. Géologie :	59
e. Occupation du sol :	60
f. Linéaments :	61
g. PRECIPITATIONS :	62
3. Analyse multicritère	63
1) Reclassification des paramètres :	65
2) Superposition et pondération des critères :	67
IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS :	68
V. Recommandations :	69
CONCLUSION GENERALE :	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.	52
Webography:	55
ANNEXES.....	52

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau, le pilier fondamental de la vie et moteur essentiel du développement socio-économique. Aujourd'hui, elle fait face à de nombreuses contraintes, particulièrement exacerbés les régions arides et semi-aride où la rareté de l'eau devient de plus en plus préoccupante. Ces dernières décennies, les effets du changement climatique, élévation des températures et diminution des précipitations ont considérablement aggravé la situation pour les pays méditerranéens et l'Algérie n'échappe pas à cette réalité.

Dans les régions semi-arides comme le bassin de la Tafna, les pressions anthropiques (urbanisation, surexploitation des nappes et développement de l'agriculture) exacerbent la vulnérabilité des systèmes hydriques. Au sein du vaste Tafna, le sous-bassin versant de L'Isser, une unité hydrologique important caractérisé par un climat semi-aride selon les études préalables. Ce secteur connaît une dégradation continue de ses ressources, souvent mal surveillées et surexploitées. Dans ce contexte, l'identification des cartes de potentialités de recharge devient une priorité, afin d'orienter efficacement les efforts de gestion durable.

Face à cette situation, une question se pose : quelles sont les zones du sous bassin de L'Isser qui sont favorablement potentielles à la recharge des nappes et comment peut-on les cartographier à l'aide du système d'information géographique (SIG) ?

L'objectif principal de notre travail est d'évaluer les potentialités hydriques du sous bassin versant de l'Isser à travers une analyse multi- critères, fondée sur des données géologiques, géomorphologiques et climatologiques, en utilisant les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection. Plus spécifiquement, notre démarche consistera à :

- Identifier et analyser les facteurs clés qui influencent la recharge (géologie, occupation du sol, la topographie et le régime pluviométrique).
- Établir une base de données spatiales pertinente, structurée pour la modélisation hydrologique.
- Exploiter les outils SIG et les images satellitaires pour produire une carte des zones favorables à la recharge.
- Formuler des recommandations concrètes pour la gestion durable et intégrée des ressources en eau du sous-bassin versant étudié.

CHAPITRE I
Généralités sur la
zone d'étude et
climatologie.

CHAPITRE I : Généralités sur la zone d'étude et climatologie

I. Introduction

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (**M.Roche, 1963**). Elle permet d'analyser l'interaction entre les précipitations, les températures, l'évapotranspiration, l'infiltration et l'écoulement afin d'évaluer la disponibilité des eaux de surface et souterraines. Dans un contexte marqué par le changement climatique et la pression anthropique croissante, l'analyse de cette interaction devient fondamentale pour une gestion durable des ressources hydriques, notamment dans les régions semi-arides, comme le Nord-Ouest algérien.

Notre région d'étude « le sous bassin versant de l'Isser » est caractérisé par une forte variabilité climatique, influençant directement la recharge des nappes. Cette étude vise ainsi à identifier les zones potentielles de recharge à travers une analyse intégrée des paramètres hydro-climatologiques et des caractéristiques physiques du sous-bassin. L'examen des données climatiques, incluant la pluviométrie et la température, ainsi que des paramètres hydrologiques, tels que le régime des cours d'eau, permettra d'évaluer l'impact des conditions environnementales sur la dynamique des ressources en eau. La compréhension de ces éléments est essentielle pour établir un diagnostic précis des potentialités hydriques et orienter les stratégies de gestion et de préservation des aquifères dans cette région, soumise à un climat méditerranéen semi-aride

II. Localisation géographique

Cadre régional :

Situation géographique du bassin de Tafna :

Le bassin versant de la Tafna, situé dans le Nord-Ouest de l'Algérie, au sein de la région de l'Oranie qui portant le code 16, s'étend entre les latitudes 34°66' et 35°05' Nord et les longitudes 1°22' et 1°50' Ouest. Il couvre une superficie totale de 7 760 km², dont 5 470 km² (soit environ 70 %) se trouvent en Algérie et 2 300 km² (soit environ 30 %) au Maroc. Ce bassin s'inscrit dans une position plus méridionale et bien individualisée par rapport au reste du Tell algérien (**Dahmani.B & al, 2003**).

Réseau hydrographique :

Le cours d'eau de la Tafna représente l'axe principal de ce bassin versant, s'étendant sur une longueur de 170 kilomètres. Il est reconnu comme le deuxième plus grand cours d'eau de l'Oranie, après le Chélif et Oued Isser est l'affluent le plus important.

Il prend sa source dans les Monts de Tlemcen, plus précisément à Ghar Boumaâza, dans la région de Sebdou, avant de se jeter dans la mer Méditerranée, au niveau de la plage de Rachgoune (Figure.01).

Son bassin versant est caractérisé par un relief de petites et moyennes montagnes, comprenant les Monts des Traras et des Sebaâ Chioukh au Nord, ainsi que les Monts de Tlemcen au Sud. Son cours d'eau se divise en trois sections distinctes : la haute Tafna, la moyenne Tafna et la basse Tafna.

- La haute Tafna :

La haute Tafna prend sa source à Ghar Boumaâza, où plusieurs affluents issus des terrains jurassiques convergent depuis des crêtes. Les cours d'eau se rejoignent près de Sebdou, avant de s'engouffrer dans une vallée encaissée jusqu'à Sidi Medjahed. Dans cette région montagneuse, l'Oued Tafna est alimenté par l'Oued Khemis (rive droite) et l'Oued Sebdou (rive gauche) **(Bouanani.A, 2004)**.

○ La moyenne Tafna :

La partie orientale Tafna, à partir de Sidi Medjahed, l'Oued pénètre dans le bassin tertiaire et coule dans une vallée peu profonde dans des terrains plus ou moins argileux. Cette partie du bassin tertiaire est sillonnée par de nombreux affluents, parmi lesquels certains sont importants **(Bouanani.A, 2004)** :

Sur la rive gauche de la Tafna, les affluents sont peu nombreux, à l'exception de l'Oued Mouillah, qui prend sa source au Maroc et se distingue par son parcours et son débit. L'Oued Boukiou, moins imposant.

Sur la rive droite, plusieurs cours d'eau alimentent la Tafna, notamment l'Oued Boumessaoud, l'Oued Zitoune et l'Oued Isser, ce dernier étant le plus important, en raison de son long trajet, l'Oued Isser s'étend vers l'Est de la haute Tafna, il reçoit l'apport de l'Oued Lakhdar (rive gauche) et de l'Oued Aïn Tellout (rive droite) au nord d'Ouled Mimoune. Plus au Nord, il traverse la plaine d'El Fehoul, avant de recevoir, à l'extrémité occidentale, l'Oued Sikkak, un affluent notable provenant du plateau de Terny. **(Bouanani.A, 2004)**.

○ La basse Tafna :

Le cours inférieur de la Tafna s'étend depuis les gorges de Tahouaret vers le village de Pierre du Chat jusqu'à la plage de Rachgoune en mer Méditerranée, sur une distance de 20 Km. **(Bouanani.A, 2004)**.

Cadre local :

1) Situation géographique du sous bassin versant de l'Isser :

Situé au Nord-Ouest de l'Algérie, c'est un affluent de la rive droite de la Tafna dont l'exutoire est situé à proximité de 35,091°S, -1,137°W, et a une superficie d'environ 1 139.5 km² avec une altitude de 1625 m. La longueur du thalweg principal est de 81 km. La limite aval du bassin coïncide avec le barrage El Izdihar de Sidi Abdelli (mis en service en Janvier 1989). L'Oued Isser, prend sa source au niveau d'Aïn Isser au Sud d'Ouled Mimoun. Sa confluence avec l'Oued Tafna a lieu dans la plaine de Remchi à 80m d'altitude **(Terfous.A., Megnounif.A., & Bouanani.A, 2003)**.

2) Contexte hydrographique

Le sous bassin versant d'Oued Isser, dont le principal cours d'eau de ce bassin est l'Oued Isser qui s'écoule d'abord du Sud au Nord, puis vers l'Ouest aux pieds du Djebel Sebâa Chioukh **(Perrodon.A, 1957)**.

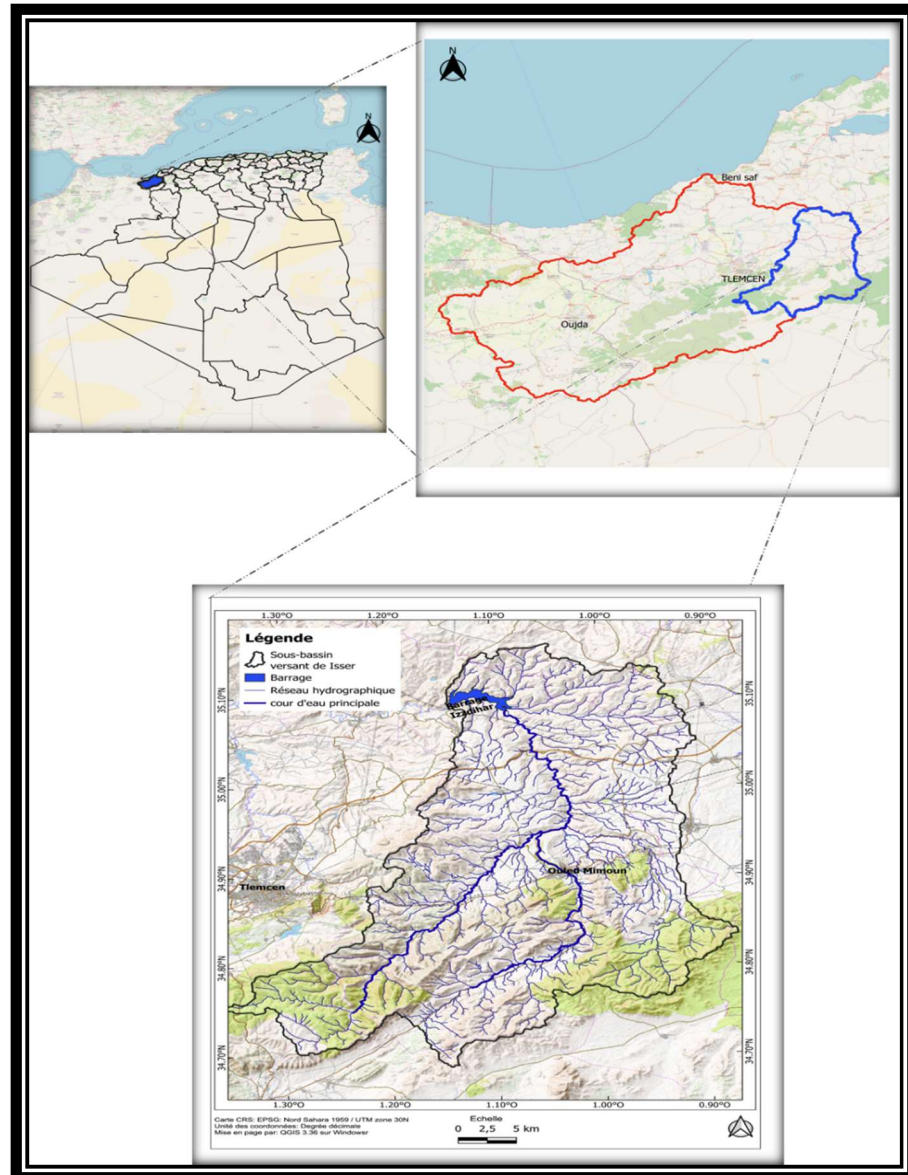


FIGURE 1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN DE TAFNA ET LE SOUS-BASSIN D' ISSER.

III. Caractéristiques physiques du sous bassin versant

Les caractéristiques physiographiques du sous bassin sont importantes pour la recharge des eaux souterraines. Ce processus dépend directement du taux d'infiltration et de l'alimentation en eau. Le potentiel de recharge est fortement modélisé par des paramètres géomorphologiques, notamment la superficie du sous bassin, altitude, pente et orientation. Une forte pente engendre un ruissellement rapide et réduit l'infiltration, tandis qu'une pente douce favorise la percolation des eaux de surface à travers les nappes phréatiques facilement.

Autres facteurs aussi cruciaux : le type de roches superficielles et la perméabilité des sols. La couverture végétale est également importante, elle stoppe la corrosion et booste l'infiltration de l'eau. Aussi, le réseau hydrographique est important, car il redistribue les courants d'eau et parfois il intervient pour aider la recharge des nappes par infiltration, à travers les lits du cours d'eau, en fonction des facteurs locaux.

1. La forme du Bassin versant

1.1. Surface et Périmètre :

La surface et le périmètre d'un bassin versant sont des caractéristiques géographiques essentielles pour comprendre son comportement hydrologique et faciliter la gestion des ressources en eau.

La **surface** d'un bassin versant correspond à l'étendue totale du territoire qui collecte et draine les eaux de surface vers un exutoire, comme une rivière, un lac ou un océan. Elle influence la quantité d'eau qui peut s'écouler ou s'infiltrer dans le sol, ce qui a des répercussions sur la recharge des aquifères, la gestion des crues, et les besoins en irrigation.

Le **périmètre**, quant à lui, désigne la limite extérieure du bassin versant, qui délimite l'aire de collecte des eaux.

Ensemble, la surface et le périmètre du bassin versant permettent de mieux comprendre la dynamique hydrologique et d'élaborer des stratégies adaptées pour la gestion durable des ressources en eau, la prévention des risques naturels et l'aménagement du territoire.

La combinaison de la surface et du périmètre permet de mieux comprendre et modéliser les processus de recharge des aquifères.

Bassin versant	Périmètre (km)	Surface (km ²)
Oued ISSER	213.17	1139.5

1.2. Indice de compacité de Gravelius :

L'indice de compacité de Gravelius est un indicateur géographique qui mesure l'irrégularité ou la forme d'un bassin versant (ou de toute autre unité géographique) en comparant le périmètre de la zone à sa surface. Il est utilisé pour évaluer la compacité d'une zone, c'est-à-dire sa proximité avec une forme circulaire, qui est la forme géométrique idéale pour une infiltration efficace de l'eau et une gestion optimale des ressources hydrologiques.

$$KC = \frac{0.28}{\sqrt{A}} \times P$$

Où :

- **P** est le périmètre du bassin versant (ou de la zone étudiée),
- **A** est la surface de la zone.

□ Plus l'**indice kc** est proche de **1**, plus la forme du bassin versant est proche de celle d'un cercle, ce qui signifie que l'écoulement des eaux est plus uniforme et que la recharge des aquifères peut être plus efficace, car l'eau de pluie a moins de distance à parcourir pour atteindre un point bas et s'infiltrer.

□ Plus l'**indice kc** est élevé, plus la forme du bassin est irrégulière, ce qui peut entraîner un écoulement de surface plus rapide et une recharge moins efficace des aquifères. Une forme allongée ou anguleuse peut favoriser un ruissellement plus rapide, réduisant ainsi l'infiltration.

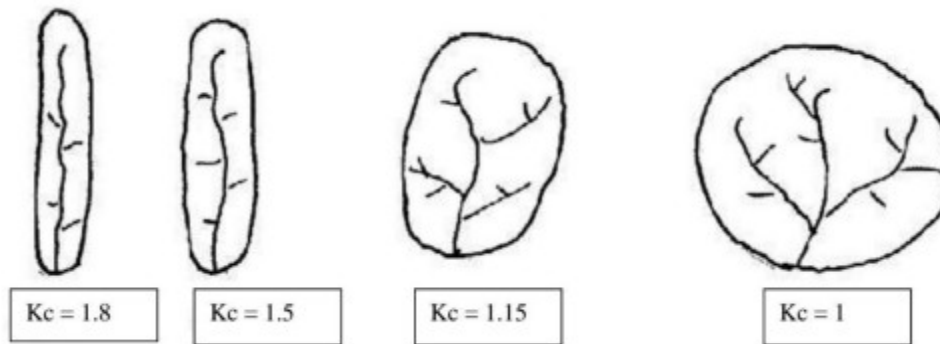


FIGURE 2 : EXEMPLES D'INDICES DE COMPACITE (ZITOUN.D, ZOUAGGARIM2014)

Dans le cas de notre bassin d'étude, le Kc est égale à 1.77, cette valeur montre que le bassin est de forme allongée

$$kc = \frac{0.28}{\sqrt{1139.5}} \times (213.17)$$

$$kc = 1.77$$

1.3. Rectangle équivalent (Roche.M 1963)

Le concept de rectangle équivalent est souvent utilisé en hydrologie et en géomorphologie pour simplifier l'étude des caractéristiques d'un bassin versant. Il consiste à déterminer un rectangle dont la surface est équivalente à celle du bassin versant étudié et dont le périmètre est similaire à celui du bassin versant.

Cette approche permet de comparer les propriétés d'un bassin versant complexe avec celles d'une forme géométrique simple, facilitant ainsi les calculs et les analyses.

$$L = \frac{KC \times \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{kc}\right)^2} \right]$$

$$l = \frac{KC \times \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{kc}\right)^2} \right]$$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent.

l : Largeur du rectangle équivalent.

Kc : Le coefficient de Gravelius.

Pour le sous bassin versant de l'Isser, L est de 74.7 Km et la largeur équivalente est de 15.25 Km, ce qui confirme la forme allongée du sous bassin.

Caractérisation topographique

La caractérisation topographique d'un bassin versant consiste à analyser ses principales caractéristiques géographiques, telles que la pente, le relief, l'altitude et la configuration du réseau hydrographique. Ces éléments jouent un rôle essentiel dans le comportement hydrologique du bassin, notamment dans l'écoulement des eaux, l'infiltration, et la recharge des aquifères.

1) Répartition altimétrique :

Le bassin versant de l'Oued Isser, d'une superficie de 1140 km², s'étend jusqu'à une altitude maximale de 1625 mètres. Le cours principal, ou thalweg, de l'oued mesure 81 km de long. L'Oued Isser prend sa source à Aïn Isser, au sud d'Ouled Mimoun, et rejoint l'Oued Tafna dans la plaine de Remchi, à une altitude de 80 mètres (Bouanani.A 2004)

La limite aval du bassin est marquée par le barrage El Izdihar de Sidi Abdelli.

TABLEAU 1 : REPARTITION ALTIMETRIQUE DU SOUS BASSIN DE L'ISSER.

Tranches d'altitudes	Surface (km ²)	Surface cumulées (km ²)	Surface %	% surface cumulés
>1500	6.21	6.21	0.54	0.54
1500-1200	193.98	200.19	17.02	17.56
1200-900	278.75	478.94	24.46	42.02
900-600	358.76	837.93	31.48	73.5
≤600	301.6	1139.53	26.46	100

1.1. Analyse des tranches d'altitudes :

Ce tableau présente la répartition des surfaces selon différentes tranches d'altitudes, fournissant des informations précieuses sur la topographie d'une région donnée. Examinons les colonnes une par une :

- **Tranches d'altitudes** : Elles sont regroupées en cinq catégories, allant de plus de 1500 mètres à moins de 600 mètres. Cela permet de visualiser la distribution des altitudes sur le territoire étudié.

- **Ai (km²)** : Cette colonne indique la superficie (en kilomètres carrés) de chaque tranche d'altitude. On peut ainsi quantifier l'étendue de chaque zone altitudinale.

- **Ai cumulées (km²)** : Cette colonne représente la somme des superficies des tranches d'altitudes, de la plus élevée à la tranche considérée. Elle permet de visualiser la progression de la surface cumulée à mesure que l'on descend en altitude.

- **Ai %** : Cette colonne exprime la proportion de chaque tranche d'altitude par rapport à la superficie totale. Elle donne une idée de l'importance relative de chaque zone altitudinale.

- **% Ai cumulés** : Cette colonne présente la somme des pourcentages des superficies, de la plus élevée à la tranche considérée. Elle complète la lecture des superficies cumulées en donnant une vision relative de l'occupation du territoire en fonction de l'altitude.

En observant ces chiffres, on remarque que la plus grande partie de la surface se situe dans les tranches d'altitudes inférieures ou égales à 600 mètres, avec une superficie de 301.6 km², représentant 26.46% de la superficie totale. Les tranches d'altitudes plus élevées, notamment celles supérieures à 1500 mètres, occupent une portion beaucoup plus réduite du territoire (6.21 km², soit 0.54%).

Cette répartition suggère que la région étudiée est majoritairement composée de zones de basse altitude, potentiellement des plaines, des vallées ou des plateaux. Les zones de haute altitude, quant à elles, sont moins étendues et pourraient correspondre à des massifs montagneux ou des collines.

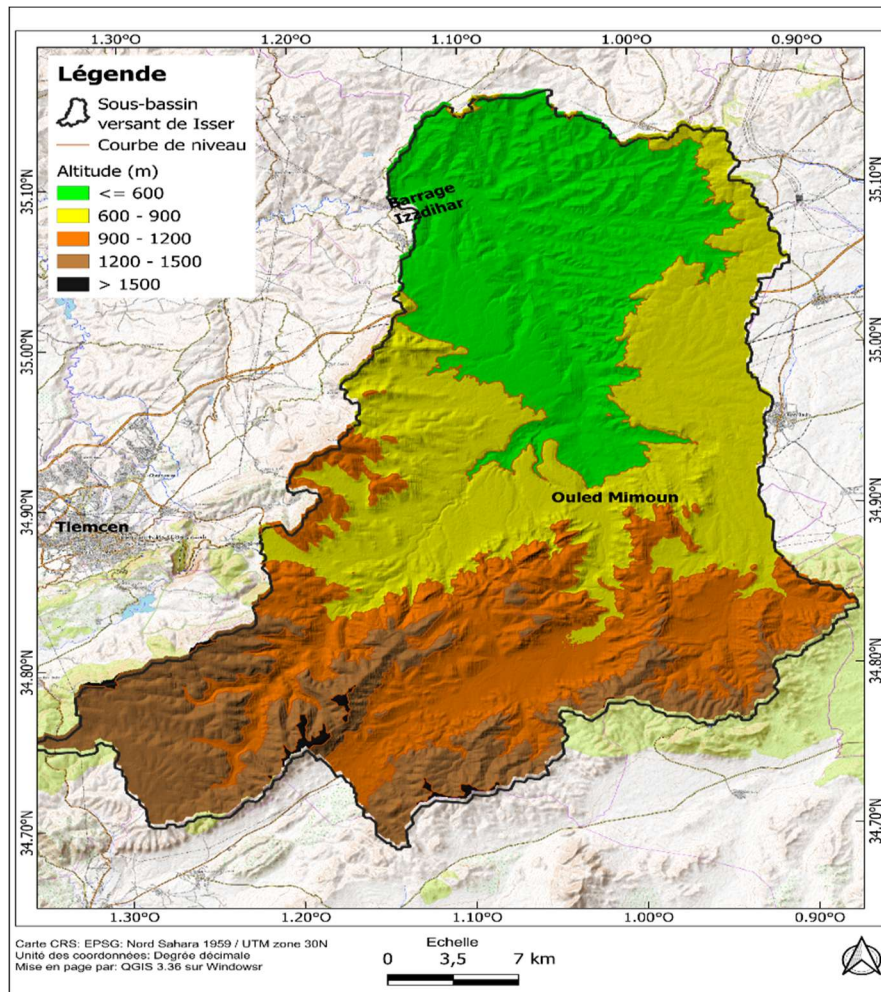


FIGURE 3: CARTE HYSOMETRIQUE ET D'ALTITUDE DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER

Le sous-bassin versant de l'Isser, tel que représenté sur cette carte (figure3), présente une topographie variée qui influence directement le potentiel de recharge des eaux souterraines. Les zones de haute altitude, dépassant 1200 mètres sont caractérisées par des pentes abruptes et des sols souvent moins perméables, ce qui limite l'infiltration de l'eau et favorise le ruissellement. Par conséquent, le potentiel de recharge dans ces zones est plus faible.

En revanche, les zones d'altitude intermédiaire, entre 600 et 1200 mètres présentent des pentes plus douces et des sols potentiellement plus favorables à l'infiltration, ce qui augmente le potentiel de recharge.

Enfin, la zone de basse altitude, aux environs et au- dessous de 600 mètres, où se trouve le barrage Izadihar, peut également connaître une recharge, mais celle-ci dépendra fortement de la nature des sols et de la présence de zones humides. Il est crucial de noter que cette interprétation basée sur l'altitude doit être complétée par des données sur la nature des sols, la végétation, la pluviométrie et la géologie pour une évaluation plus précise du potentiel de recharge de ce sous-bassin versant.

1.2. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique présentée (Fig. 04) constitue un outil fondamental permettant une analyse rapide de la distribution des altitudes dans le sous bassin, une compréhension approfondie de la topographie et une visualisation claire de la répartition entre zones de haute montagne et plaines. Cette configuration topographique, caractérisée par une dominance des terrains de basse à moyenne altitude et un relief majoritairement modéré, a des implications hydrologiques importantes, notamment dans les zones basses qui favorisent l'accumulation des eaux, l'infiltration et la formation de zones de stockage naturelles. La courbe hypsométrique trouve des applications pratiques diverses : en hydrologie pour l'évaluation du potentiel de ruissellement et l'identification des zones de concentration des eaux, et en climatologie pour analyser l'influence du relief sur le climat local et comprendre les variations climatiques selon l'altitude.

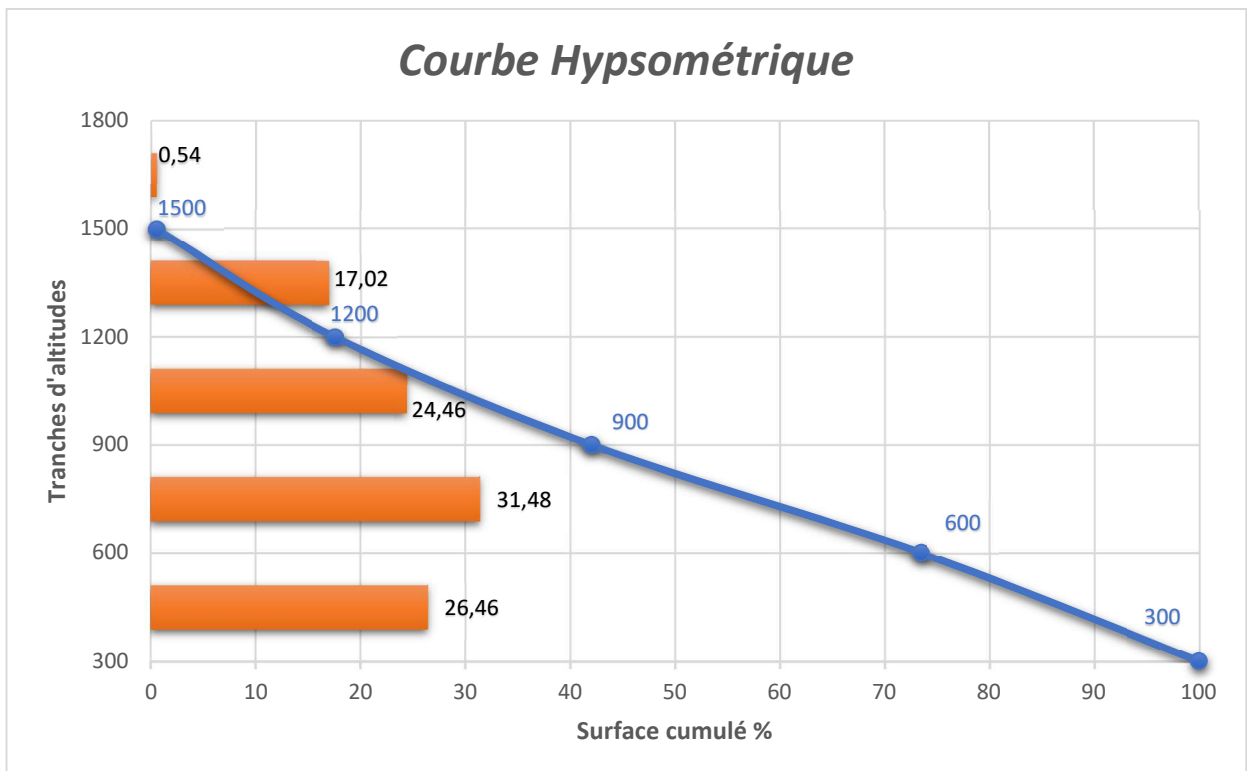


FIGURE 4: COURBE HYSOMETRIQUE

2) Etude de pente

Les pentes sont inversement proportionnelles au potentiel de recharge des aquifères (Krishnamurthy.J et al. 1996 ; 2000).

Les terrains à faible pente favorisent la percolation des précipitations en réduisant le ruissellement, ce qui permet une recharge plus efficace des aquifères. En revanche, les fortes pentes accélèrent l'écoulement des eaux de surface, limitant ainsi le temps de contact avec le sol et réduisant la capacité d'infiltration. De plus, une pente trop marquée peut entraîner une érosion accrue, pouvant mener à l'engorgement des fractures et fissures, altérant ainsi la capacité de recharge des formations aquifères.

Les résultats obtenus à partir de l'exploitation des données sous QGIS ont permis de classer les pentes en cinq catégories distinctes, mettant en évidence une variabilité topographique significative qui influence directement la dynamique hydrologique du bassin :

I. ($\leq 12,61^\circ$) : occupent une grande partie du bassin, indiquant des terrains relativement plat (les plaines et vallée) où l'infiltration de l'eau est favorisée, essentiellement composées de marnes datant du Miocène.

II. ($12,61^\circ$ - $25,23^\circ$) : zones de faible pente modérée, généralement en piémont ou zones de transition. On dit qu'en a un équilibre entre infiltration et ruissellement. Elle correspond aux plaines et plateaux où les pentes sont douces, pouvant atteindre au maximum 10%, c'est l'endroit où se déposent les particules solides transportées par l'Oued Isser.

III. ($25,23^\circ$ - $37,84^\circ$) : correspondent à des pentes plus abruptes, où l'écoulement de surface est dominant et l'infiltration limitée. Ruissellement accru, infiltration réduite.

IV. ($37,84^\circ$ - $50,45^\circ$) : Pentes très fortes, généralement en haute montagne ou sur des versants escarpés, notamment près de la limite nord et sud-est du bassin.

VI. ($>50,45^\circ$) : sont les plus escarpées et se situent principalement sur les reliefs marqués, pentes très fortes dépassant les 30%, on dit ruissellement maximal, infiltration négligeable, instabilité du terrain.

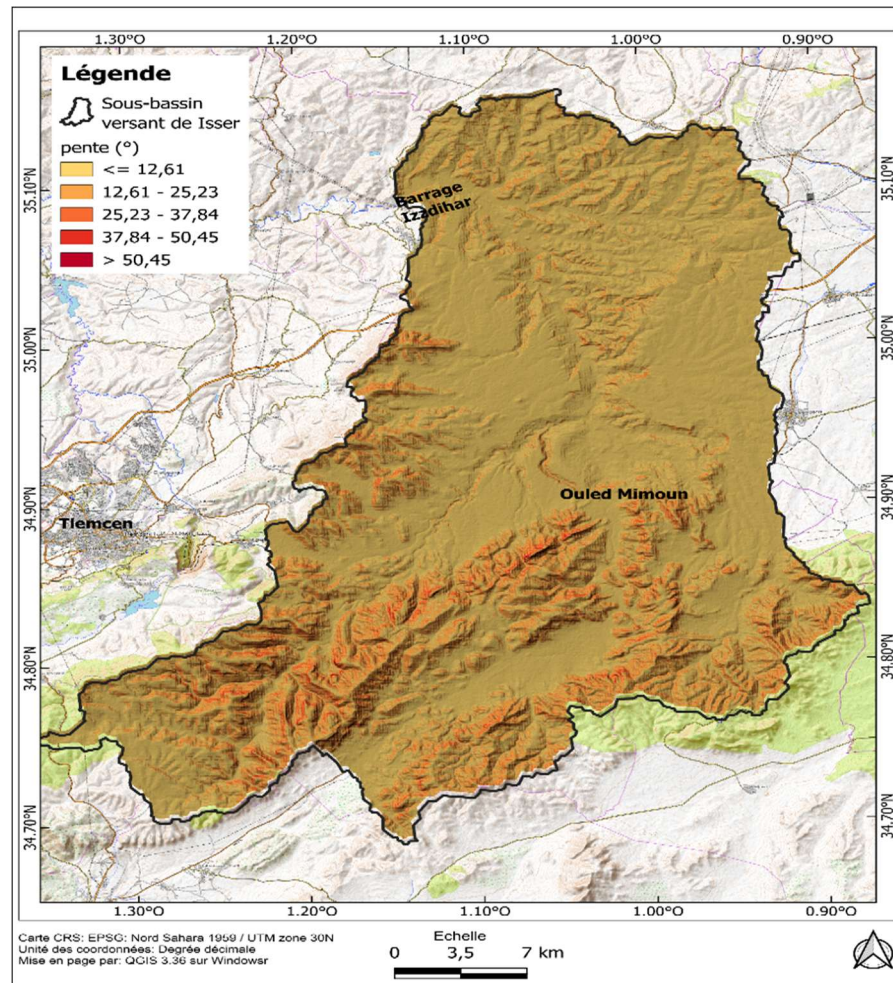


FIGURE 5: CARTE DES PENTES DU SOUS BASSIN D'ISSER.

2.1. Indices de pente

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global (I_g) donné par la relation :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad \text{Où,}$$

I_g : indice globale de Roche

D : dénivelée (m).

Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale.

H_5 et H_{95} sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée D est donc égale à $H_5 - H_{95}$. (BOUANANIA.2004).

L'indice de pente I_p également défini par Roche à partir du rectangle équivalent est égal à :

$$I_p = 1 / L. \sum x_i. \beta_i. [a_i - a_{i-1}]$$

β_i : fraction de la surface totale du bassin comprise entre les côtes a_i et a_{i-1} ; fonction donnée par le tableau hypsométrique.

xi : distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent.

L : longueur du rectangle équivalent.

Donc dans le cas de notre sous bassin :

$$D=1400-400=1000m$$

$$I_g = \frac{1000}{74.7} = 13.39(m/km)$$

$$I_p = \frac{1}{74.7} \sum 0.3 \times [1339] = 4.57$$

1.2. Dénivelée spécifique 'Ds'

La dénivelée spécifique donne sur le relief d'un bassin versant d'après la classification de l'ORSTOM, elle est calculée par la formule suivante :

$$DS = I_g \sqrt{A} \text{ Avec :}$$

I_g : Indice global de pente (m/km).

A : Superficie du bassin versant (km²).

$$\text{Donc } ds = 13.39 \sqrt{1139} = 451m$$

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour différents bassins (tableau 2).

On constate, par ailleurs, que le sous bassin versant de l'isser se range dans la classe de relief « forte ».

TABLEAU 2: CLASSIFICATION DU RELIEF SELON DS (ORSTOM)

Relief	Valeur de Ds (m)
Très faible	DS<10
Faible	10<DS<25
Assez faible	25<DS<50
Modéré	50<DS<100
Assez forte	100<DS<250
Forte	250<DS<500
Très forte	500<DS

GEOMETRIE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

L'analyse de la géométrie du réseau hydrographique aide à étudier l'organisation et le mouvement des eaux de surface dans un bassin versant, impactant ainsi l'infiltration et la recharge des aquifères.

Dans le sous-bassin versant de l'Isser, l'étude morphométrique repose sur divers paramètres, incluant la densité et la fréquence de drainage, la sinuosité ainsi que la classification de Strahler. En associant ces informations à la géologie, au climat et à l'utilisation des terres, cette recherche a pour but de repérer les zones propices à la recharge et de perfectionner la gestion des ressources en eau souterraine.

1) Classification Talwegs (classification Strahler) :

La classification des talwegs selon Strahler est une méthode hiérarchique permettant d'analyser la structure d'un réseau hydrographique. Elle attribue un ordre aux cours d'eau en fonction de leur confluence : les tronçons sans affluent sont de premier ordre, et lorsqu'ils se rejoignent, ils forment un cours d'eau de second ordre. Cette hiérarchisation se poursuit ainsi, un cours d'eau ne changeant d'ordre qu'en cas de confluence avec un autre de même ordre. Cette classification est essentielle pour comprendre la dynamique de l'écoulement, identifier les zones de recharge potentielles et modéliser les processus hydrologiques d'un bassin versant.

1.1.Principe de la classification

1. **Cours d'eau de premier ordre** : Ce sont les tronçons sans affluent, généralement situés en amont du bassin versant.

2. **Cours d'eau de deuxième ordre** : Ils résultent de la confluence de deux cours d'eau de premier ordre.

3. **Cours d'eau de troisième ordre** : Formés par la confluence de deux cours d'eau de deuxième ordre.

4. **Ce processus continue** : Un cours d'eau ne change d'ordre que lorsqu'il rencontre un autre cours d'eau du même ordre.

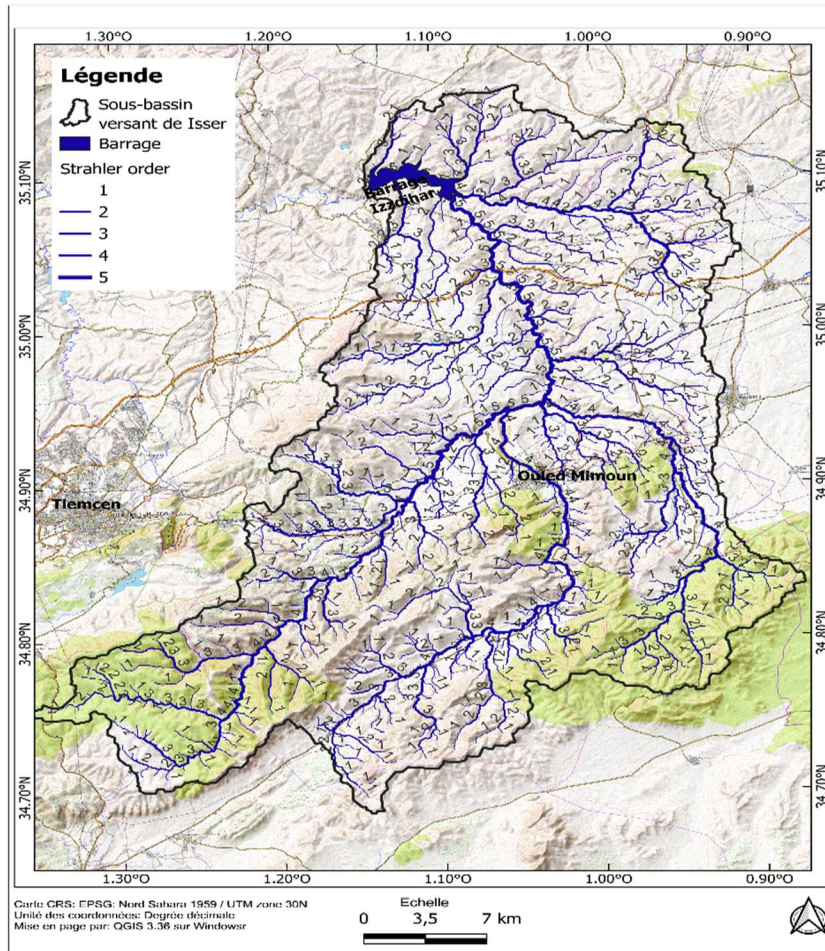


FIGURE 6: CARTE DE CLASSIFICATION DES TALWEGS SELON STREHLER DU SOUS BASSIN VERSANT D’ISSER.

TABLEAU 3 : CLASSIFICATION DES TALWEGS SELON STREHLER.

Ordre	Nombre
1	656
2	127
3	42
4	5
5	1

2) Densité de drainage

La densité de drainage est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d’eau d’un bassin versant sur la surface de ce bassin (**RAMBERT.B,1973**). Elle met en évidence la répartition du réseau hydrographique dans la zone d’étude. Elle permet d’analyser l’influence de la géologie, du relief et de l’hydrologie sur l’écoulement de l’eau. Une densité élevée indique un fort ruissellement, tandis

qu'une densité faible suggère une meilleure infiltration, influençant ainsi la recharge des nappes. Cependant, cette conception sur le réseau hydrographique s'est avérée erronée dans certains cas (**Shaban.A, 2003 ; 2006**) par exemple, dans les formations rocheuses connues pour leur forte capacité de recharge, notamment les calcaires dolomitiques karstifiés, la densité du réseau hydrographique présente une particularité notable. Ce phénomène est principalement attribué à la présence de roches fracturées, qui génèrent de multiples voies d'écoulement, généralement de faible longueur en surface.

Cependant, selon **Shaban.A (2003)**, une étude comparative a été menée afin d'examiner la corrélation entre les taux de recharge observés dans différentes formations rocheuses et les paramètres morpho-métriques les plus pertinents. Il a été démontré que la fréquence du réseau de drainage (nombre d'affluents par unité de surface) est le facteur ayant la relation la plus forte avec le potentiel de recharge : plus cette fréquence n'est élevée, plus l'infiltration et la recharge des eaux souterraines sont importantes.

La carte des densités de drainage (Figure 7) a été créée à partir du réseau hydrographique du bassin versant de l'Isser, à l'aide du logiciel « ArcGIS ».

La carte obtenue présente cinq classes :

I. Les zones de densité $< 7,62 \text{ km/km}^2$: Zones où le réseau hydrographique est peu développé avec un relief faible à modéré indique une faible densité de drainage, souvent associée à des terrains perméables, favorisant l'infiltration.

II. Densité entre $(7,62-15,25 \text{ km/km}^2)$: Une légère augmentation du drainage, indiquant principalement des terrains relativement perméables ou peu accidentés. On observe quelques cours d'eau, tandis que l'infiltration reste encore significative. Cette zone représente la transition entre les zones de recharge et les zones de ruissellement modéré.

III. Densité modérée $(15,25- 22,88 \text{ km/km}^2)$: Réseau hydrographique plus développé, indiquant une réduction progressive de l'infiltration. On dit que l'écoulement de surface est plus important, mais l'infiltration reste encore possible dans certaines conditions.

IV. Densité élevée $(22,88 - 30,51 \text{ km/km}^2)$: Zones avec un réseau hydrographique dense, caractéristique des terrains imperméables (argiles ou des pentes accentuées). Forte proportion de ruissellement, infiltration limitée. En plus, elles peuvent présenter une forte sensibilité à l'érosion.

V. Densité très élevée $(> 30,51 \text{ km/km}^2)$: Réseau hydrographique très dense favorisent l'écoulement rapide de l'eau de surface, réduisant l'infiltration.

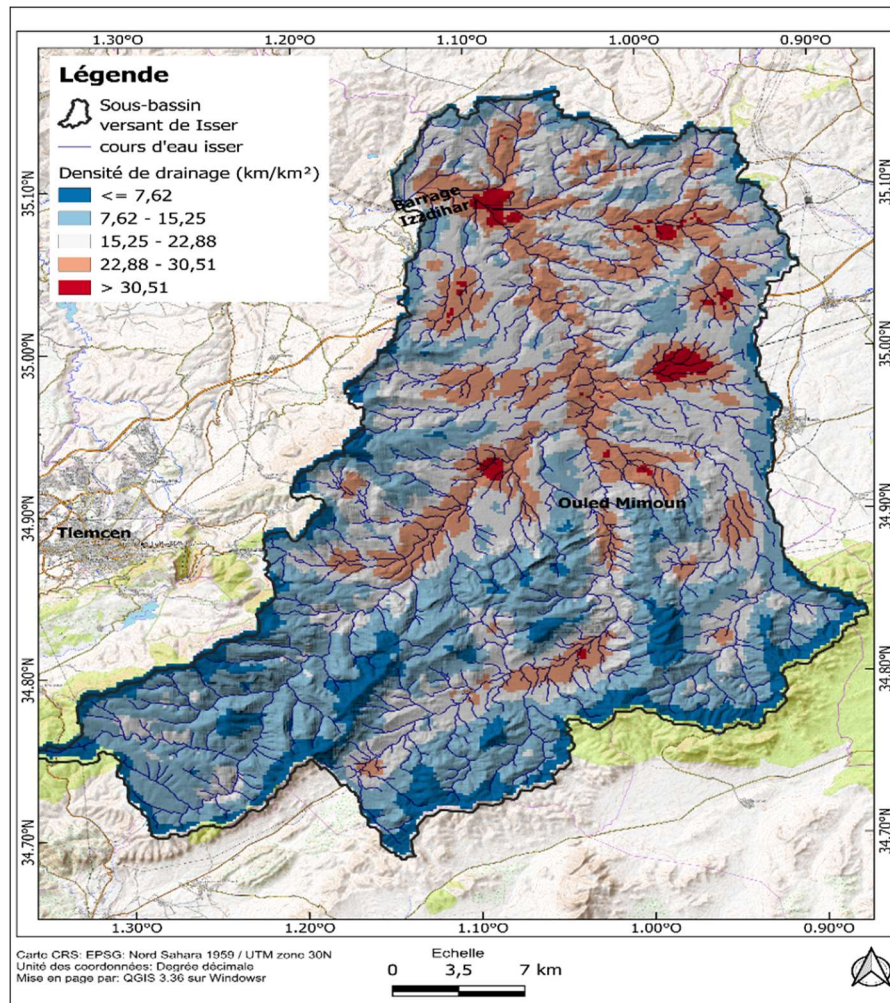


FIGURE 7: CARTE DE DENSITE DE DRAINAGE DU SOUS BASSIN VERSANT DE L'ISSER.

3) L'occupation du sol :

L'occupation du sol désigne un grand nombre de paramètres présents à la surface du sol qui influence la recharge. Les plus importants sur le plan hydrogéologique sont la couverture végétale et les surfaces imperméables. Les surfaces imperméables (bâtiments, routes, etc) retardent considérablement le processus de recharge (**Bou Kheir.R & al., 2003**). La couverture végétale, par contre améliore la recharge, car elle favorise le confinement de l'eau dans le sol, empêchant ainsi l'évaporation directe.

L'occupation du sol est un paramètre fondamental en hydrogéologie, car elle influence directement les processus d'infiltration, de ruissellement et d'évapotranspiration, jouant ainsi un rôle déterminant dans l'identification des zones de recharge des aquifères. Les surfaces naturelles perméables, telles que les forêts, les prairies et certaines zones agricoles, favorisent l'infiltration des précipitations et permettent une recharge efficace des nappes souterraines. À l'inverse, les espaces urbanisés et imperméabilisés, caractérisés par la présence de routes, de bâtiments et d'infrastructures, limitent l'infiltration et augmentent le ruissellement, réduisant ainsi la recharge des aquifères.

L'analyse de l'occupation du sol, couplée aux données topographiques et géologiques permet d'affiner l'identification des secteurs les plus propices à la recharge. L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de la télédétection facilite cette analyse, en offrant une vision

spatiale détaillée des différentes catégories d'occupation du sol et de leur impact sur la dynamique des flux hydriques. Cette approche permet ainsi de mieux comprendre les interactions entre l'occupation du sol et la recharge des aquifères, afin d'orienter les stratégies de gestion durable des ressources en eau.

La carte n° 8 révèle une diversité d'occupations du sol qui explique l'interaction entre les facteurs naturels (relief, climat) et les activités humaines dans la région d'étude, comme c'est indiqué dans la légende de la carte :

Dominance des milieux naturels :

1- Forêts et maquis :

La végétation naturelle représentée par des forêts et maquis couvrent une grande partie de la région, notamment dans les zones montagneuses du Sud et de l'Ouest. Cette présence suggère un relief accidenté, peu propice à l'agriculture intensive. Les forêts et les maquis jouent un rôle important dans la recharge des eaux souterraines. Leur végétation dense intercepte les précipitations, ce qui réduit le ruissellement et favorise l'infiltration de l'eau dans le sol. De plus, les racines des plantes contribuent à ameublir le sol et à augmenter sa perméabilité, ce qui facilite l'infiltration de l'eau.

2- Espaces agricoles :

***Céréales :**

Elles sont principalement cultivées dans la partie nord, où le terrain est probablement plus plat et fertile. Le blé et l'orge sont les céréales les plus courantes dans cette région.

Les céréales jouent aussi un rôle important dans la recharge des aquifères, en particulier dans cette région semi-aride, en améliorant l'infiltration de l'eau, en réduisant le ruissellement et en protégeant le sol contre l'érosion.

***Arboriculture :**

Les vergers d'arbres fruitiers, tels que les oliviers, les amandiers ou les figuiers, sont également concentrés dans le Nord. L'arboriculture est une pratique agricole importante dans les régions méditerranéennes, où les conditions climatiques sont favorables à la culture de ces espèces. Des pratiques agricoles durables, telles que l'agroforesterie ou l'agriculture de conservation, peuvent favoriser l'infiltration de l'eau et améliorer la recharge.

***Cultures saisonnières :**

Elles sont réparties de manière plus éparse, souvent à proximité des cours d'eau. Il peut s'agir de cultures maraîchères, de légumes ou de plantes fourragères, qui sont cultivées pendant une période de l'année où les conditions sont favorables.

***Terrain nu :**

Sa présence peut indiquer des zones en cours de développement, des terrains peu productifs ou des zones récemment défrichées.

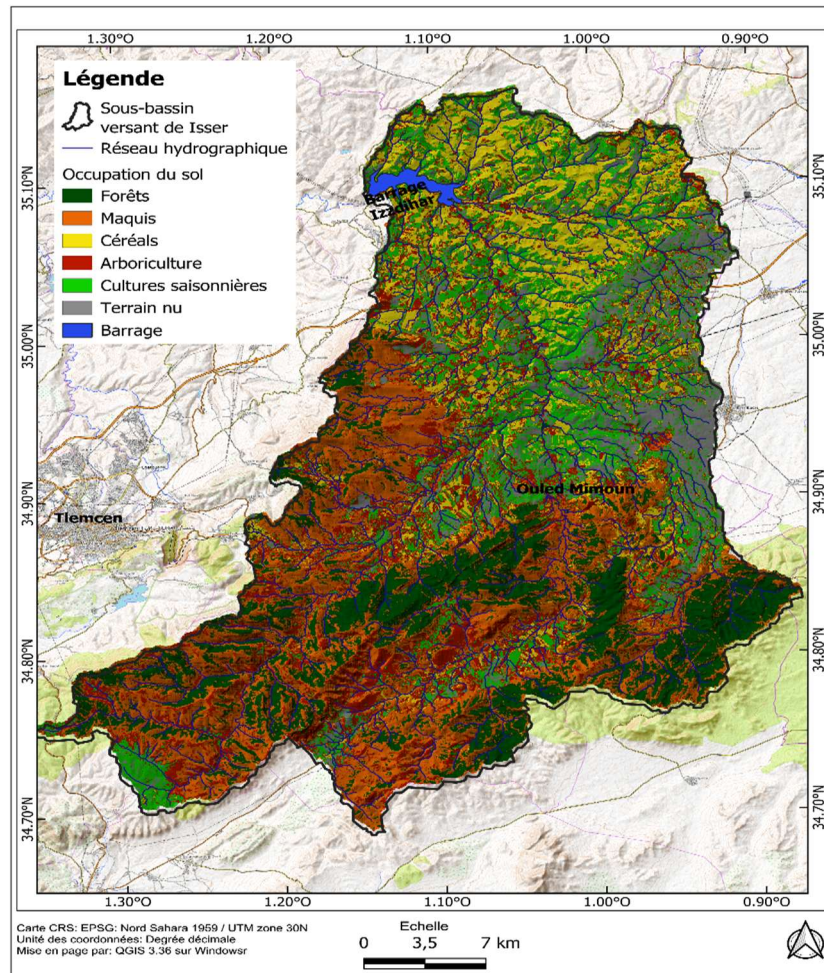


FIGURE 8: CARTE D'OCCUPATION DU SOL DU SOUS BASSIN VERSANT DE L'ISSER.

Etude Climatologique

L'étude climatologique, ou climatologie est la science qui étudie le climat. Elle s'intéresse à la description et à l'analyse des conditions météorologiques sur de longues périodes, ainsi qu'à leur variabilité et aux facteurs qui les influencent, en se concentrant sur les paramètres climatiques, tels que la température, les précipitations, l'humidité, le vent, et la radiation solaire.

L'objectif de cette étude est de caractériser le régime climatique à travers l'examen des tendances passées de 1995 jusqu'à 2024, avec des variations annuelles, mensuelles et saisonnières, dans un contexte où les effets du changement climatique deviennent de plus en plus évidents. L'étude

climatologique est très essentielle pour étudier la recharge des nappes souterraines. Pour cette étude, nous avons utilisé les données de la station météorologique du barrage de Sidi Abdelli (El-Izdihar).

TABEAU 4: LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA STATION METEOROLOGIQUE DU BARRAGE

<i>Station</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude</i>
El-Izdihar	35°04'52.91''N	1°08'40.02''O	535m

1. Précipitations :

Dans le cadre de cette étude, l'analyse des précipitations revêt une importance particulière, étant donné que les apports pluviométriques constituent la principale source de recharge naturelle des nappes phréatiques. Afin de mieux comprendre la répartition spatiale des précipitations au niveau de notre zone d'étude, nous avons élaboré une carte des précipitations à l'aide du logiciel ARCGIS, sur la base des données recueillies auprès de quatre stations météorologiques locales. Parmi celles-ci, la station du barrage El Izdihar occupe une place stratégique, du fait de sa position centrale et de la qualité de ses enregistrements pluviométriques.

Les données utilisées pour cette cartographie correspondent aux moyennes annuelles de précipitations sur une période représentative (1995–2024). Ces valeurs ont été intégrées dans le SIG, puis interpolées selon la méthode IDW (Inverse Distance Weighting), qui permet d'estimer les précipitations en des points non mesurés, en fonction de leur proximité aux stations existantes.

La figure suivante représente la carte des isohyètes obtenue, illustrant la distribution spatiale des précipitations sur le sous bassin versant d'Isser :

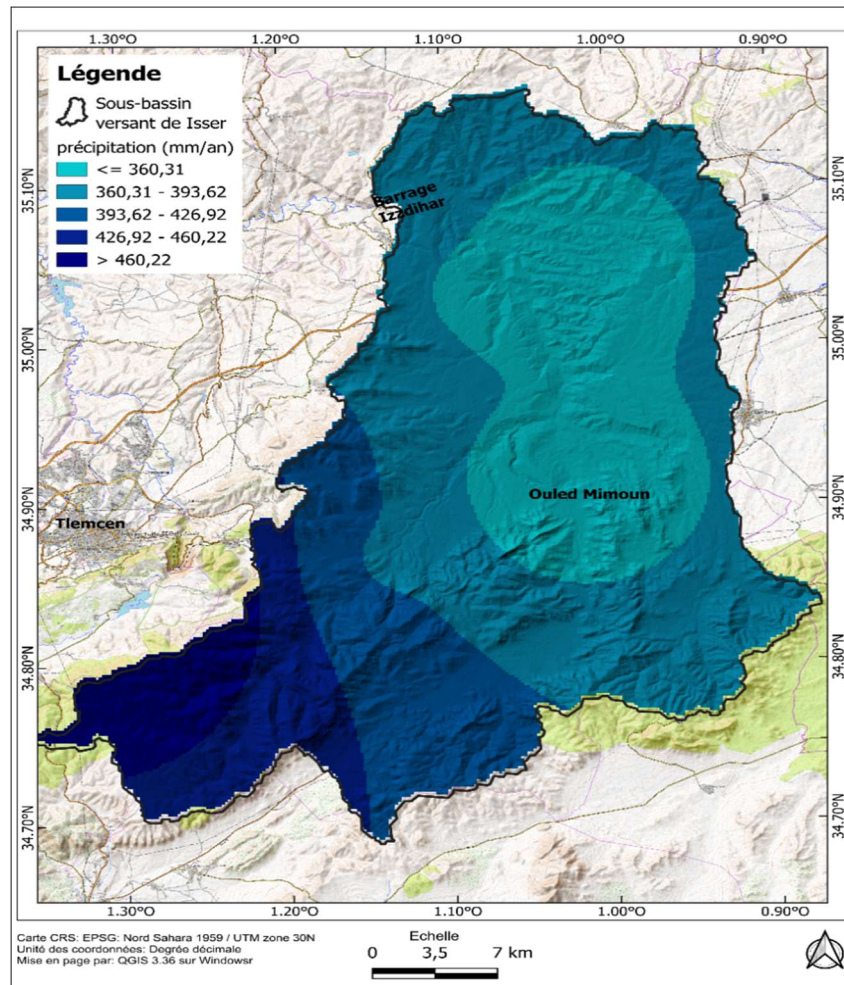


FIGURE 9: CARTE DES PRECIPITATIONS DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER

Cette étude est basée sur l'exploitation détaillée des données enregistrées à la station du barrage El Izdihar. Elle vise à caractériser le régime des précipitations à travers l'étude de la distribution annuelle, de la variabilité interannuelle et saisonnière. Ces éléments permettront de mieux comprendre les conditions climatiques locales et leur influence sur le processus de recharge de la nappe phréatique.

1-1 Précipitations moyennes annuelles :

Les précipitations sont en effet le principal apport d'eau dans le bassin versant. Elles façonnent de façon cruciale le cycle hydrologique : elles influencent directement le courant superficiel, l'infiltration et la recharge des nappes souterraines.

La répartition des précipitations est en effet conditionnée par de nombreux facteurs capables de varier saison par saison : le climat, la topographie même et aussi circulations atmosphériques.

Le tableau ci-dessous et la figure représentent la variation des données de précipitations annuelles de la série d'étude de 30 ans (1995 à 2024).

TABLEAU 5: VALEURS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES

<i>Année</i>	<i>Précipitations (mm)</i>	<i>Année</i>	<i>Précipitations (mm)</i>	<i>Année</i>	<i>Précipitations (mm)</i>
1995	317,9	2006	350,6	2017	366,0
1996	474,5	2007	335,2	2018	352,0
1997	349,2	2008	312,0	2019	535,0
1998	341,4	2009	739,1	2020	362,0
1999	292,5	2010	410,0	2021	280,0
2000	273,8	2011	379,4	2022	260,0
2001	484,5	2012	386,9	2023	276,0
2002	389,7	2013	441,0	2024	227,0
2003	409,3	2014	538,0	Moyenne interannuelle 377,8 mm	
2004	374,8	2015	388,0		
2005	322,8	2016	365,0		

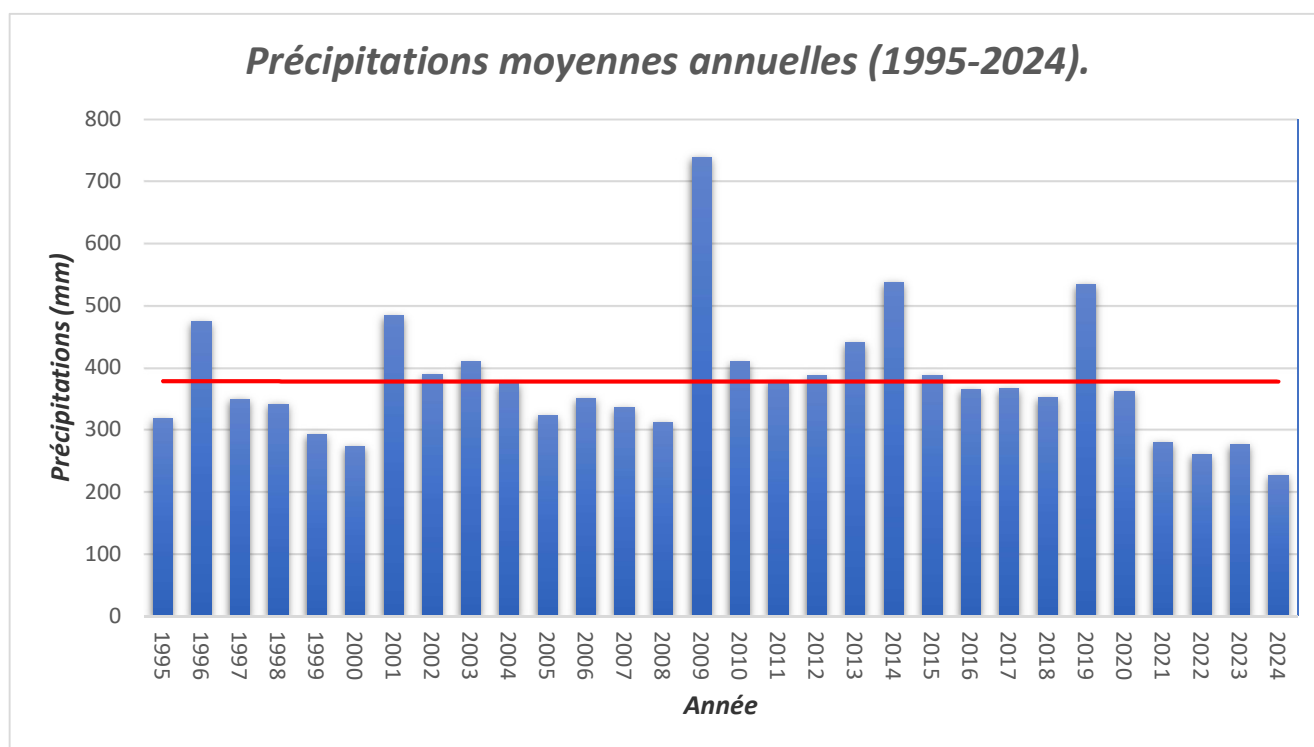


FIGURE 10: VARIATION DES PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES (1995 -2024).

La figure 10 montre les variations des précipitations moyennes annuelles. Nous remarquons une forte variabilité annuelle, avec des incursions très marquées. Certaines années se distinguent par une pluviométrie élevée, comme 2009 (739,1mm), cela pourrait relever d'un événement climatique exceptionnel, comme la crue. D'autres années aussi, comme 2014 (538 mm) et 2019 (535 mm) montrent des valeurs importantes. Une tendance plus claire de baisse est minimisée depuis 2021 avec des précipitations inférieures à 300 mm. En 2024, on note une percée nouvelle avec uniquement 227 mm

de précipitations, ce qui exprime un manque important d'eau. La moyenne inter-annuelle des précipitations est de 377.8mm.

1.2. Variabilité moyenne mensuelle des précipitations :

Le tableau 6 et la figure 10 illustrent les variations des moyennes mensuelles des précipitations sur une période de 30 ans.

TABLEAU 6: VARIATIONS DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES

MOIS	JAN	FEVR	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DEC
P(mm)	59,8	49,2	37,4	37,0	24,9	5,5	1,7	3,5	20,4	33,1	52,7	52,7

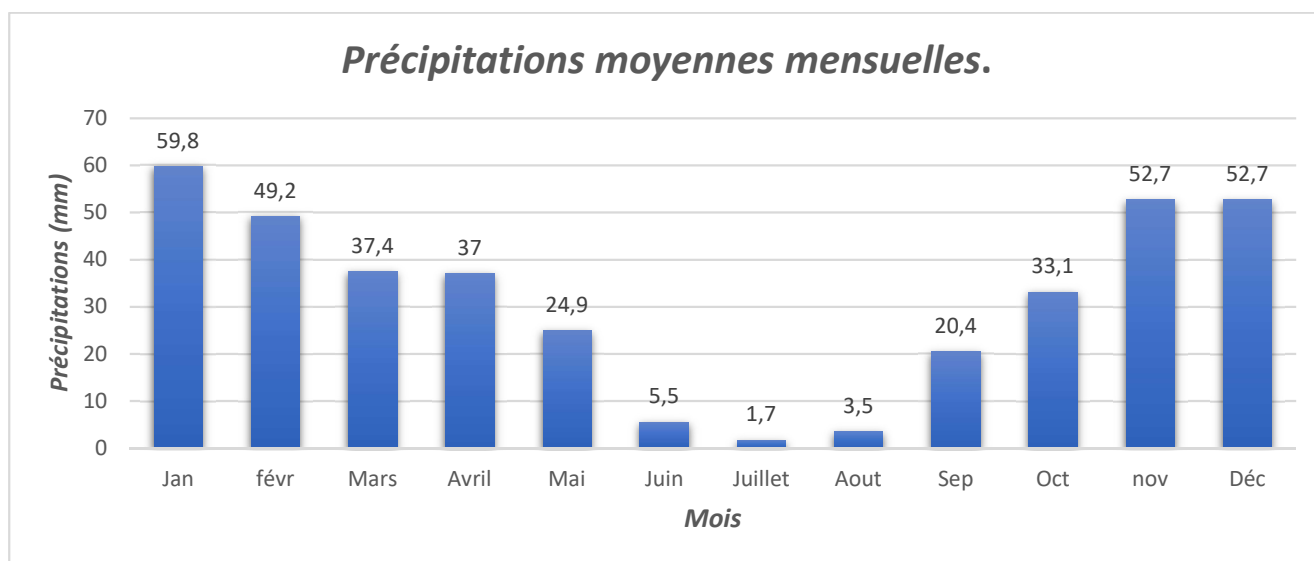


FIGURE 11: VARIATION DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES.

Une répartition mensuelle marquée se dessine à travers les barres de précipitations mensuelles. En effet, la saison hivernale est particulièrement marquée par forte précipitation et particulièrement en janvier avec 59, 8 mm de pluie (mois le plus pluvieux). En revanche, les mois d'été sont ceux où il pleut le moins et caractérisés par des précipitations extrêmement faibles, comme en juillet où on enregistre un minimum de seulement 1,7 millimètre par jour (mois le plus sec) et en août qui à son tour en génère 3,5mm. Cela correspond à une période de sécheresse qui est typique de climats méditerranéens et peut avoir une voie négative sur la disponibilité des ressources en eau, surtout pour l'agriculture et l'alimentation des nappes souterraines.

1.3. Variabilité moyenne saisonnière des précipitations :

TABLEAU 7: VARIATIONS DES PRECIPITATIONS MOYENNES SAISONNIERES

Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	
106,2mm			161,7mm			99,3mm			10,7mm			377.8mm

La variation des précipitations moyennes par saison montre une répartition stridente de la pluviométrie. L'hiver est la saison la plus arrosée, avec une récolte maximale de 161,7 mm, suivi de l'automne en deuxième position avec 106,2 mm et en troisième place, le printemps avec 99,3 mm. À l'inverse, l'été est caractérisé par un faible apport (10,7mm) indiquant une saison sèche.

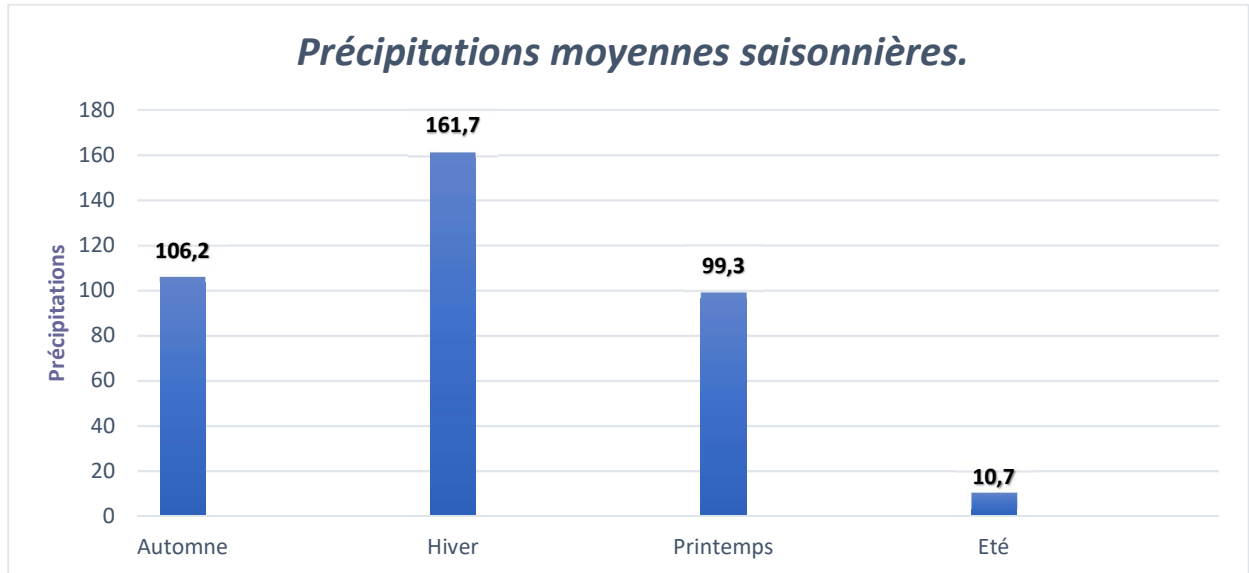


FIGURE 12: VARIATION DES PRECIPITATIONS MOYENNES SAISONNIERES.

2. Températures

Dans cette partie, nous allons analyser l'impact de la température sur la potentialité de la recharge des nappes souterraines. Plus spécifiquement, il s'agit de comprendre comment les variations de température influencent les processus d'infiltration des eaux de surface dans les nappes souterraines.

2.1. Températures moyennes annuelles

Les températures moyennes annuelles dans cette étude font référence aux températures enregistrées dans la station météorologique du barrage de SidiAbdelli, sur une période allant de 1995 à 2024.

Les données des températures moyennes annuelles sont essentielles pour comprendre le climat de la région, ainsi que pour des études liées à l'agriculture, l'hydrologie, la gestion des ressources en eau et l'impact du changement climatique sur la recharge des nappes souterraines.

Les variations des températures moyennes annuelles sont présentées dans le tableau (8) et la figure (13).

TABLEAU 8: TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES (1995 - 2024)

Année	Température(c°)	Année	Température(c°)	Année	Température(c°)
1995	17,2	2006	17,9	2017	15,0
1996	16,8	2007	16,9	2018	13,9
1997	17,5	2008	17,2	2019	14,4

1998	17,4	2009	18	2020	15,5
1999	17,1	2010	17,9	2021	15,3
2000	17,3	2011	16,8	2022	16,3
2001	17,9	2012	16,4	2023	16
2002	17,3	2013	15,7	2024	16,5
2003	17,7	2014	15,8		
2004	17,4	2015	15,5		
2005	17	2016	14,9		

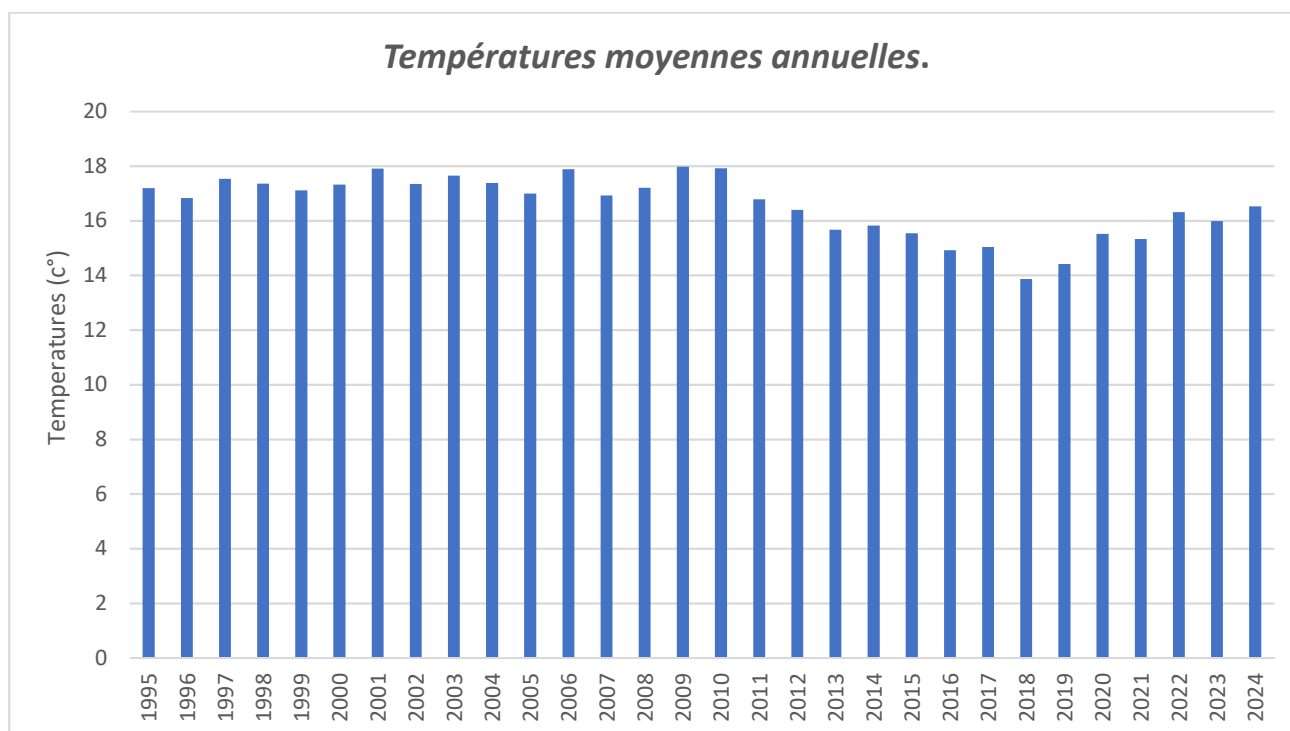


FIGURE 13: VARIATIONS DES TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES (1995 – 2024).

En se basant sur la variation des températures moyennes annuelles (1995 à 2024), nous observons des températures annuelles globalement modérées, oscillant généralement entre 13.9°C en 2018 et 18°C en 2009. La moyenne annuelle est de 16.56°C.

2.2. Températures Mensuelles

Les températures mensuelles présentent les fluctuations des températures au cours de chaque mois sur la période étudiée (1995 – 2024). Toutefois, il est important de noter que ces variations mensuelles

peuvent aussi refléter des anomalies ou des tendances plus spécifiques liées à des événements climatiques particuliers.

TABEAU 9 : VARIATIONS DES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES (1995 - 2024)

Mois	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DEC	Moyenne
T Max (°C)	15,3	16,2	18,1	20,9	23,9	28,2	32	32,4	28,3	24,6	19	16,9	23
T Min (°C)	6,1	6,5	9	10,8	14,4	18,3	21,1	21,9	18,3	15,2	10,5	7	13,3
T Moy (°C)	8,7	9,3	11,6	14,1	18,2	22,7	26,3	26,1	21,6	17,8	12,5	9,9	16,56

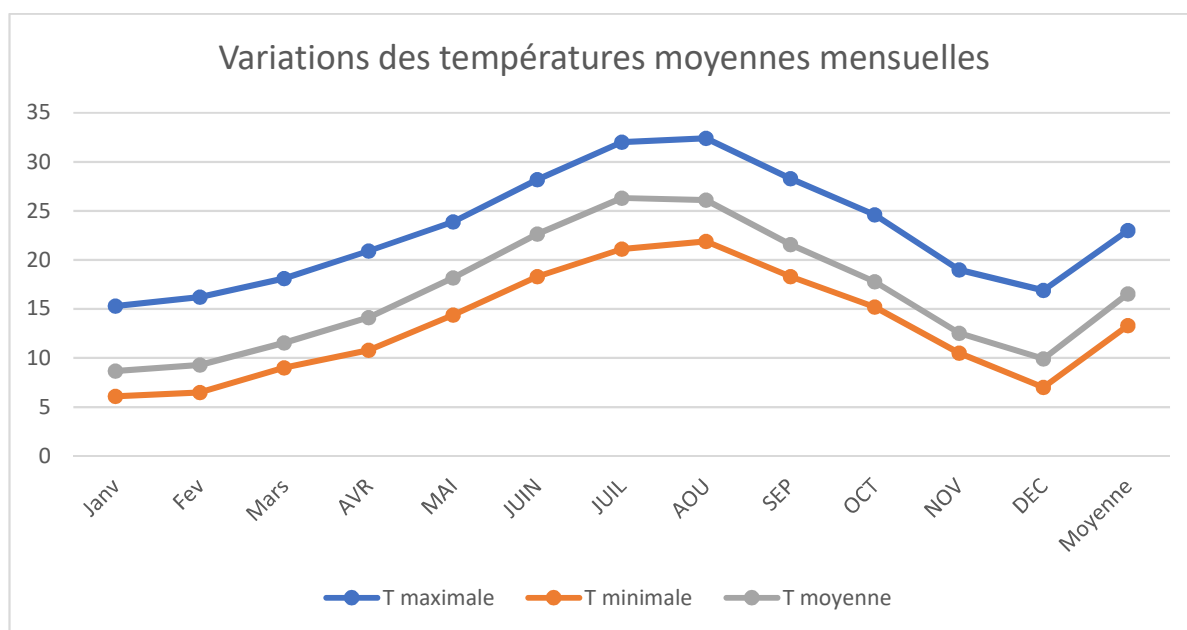


FIGURE 14 : COURBES DES VARIATIONS DES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES, MINIMALES ET MAXIMALES

Les températures maximales (courbe bleue) atteignent leur pic durant les mois de juillet (32°C) et août (32.4°C), indiquant un été chaud et sec. Parallèlement, les températures minimales (courbe orange) les plus basses sont enregistrées en janvier (6.1°C) et février (6.5°C).

Les températures moyennes mensuelles suivent cette tendance saisonnière, en enregistrant des valeurs maximales de 26.3°C en juillet et 26.1°C au mois d’Août.

3. Etude du climat

Dans un contexte de changement climatique mondial, l’étude du climat est essentielle pour évaluer les impacts environnementaux et sociaux, et pour anticiper l’étude de la recharge des nappes

souterraines. Le but de cette partie est de vérifier le climat de la région d'étude, à partir des méthodes de visualisation (méthodes graphiques) et des calculs des indices climatiques annuels et mensuels

3.1.Méthodes de visualisation (Méthodes graphiques)

Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausсен : est un outil graphique couramment utilisé en climatologie pour caractériser les régimes climatiques d'une région. Il permet de visualiser la relation entre les températures moyennes mensuelles et les précipitations moyennes mensuelles, ce qui offre une représentation claire de l'équilibre entre les deux principaux paramètres climatiques.

Le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausсен est représenté par deux courbes (T et P) liées par la relation suivante : $P=2T$

- Si la courbe des températures est au-dessus de la courbe des précipitations : nous avons une période sèche.

- Si la courbe des précipitations est au-dessus de celle des températures : la période est humide

TABLEAU 10: PRECIPITATIONS ET TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES A LA STATION D'EL-IZDIHAR (1995-2025).

MOIS	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
P(mm)	59,8	49,2	37,4	37,0	24,9	5,5	1,7	3,5	20,4	33,1	52,7	52,7
T (°C)	8,7	9,3	11,6	14,1	18,2	22,7	26,3	26,1	21,6	17,8	12,5	9,9

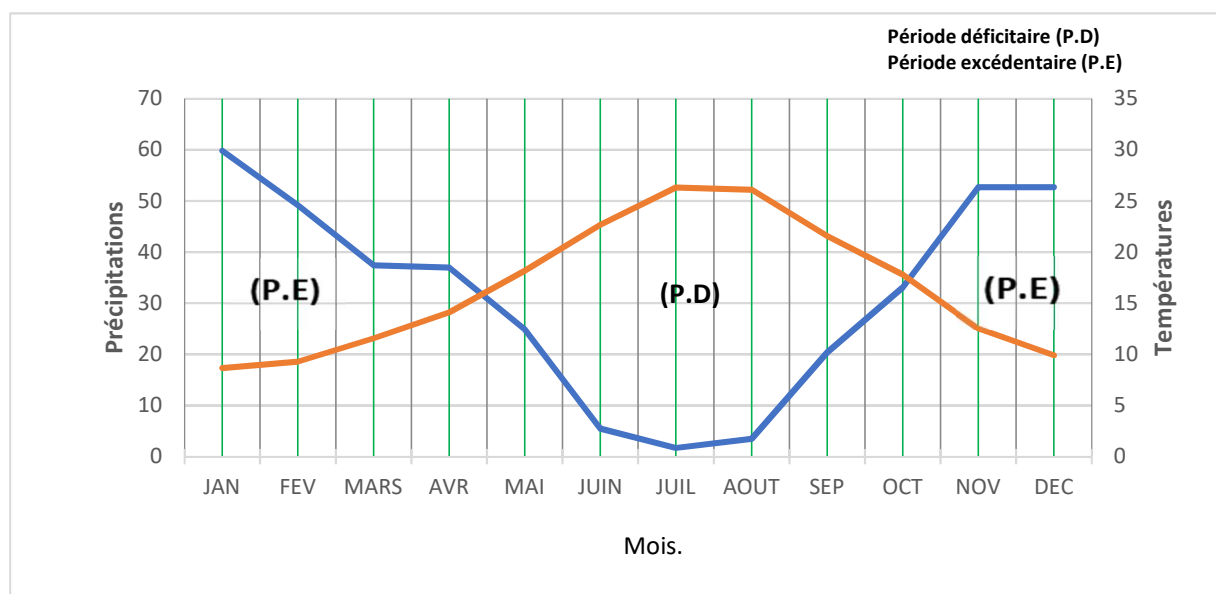


FIGURE 15: DIAGRAMME PLUVIO-THERMIQUE DE BAGNOULS ET GAUSSEN

Le diagramme pluvio- thermique montre une :

Période déficitaire (P.D) : s'observe du mi- avril au début du mois d'octobre.

Période excédentaire (P.E) : s'étale sur les autres mois de l'année.

3.2. Indice d'aridité de DE Martonne (1923) :

L'indice d'aridité de De Martonne (1923) est un indicateur climatique utilisé pour évaluer le niveau d'aridité ou d'humidité d'un climat. Il est basé sur les précipitations annuelles et la température moyenne annuelle.

3.2.1. FORMULE DE L'INDICE DE DE MARTONNE :

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

- I : Indice d'aridité (ou indice de De Martonne)
- P : Précipitations annuelles (en mm)
- T : Température moyenne annuelle (en °C)

TABLEAU 11: INDICE D'ARIDITE DE DE MARTONNE.

P (mm)	T (°C)	I
377.8	16.56	14.22

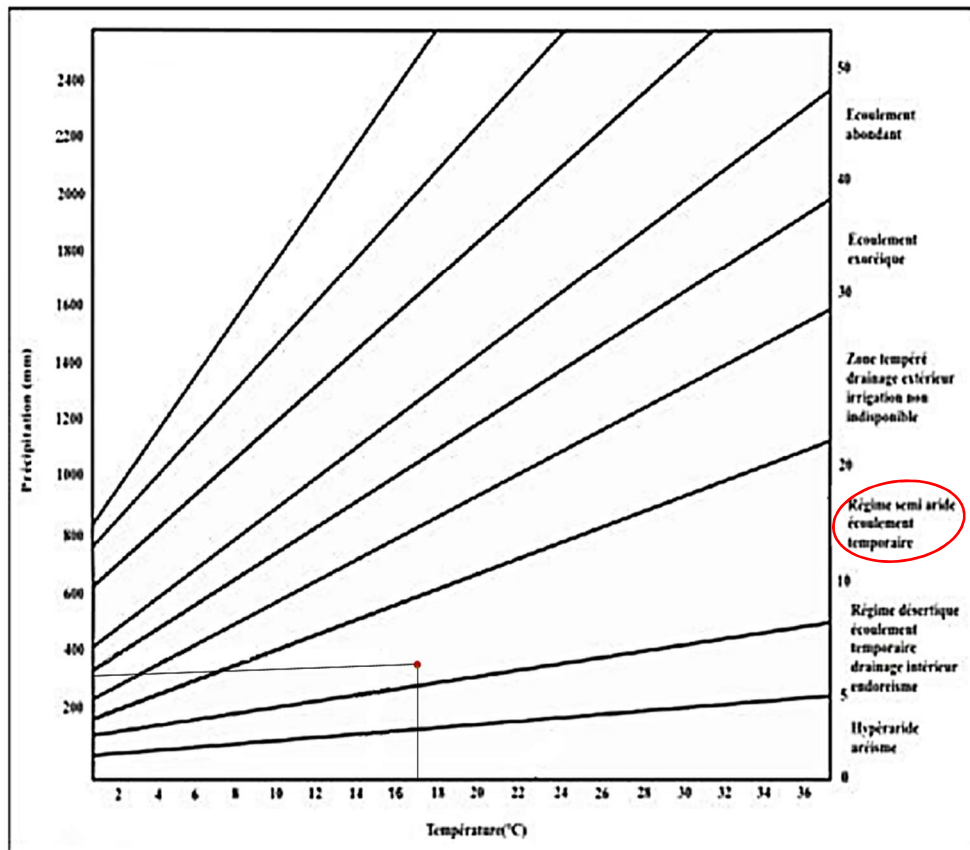


FIGURE 16: ABAQUE DE L'INDICE D'ARIDITE ANNUEL.

TABEAU 12:CLASSIFICATION DE DE MARTONNE

Indice I	Caractéristique du climat
I<5	Climat hyper-aride
5<I<10	Climat désertique
10<I<20	Climat semi-aride
20 < I < 50	Climat froid tempéré ou tropical
I > 50	Climat équatorial et montagnard

Le calcul de l'indice d'aridité annuel a donné une valeur de 14,22 elle est comprise entre 10 et 20 indique un climat semi- aride.

3.3. Indice d'aridité mensuel

3.3.1. FORMULE DE L'INDICE D'ARIDITE MENSUEL :

$$I_m = \frac{12P_m}{T_m + 10}$$

- **I_m** : Indice d'aridité mensuel
- **P_m** : Précipitations du mois (en mm)
- **T_m** : Température moyenne du mois (en °C)

TABEAU 13: : INDICES D'ARIDITE MENSUELLE DE DE MARTONNE.

MOIS	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
I_m	38.43	20.81	18.4	10.6	10.59	2.02	0.56	1.16	7.75	14.29	28.06	31.76
Type	T	T	S	S	S	H	H	H	D	S	T	T

Avec les types du climat :

- T** : Tempéré.
- D** : Désertique.
- S** : Semi-aride.
- H** : Hyper-aride.

Climagramme d'EMBERGER :

Le climagramme d'Emberger est un outil utilisé pour caractériser les types de climats méditerranéens, en particulier dans les régions semi-arides à arides. Il a été conçu par le botaniste **Louis EMBERGER** pour établir une relation entre la végétation et le climat, notamment en Afrique du Nord et dans les zones méditerranéennes.

C'est un **diagramme bioclimatique** basé principalement sur trois variables climatiques :

- **P** : Précipitations annuelles (en mm).
- **M** : Température maximale moyenne du mois le plus chaud (en °K) (**Août : 32.4°C+273=305.4 °K**).

- **m** : Température minimale moyenne du mois le plus froid (en °K) (janvier : 6.1°C+273=279.1°K).

3.4. Indice pluviothermique d'Emberger (Q)

L'indice de base utilisé dans le climagramme d'Emberger est :

$$Q = \frac{1000 \times P}{((M + m)/2)(M - m)}$$

- Avec : $K = T (^{\circ}C) + 273$

TABLEAU 14:INDICE D'EMBERGER.

P(mm)	M (°k)	m(°k)	Q
377.8	305.4	279.1	49.15

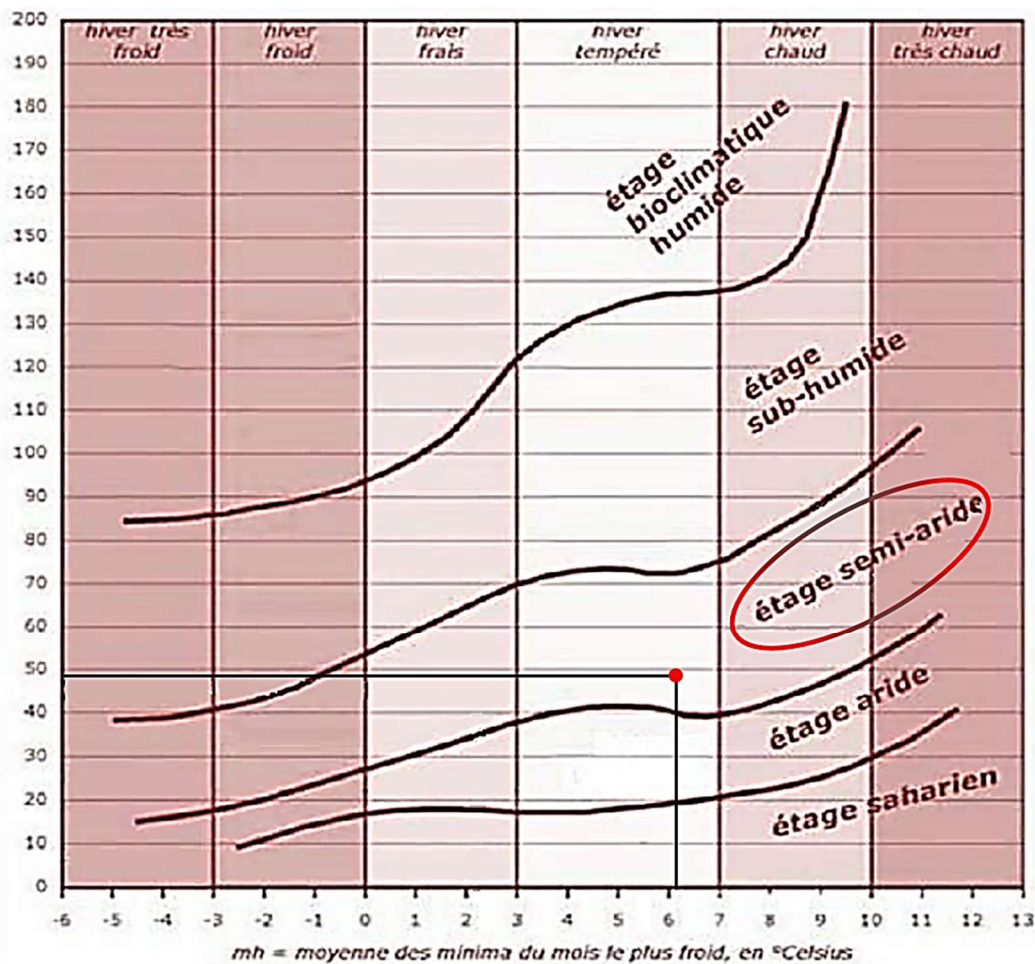


FIGURE 17: CLIMAGRAMME D'EMBERGER.

Q= 49.15 donc le climat est semi-aride.

4. Bilan Hydrologique :

Le bilan hydrologique est un outil très important dans notre étude qui permet de quantifier les échanges d'eau sur une zone donnée (bassin versant) sur une période donnée.

Formule générale du bilan hydrologique :

$$P=E+R+\Delta S$$

Où :

- **P** = précipitations (pluie, neige, etc.)
- **E** = évapotranspiration (évaporation + transpiration des plantes)
- **R** = ruissellement (écoulements de surface et écoulement souterrain)
- **ΔS** = variation de stock d'eau (dans le sol, les nappes, les lacs, etc.)

Dans ce titre, nous étudierons les échanges d'eau dans le sous bassin versant de l'Isser durant une période de 30 ans (1995-2024).

4.1. Evapotranspiration et déficit d'écoulement

Selon les recommandations de la FAO (**Allen.R. Pereira.G. & al,(1998)**), l'estimation de l'évapotranspiration repose sur des approches normalisées prenant en compte les variables climatiques majeures, parmi lesquelles la température, l'humidité relative, le rayonnement solaire et le vent ainsi que par des paramètres édaphiques et biologiques, tels que la couverture végétale et la teneur en eau du sol.

L'évapotranspiration constitue un processus fondamental du cycle hydrologique, intégrant simultanément l'évaporation de l'eau à partir des surfaces libres (telles que les sols nus ou les étendues d'eau) et la transpiration végétale. Elle représente une voie majeure de restitution de l'eau vers l'atmosphère et exerce une influence déterminante sur le bilan hydrique à l'échelle locale et régionale.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) : la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée et transpirée par une surface végétalisée, dans des conditions climatiques données et sans aucune limitation hydrique. Elle correspond donc à la demande atmosphérique en eau, indépendamment de la quantité d'eau réellement disponible dans le sol.

L'évapotranspiration réelle (ETR) : la quantité effective d'eau évaporée à partir des surfaces libres et transpirée par la végétation, en tenant compte des conditions hydriques réelles du sol. Peut être estimée à l'aide de diverses méthodes empiriques et analytiques, qui prennent en compte les conditions hydrologiques et climatiques spécifiques à la région d'étude. Parmi ces méthodes, la méthode de Turc (1961) est l'une des plus couramment utilisées, car elle permet de calculer l'ETR à partir de paramètres météorologiques tels que la température de l'air, l'humidité relative et le rayonnement solaire. La méthode de **Coutagne.A (1948)**, quant à elle, est souvent appliquée dans les zones méditerranéennes et repose sur l'utilisation de coefficients de réduction de l'ETP en fonction de la disponibilité en eau. La méthode de **Verdeil.J (1951)** propose un calcul simplifié de l'ETR en tenant compte des variations saisonnières des conditions climatiques et des sols. Enfin, la méthode de **Wundt.W (1935)**, bien que moins courante, est utilisée pour des études locales, en s'appuyant sur une approche qui corrige l'ETP en fonction de la température de l'air et de l'humidité relative.

4.1.1. METHODE DE TURC (1954) :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

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

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Température moyenne annuelle (C°)

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm/an).

Dans le cadre de l'évaluation de la recharge des nappes phréatiques du sous-bassin versant d'Isser, situé dans le bassin de la Tafna, la méthode empirique de **Coutagne (1954)** a été utilisée pour estimer le volume annuel d'eau potentiellement disponible pour le ruissellement et donc pour l'infiltration. Cette méthode repose sur une relation simple entre les précipitations annuelles et la température moyenne, exprimée par la formule suivante :

TABLEAU 15: CALCUL DE L'ETR PAR LA METHODE DE TURC.

Station	P(mm)	T(C°)	L	ETR (mm/an)	Écoulement et infiltration (mm) (P-ETR)
Barrage El Izdihar	377.8	16.56	941.065	366.8	11 soit 2.91 % de P

4.1.2. METHODE DE COUTAGNE :

Dans le cadre de l'évaluation de la recharge des nappes phréatiques du sous-bassin versant d'Isser, situé dans le bassin de la Tafna, la méthode empirique de **Coutagne.A (1954)** a été utilisée pour estimer le volume annuel d'eau potentiellement disponible pour le ruissellement et donc pour l'infiltration. Cette méthode repose sur une relation simple entre les précipitations annuelles et la température moyenne, exprimée par la formule suivante :

$$D = P - \lambda \cdot P^2 \quad \lambda = 1/0.8 + 0.14T \quad \text{Où}$$

D : Déficit d'écoulement annuel en mm/an,

P : Précipitations moyennes annuelles (mm),

λ : facteur dépendant de la température moyenne annuelle

T : Température moyenne annuelle (°C).

Pour la station du barrage d'El Izdihare, les valeurs utilisées sont : [P=377,8 mm / T=16,56°C].

Cette formule n'est applicable que pour P comprise entre $1/8\lambda < P < 1/2\lambda$. Dans notre cas, cette méthode n'est pas applicable.

4.1.3. METHODE DE WUNDT :

Pour l'estimation du déficit d'écoulement (D), la **méthode de Wundt** a été adoptée, en raison de sa simplicité d'application et de son adéquation avec les contextes méditerranéens à semi-arides. Cette méthode repose sur un abaque empirique permettant de déterminer D en fonction de deux variables climatiques : la **température moyenne annuelle (T)** et les **précipitations annuelles (P)**.

Les données climatiques de la station du **barrage d'Izdihar** ont été utilisées (P = 377,8 mm ; T = 16,56 °C). En reportant ces valeurs sur l'abaque de Wundt, on obtient un **déficit d'écoulement estimé à 360 mm**, ce qui représente environ **95 % des précipitations totales**, les **5 % restants** correspondant au ruissellement ou à l'infiltration potentielle.

Cette estimation a été intégrée dans l'équation du bilan hydrique, en considérant que la fraction du ruissellement pouvant s'infiltrer alimente potentiellement la nappe phréatique. Le **quotient d'écoulement** ($\approx 5\%$) a ainsi été mobilisé comme **valeur de référence** pour estimer une recharge potentielle brute, sous réserve de confirmation par d'autres méthodes complémentaires (piézométrie, traçage, etc.).

TABLEAU 16: VALEUR DU DEFICIT D'ECOULEMENT D'APRES WUNDT.

Station	P(mm)	T(°C)	D (mm/an)	Ecoulement et infiltration (P-D)
Izdihare	377.8	16.56	350	27.8

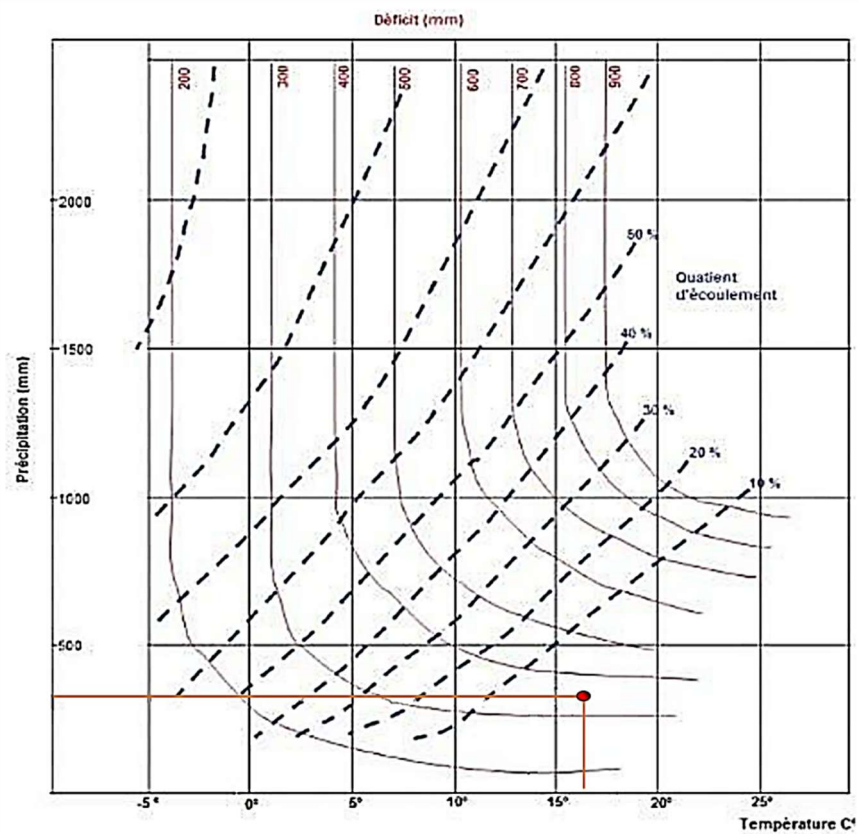


FIGURE 18: DETERMINATION DU DEFICIT D'ECOULEMENT D'APRES WUNDT.

4.1.4. METHODE DE P. VERDEIL :

Verdeil (1988), a établi en Algérie un abaque bi-logarithmique pour les régions semi-arides, En tenant compte uniquement des précipitations annuelles.

Les résultats de cette Méthode sont présentés dans le tableau suivant :

TABEAU 17: VALEUR DU DEFICIT D'ECOULEMENT D'APRES P. VERDEIL

Précipitation (mm)	Déficit (mm/an)	Ecoulement et infiltration (mm)
377.8	350	27.8

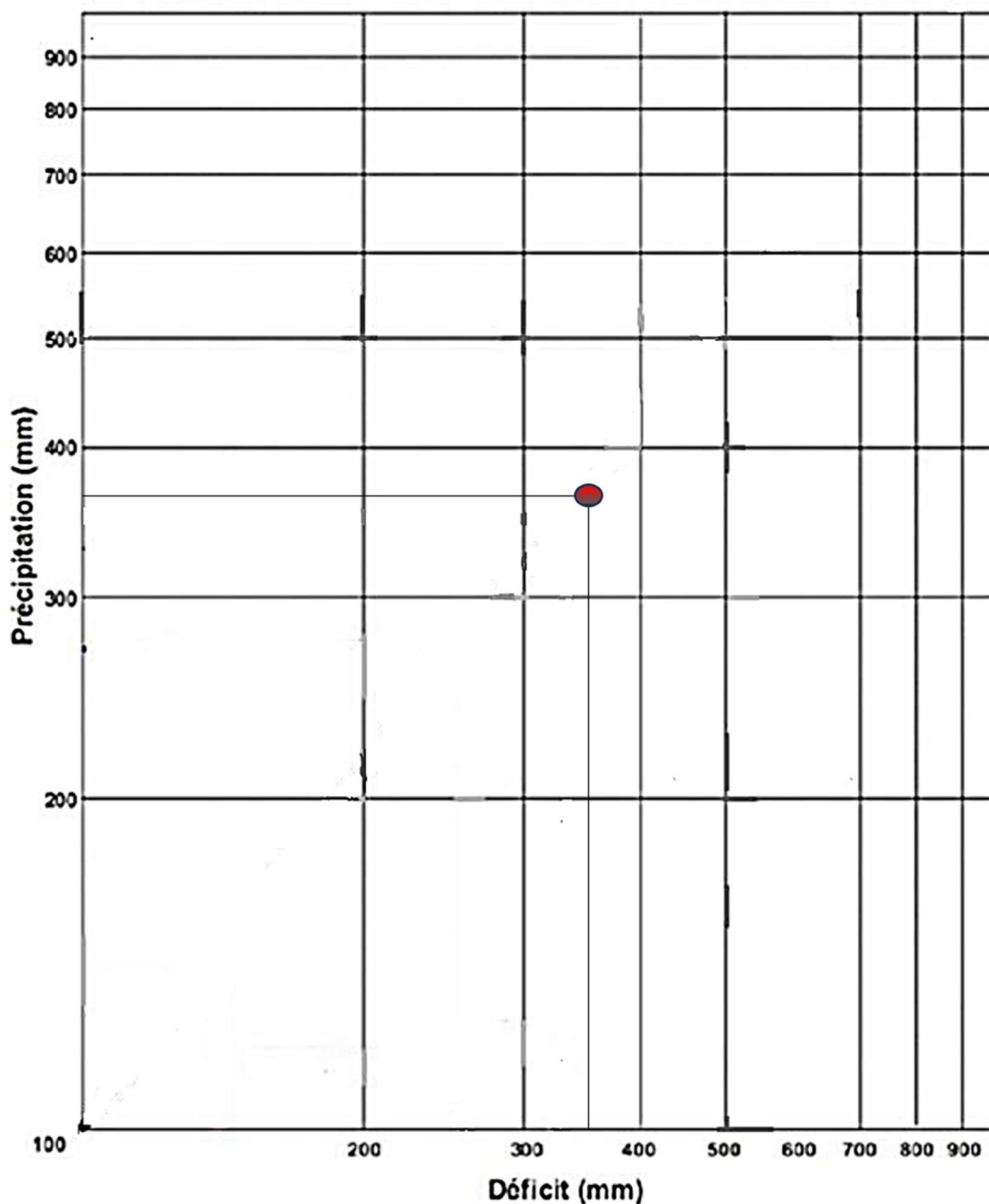


FIGURE 19: ABAQUE POUR LE CALCUL DU DEFICIT D'ECOULEMENT SELON (P. VERDEIL, 1988).

4.2. Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'estimation de l'ETP est fondamentale pour déterminer la part exacte des précipitations qui peut intervenir dans la recharge des nappes. En effet, une part importante des apports pluviométriques est perdue par évapotranspiration, particulièrement dans les zones semi-arides, comme celles du sous bassin de l'Isser, où le climat est marqué par une irrégularité des précipitations et une demande évaporative élevée.

Plusieurs méthodes permettent d'estimer l'ETP, qui varie de l'ordre des approches très pratiques et empiriques comme les mises en place par Thornthwaite et Turc à la mise en place de ce qui est plus complet et précis comme le Penman-Monteith, le choix de la technique se fait essentiellement en fonction de ce qui est disponible et de la qualité des données climatiques (température, précipitation, humidité), ainsi que du contexte environnemental et agro-climatique local.

4.2.1. METHODE DE THORNTHWAITE :

Développée par le climatologue américain C.W. Thornthwaite en 1948, cette méthode est une approche empirique simple qui permet d'estimer l'évapotranspiration potentielle mensuelle en fonction uniquement de la température moyenne mensuelle et de la latitude. Elle est particulièrement utilisée dans les études hydrologiques, lorsque peu de données climatiques sont disponibles (pas besoin d'humidité, vent ou rayonnement).

Formule de base :

$$ETP_m = 16 \left(\frac{10 \times T_m}{I} \right)^a \text{ Où :}$$

- ETP_m : évapotranspiration potentielle du mois mmm (en mm),
- T_m : température moyenne mensuelle (°C), T_m>0
- I : indice thermique annuel (somme des indices mensuels),
- a : coefficient empirique, fonction de I.

Étapes de calcul :

I. Calcul de l'indice thermique mensuel :

$$I_m = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.514}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau (18)

II. Calcul de l'indice thermique annuel :

La somme des indices mensuels des 12 mois de l'année (I), $I = \sum_{12} I_m$

➤ $I = 77.45$

1. Calcul du coefficient a : avec : $a = 0,016 I + 0,5$

➤ a = 1.73

2. Calcul de l'ETP mensuelle corrigée :

$$ETP_m = 16 \left(\frac{10 \times T_m}{I} \right)^a k$$

Avec k = coefficient de correction en fonction de la **durée du jour** et de la **latitude** de la station étudiée. Ce coefficient est pris du tableau n°01 en annexes.

TABLEAU 18: RESULTATS DE L'INDICE THERMIQUE MENSUEL, L'ETP NON CORRIGEE ET CORRIGEE A LA STATION DE SIDI ABDELLI (1995-2024).

Mois	Janv	Fev	Mars	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Annuelle
T(moy)	8,67	9,28	11,56	14,12	18,17	22,65	26,31	26,09	21,56	17,79	12,53	9,91	16.56
I	2,3	2.55	3.55	4.81	7.05	9.84	12.35	12.19	9.14	6.83	4.02	2.82	77.45
Etp non corrigée	19.5	21.88	31.99	45.21	69.95	132.7	132.7	130.8	94.87	67.43	36.77	24.5	783.8
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85	///
Etp corrigée	16.97	18.6	32.94	49.27	84.6	160.6	163.2	151.7	97.7	65.4	31.62	20.82	893.42

4.3.Évapotranspiration réelle (ETR)

La relation entre l'ETP et les précipitations (P) est importante pour déterminer l'ETR. Selon les deux cas principaux :

Lorsqu'il y a un taux élevé de précipitation par rapport à la demande atmosphérique (P>ETP), l'eau n'est généralement pas un facteur limitant. Dans ce qui se passe, l'évapotranspiration réelle tend à se rapprocher de l'évapotranspiration potentielle (ETR=ETP), car l'humidité du sol est suffisante pour répondre à la demande de l'évapotranspiration.

Par contre, quand la demande atmosphérique dépasse les précipitations (P<ETP), la quantité d'eau réellement évoluant est variable selon la capacité du sol à apporter l'eau manquante pour compléter ce qui manque. Tant que les réserves en eau du sol sont suffisantes, l'ETR peut se maintenir proche de l'ETP. Mais à mesure que ces réserves s'épuisent progressivement, l'ETR diminue de plus en plus pour finalement devenir inférieure à l'ETP (ETR<ETP) ce qui marque l'apparition d'un déficit hydrique.

4.3.1. CALCUL DE LA RESERVE FACILEMENT UTILISABLE (R.E.U)

L'élaboration de la réserve d'eau dans le sol (REU) est une composante essentielle de l'élaboration d'un bilan hydrique précis. La REU représente la quantité d'eau que les plantes ont à leur disposition dans la zone racinaire du sol. Sa variation au fil du temps (ΔREU) est un élément important de l'équation du bilan hydrique.

D'après **Hallaire.A (1960)**, la R.E.U est une notion de premier plan dans la gestion de l'irrigation et l'étude du comportement hydrique des plantes. Hallaire a aussi mis en avant que la disponibilité de

cette réserve influence directement l'ETR. Tant que le contenu en eau du sol est supérieur à la R.E.U, l'ETR peut aller jusqu'au maximum (ETP). Au-delà de ce point de rupture (lorsque la teneur en eau diminue sous la R.E.U) les plantes commencent à faire plus d'effort pour extraire l'eau, ce qui cause une baisse de l'ETR par rapport à l'ETP.

La R.E.U est calculée par la formule suivante :

$$RU = \frac{C-f}{100} H \cdot D + 30$$

- **Ru** : Réserve utile en eau du sol.
- **C** : Capacité au champ.
- **f** : Capacité au point de flétrissement.
- **H** : Profondeur du sol (H=500mm).
- **D** : Densité apparent du sol (D=1).
- **30 mm** : Enracinement capillaire.

Les valeurs de (C-f) dépendent de la nature du sol, d'après les travaux antérieurs consultés,

Nous avons pris : C-f= 20%, donc : RU=130 mm.

Remarque

Pour l'assurance des précisions dans les calculs du bilan hydrique, il est essentiel de disposer des données journalières, en effet l'écoulement et l'infiltration ne se déclenchent que sous l'intensité des précipitations ou l'état de réserve du sol soit saturé.

L'utilisation de données agrégées (moyennes mensuelles) dans notre étude masque les dynamiques fins et conduit à une absence totale de l'écoulement et l'infiltration, donc les données journalières permettent de mieux représenter les variations naturelles du climat et de donner un bilan plus précis.

TABLEAU 19: : CALCUL DU BILAN HYDROLOGIQUE DE LA STATION IZDIHAR 1995-2024

MOIS	Janv	Fev	Mars	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Annuelle
P	59,8	49,2	37,4	37,0	24,9	5,5	1,7	3,5	20,4	33,1	52,7	52,7	377.8
ETP	16.97	18.6	32.94	49.27	84.6	160.6	163.2	151.7	97.7	65.4	31.62	20.82	893.42
RU (130)	42.83	73.43	77.89	65.62	5.92	0	0	0	0	0	21.08	52.96	/
ETR	16.97	18.6	32.94	49.27	84.6	11.42	1.7	3.5	20.4	33.1	31.62	20.82	324.94
DA	0	0	0	0	0	149.18	161.5	148.2	77.3	32.2	0	0	568.38
EXE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Conclusion

L'analyse des caractéristiques physiques est un élément de base pour interpréter la dynamique du sous bassin, en ce qui concerne le ruissellement et l'infiltration. Pour cela, nous avons analysé trois cartes thématiques (réseau hydrographique, pente et occupation du sol), l'ensemble de ces caractéristiques présente une hétérogénéité spatiale, influençant directement les mécanismes de circulation de l'eau.

L'étude climatologique de la zone étudiée a été faite en utilisant les données de la station météorologique du barrage de Sidi Abdelli (El Izdihar), durant la période allant de 1995 à 2024. Cette analyse est très importante pour la recharge des nappes. Les températures et les précipitations montrent une variabilité saisonnière typique des climats semi-arides, avec une répartition très inégale, tout au long de l'année. La température moyenne annuelle s'élève à 16.56 °C et les précipitations moyennes annuelles sont de 377.8 mm.

- La méthode des courbes pluvio-thermiques de Bagnouls et Gaussen nous a permis de déterminer une période déficitaire, allant de la mi- avril au début d'octobre et une période excédentaire qui s'étale sur les autres mois de l'année.

- L'utilisation des méthodes graphiques et des indices comme celui de DE Martonne ou le climagramme d'Emberger nous a montré que l'étage bioclimatique est semi- aride.

Les calculs effectués dans le bilan hydrique ont permis d'estimer une évapotranspiration potentielle annuelle de 893.42 mm (la demande climatique max en eau pour le couvert végétal). Cependant, l'évapotranspiration réelle (quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée par végétation en fonction de la disponibilité en eau du sol) n'atteint que 324.94 mm. Cette différence met en évidence un déficit de 568.38 mm, traduisant un stress marqué dans la zone d'étude.

CHAPITRE II
GEOLOGIE ET
HYDROGEOLOGIE

Chapitre II : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE.***I. Introduction***

L'analyse géologique et hydrogéologique constitue une étape essentielle dans l'évaluation du potentiel de recharge des aquifères du sous-bassin versant de l'Isser. L'étude géologique permet de caractériser la nature des formations lithologiques, leur répartition spatiale ainsi que leur structure tectonique (failles, plis, fractures) qui influencent directement la perméabilité des roches et la circulation de l'eau souterraine. En parallèle, l'investigation hydrogéologique vise à identifier les différents types d'aquifères présents, leur mode de fonctionnement, ainsi que les conditions de recharge et de drainage. La compréhension de ces éléments est cruciale pour délimiter les zones favorables à l'infiltration, en tenant compte des contrastes de perméabilité entre les formations et des connexions potentielles entre nappes. Cette approche permet ainsi d'optimiser la gestion des ressources en eau, en identifiant les secteurs à fort potentiel de recharge, afin de garantir une exploitation durable des nappes souterraines.

II. Synthèse Géologique :

Les caractéristiques lithologiques jouent un rôle significatif dans le processus de recharge des aquifères fracturés et portent sur la compacité et l'état d'altération de la roche, la présence de diaclase et de joint sur les roches sub-affleurantes ou affleurantes (**Krishnamurthy.J 1996,2000 ; CBhuiyan.C & al., 2009**). Ces caractéristiques physiques donnent des informations importantes sur la capacité d'infiltration des formations géologiques. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration (**Bouanani. A, 2004**).

L'ensemble de la litho-stratigraphie du secteur d'étude est constitué par six principaux ensembles géologiques, allant des calcaires du Jurassique aux alluvions quaternaires (figure 20). Leur description est inspirée des travaux antérieurs (**Gentil.L.1902 .Collignon.B ,1986, Benest.M,1985,1999**).

L'ensemble de la litho-stratigraphie de cette plaine est constitué par six principaux ensembles géologiques allant des alluvions quaternaires aux calcaires du Jurassique.

1) **Le Jurassique supérieur** : les calcaires représentent les plus anciennes formations affleurantes dans la région. Ils sont illustrés par une robuste série marine qui constitue les Monts de Tlemcen, et sur toute la partie méridionale du sous bassin versant de l'Isser affleurent des calcaires et dolomies d'âge jurassique qui s'étendent dans la direction nord. Des formations marneuses avec intercalations gréseuses affleurent au Nord et à l'Est de la zone étudiée. Dans le sous- bassin de l'Isser, on trouve les formations d'âge jurassique supérieur :

-Les grès de Boumediene (Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur) : Ils correspondent à des dépôts gréseux avec des stratifications obliques.

-Les dolomies de Tlemcen (Kimméridgien moyen-Kimméridgien supérieur) : sous forme de reliefs ruiniformes.

-Dolomies de Terni (Tithonien inférieur) :se caractérisent à sa base par la présence des bancs de calcaires à silex et parfois de calcaires oolithiques. Leur épaisseur est de l'ordre de 100 m dans le plateau de Terni. Elles sont bien représentées au niveau du sous bassin de l'Oued Isser.

-Marno-calcaires d'Ouled Mimoun (Tithonien supérieur à Berriasien basal) : Epaisseur 500 à 700m. A la base, on note l'existence de bancs gréseux (Grès de Merchiche) (**Benest.M,1985 in Bensaoula.F,2006**).

- 2) **Le Crétacé inférieur** : où se trouvent des calcaires dolomitiques et marnes qui sont caractéristiques d'un environnement marin plus stable de la période (Berriasien-Hautérvien), cette formation se termine par des calcaires d'âge Barrémien supérieur à Aptien « Calcaires de Zygone », Au-dessus des formations jurassiques, on y trouve uniquement les couches de la base du Crétacé.
- 3) **L'Éocène** : formé de marnes, grès et calcaires gréseux, ils reflètent une alternance entre des environnements marins peu profonds et des conditions plus continentales. Ces formations traduisent des variations du niveau marin et des apports sédimentaires différenciés. Les calcaires offrent une bonne perméabilité, favorisant l'infiltration, tandis que les marnes freinent ce processus.
- 4) **Le Miocène** : représenté par des marnes et des grès résultants du dépôt marin de la période Helvétique, qui affleurent au Nord et à l'Est de la zone d'étude, prédominerait avec d'immenses affleurements de marnes grises et vertes et de petits bancs gréseux. Il s'agit de dépôts argilo-gréseux, autochtones (**Collignon.B ,1986**). Ces formations limitent l'infiltration et peuvent contribuer au ruissellement.
- 5) **Le Plio-Quaternaire** : formé de cailloutis (grès et conglomérats), alluvions et marnes : ces formations ont une perméabilité variable, elles sont caractérisées par des sédiments continentaux d'âge similaire, mais de composition diverse (limons, travertin, pouding, carapace calcaire). Les grès et conglomérats permettent une certaine infiltration, lorsqu'ils sont fissurés, tandis que les marnes sont imperméables.
- 6) **Le Quaternaire** : caractérisé par une croûte calcaire formée de dépôts quaternaires anciens, avec une surface encroûtée, tandis que l'Holocène, qui fait partie du Quaternaire, se distingue par des alluvions actuelles récentes, des éboulis de pentes et une accumulation de piémont, composée de sables, graviers et argiles, ainsi que de mollasses.

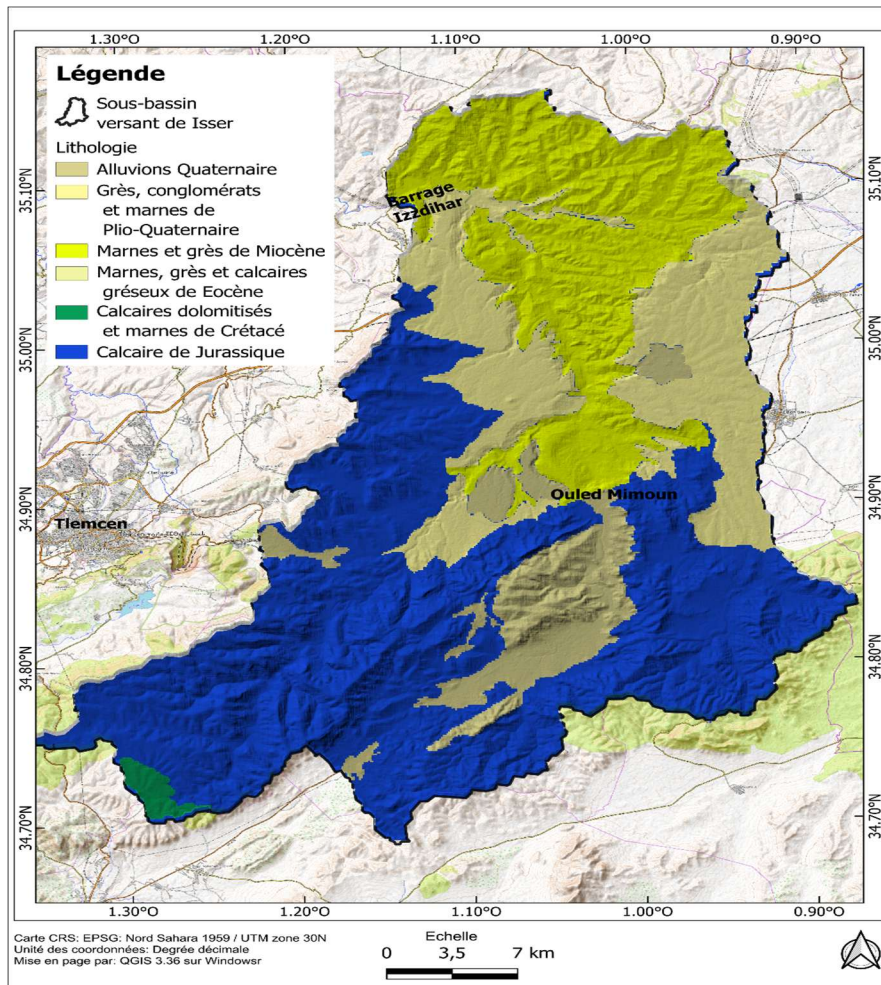


FIGURE 20: CARTE GEOLOGIQUE DU SOUS BASSIN VERSANT DE L'ISSER.

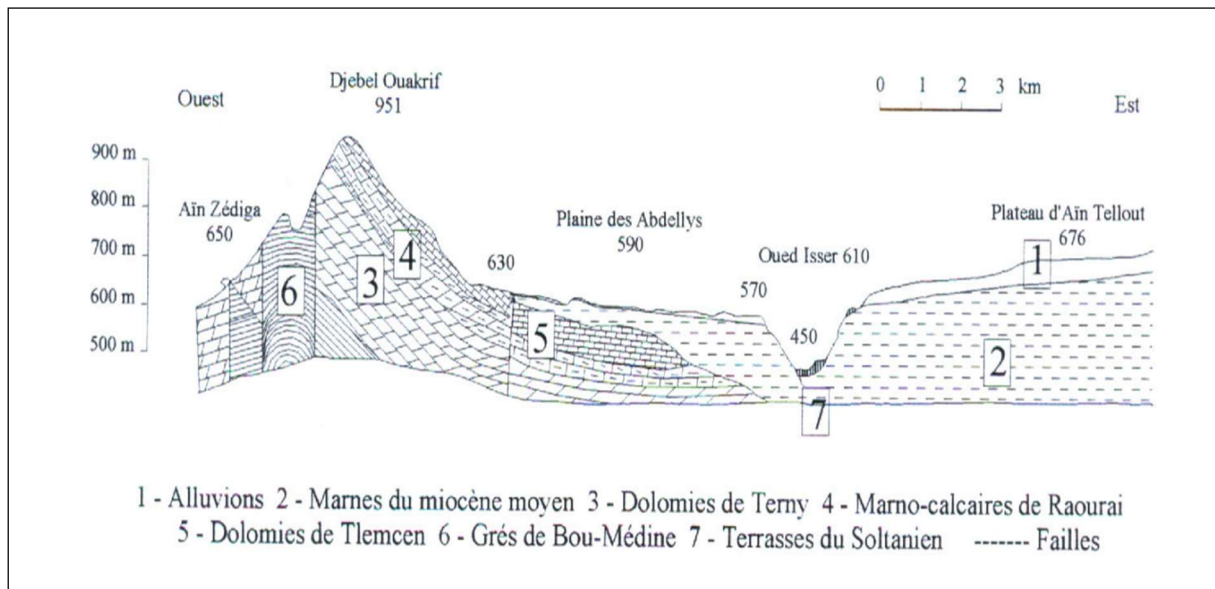


Figure 21: Coupe schématique au niveau d'Oued Isser (Bouanani. A , 2004).

III. Tectonique :

Il s'inscrit dans le système tectonique de l'Atlas tellien qui a façonné le paysage, en formant de nombreux plis, anticlinaux et failles inverses. D'après **Perrodon.A (1957)**, la région se divise en deux grands domaines : un domaine plissé au Nord correspondant à la chaîne des Sebâa Chioukh et au Sud un domaine tabulaire, dominé par les Monts de Tlemcen. Cette configuration résulte d'une longue évolution tectonique, marquée notamment par les phases hercyniennes et alpines, ce qui a conduit à l'individualisation du domaine tlemcénien, Celui-ci présente une alternance de formations perméables (calcaires, dolomies, grès) et imperméables (marnes, argiles), influençant directement la dynamique des aquifères et la recharge des eaux souterraines.

La tectonique dominante dans la région est de type cassant, caractérisée par plusieurs systèmes de failles qui ont compartimenté l'ensemble de la zone. Les structures tectoniques majeures sont de directions:ENE-WSW, E-W et ESE-WNW et représentées principalement par : la transversale de Tafna-Magoura ; la transversale d'Oued Chouly et enfin la transversale d'Aïn Tellout (**Benest.M,1985**).

Les mouvements tectoniques qui ont affecté la région d'étude ont engendré une distribution hétérogène des linéaments, caractérisée par une densité particulièrement élevée dans la partie septentrionale du secteur d'étude comparativement au reste de la zone (Fig.23).

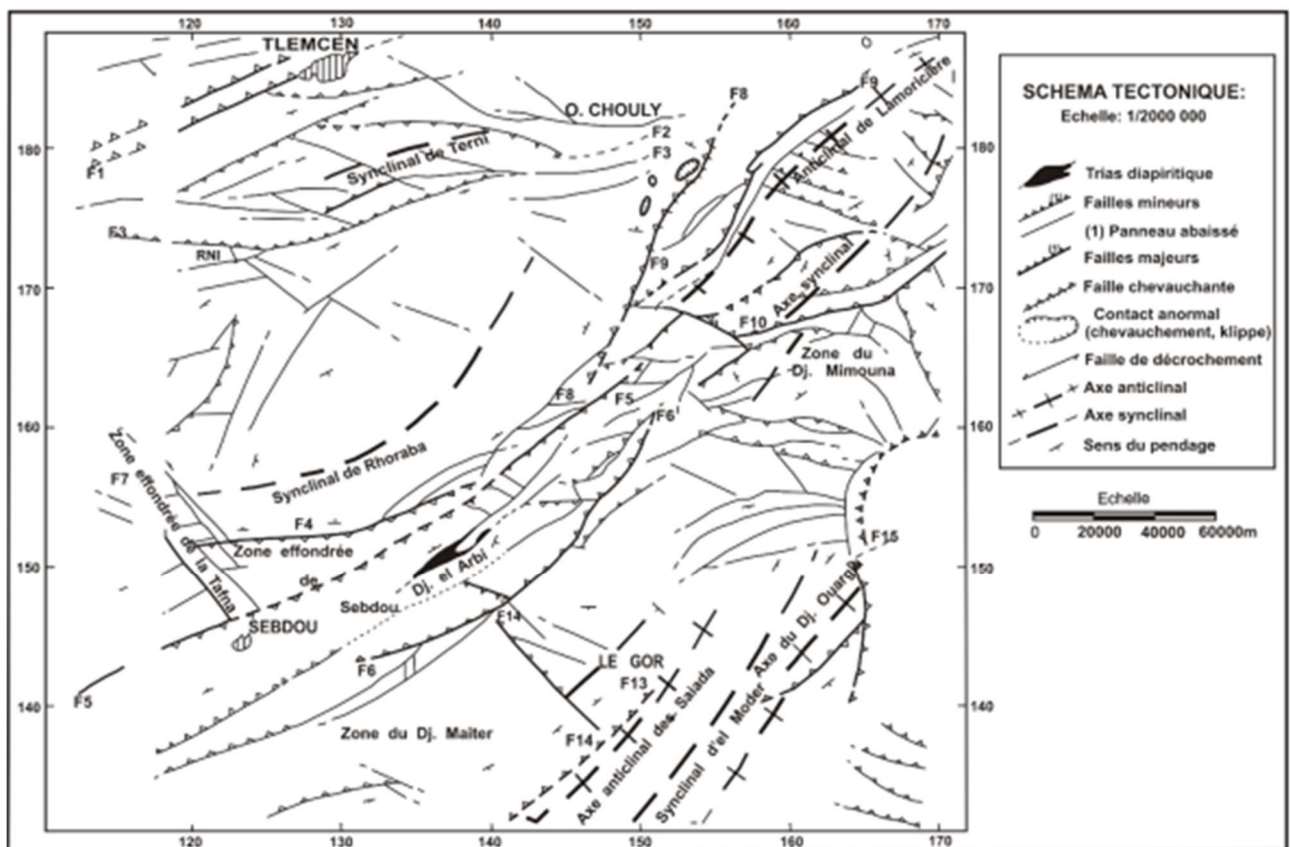


FIGURE 22:CARTE STRUCTURALE DU BASSIN DE LA TAFNA (**BENEST.M, 1985**).

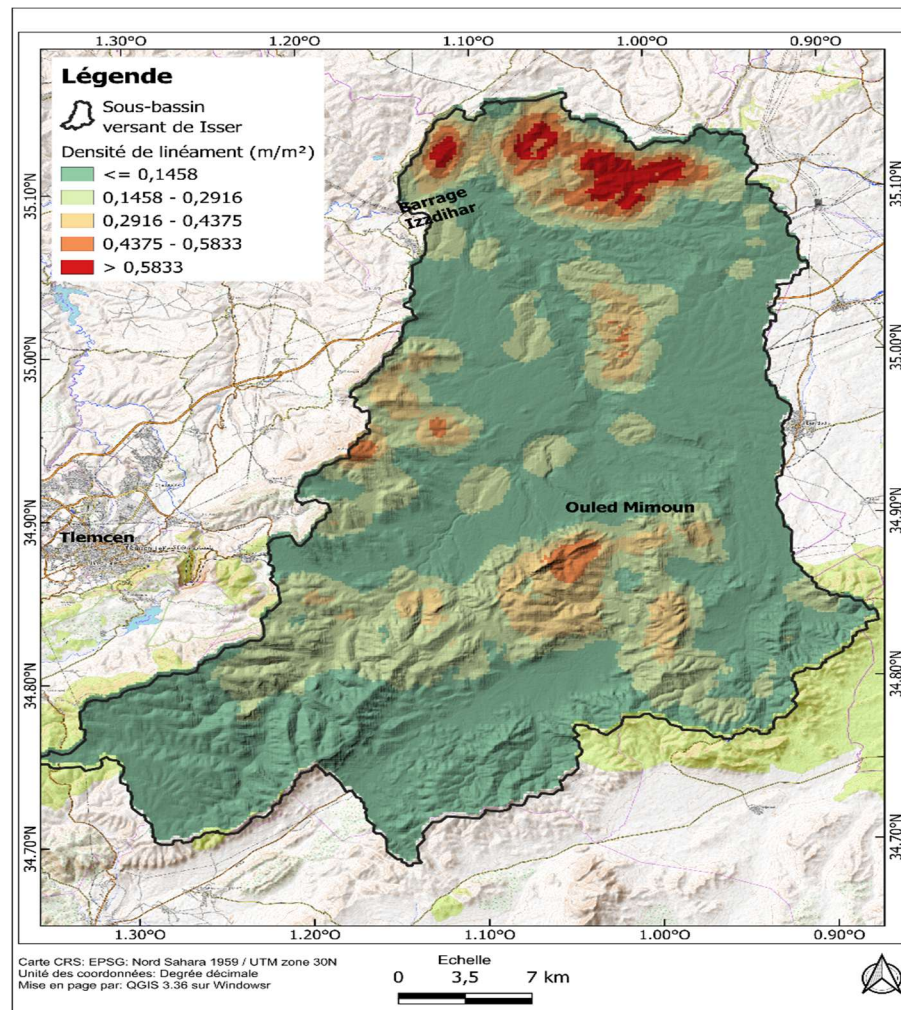


FIGURE 23: CARTE DE LINEAMENTS DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER.

IV. Synthèse Hydrogéologique :

L'hydrogéologie et la géologie sont étroitement liées, et leur interaction influence directement la gestion des ressources en eau dans un bassin versant. L'hydrogéologie est une branche de la géologie qui étudie la distribution, le mouvement et les propriétés de l'eau souterraine dans le sous-sol. Cette discipline joue un rôle clé dans la gestion des ressources en eau, en permettant de comprendre comment l'eau interagit avec les formations géologiques et comment elle circule à travers les aquifères.

De même, le bassin de l'Oued Isser, avec une superficie importante occupée par des marnes et argiles, connaît un écoulement plus superficiel dû à la facilité avec laquelle ces formations sont érodées et transportées en suspension. Ainsi, la compréhension de la géologie locale est cruciale pour évaluer l'infiltration et la gestion des ressources en eau, en fonction de la nature des formations et de leur capacité à retenir ou laisser s'écouler l'eau.

a. Formations à fort potentiel aquifère :

Elles regroupent les calcaires jurassiques, les dolomies de Tlemcen et de Terni, ainsi que les alluvions récentes du Plio-Quaternaire. Les calcaires jurassiques, particulièrement perméables grâce aux phénomènes de karstification et de fracturation, présentent un fonctionnement en régime libre à semi-

captif, avec une recharge rapide par infiltration directe des précipitations et indirecte, via les rivières et fissures. Ces formations se trouvent principalement le long des vallées et dans les zones basses, où elles assurent un stockage temporaire d'eau, avec une capacité limitée et une connexion variable aux nappes profondes. En revanche, les dolomies, bien que très présentes dans le sous-bassin, offrent une perméabilité variable selon leur fracturation et sont capables d'alimenter des nappes sous pression lorsqu'elles sont recouvertes par des formations imperméables. Quant aux calcaires dolomitiques et marnes du Crétacé, leur perméabilité varie selon leur degré de fracturation et de dolomitisation. Ces formations ont une lithologie favorable sur le plan hydrogéologique et une forte capacité de rétention de l'eau, bien que la recharge y soit généralement plus lente et moins efficace que celle des calcaires karstiques.

b. Formations à faible potentiel aquifère :

Les formations imperméables et aquitards, telles que les marnes et grès miocènes, sont présentes principalement au Nord et au centre du bassin, où elles limitent considérablement la recharge des aquifères. Ces formations agissent comme des barrières hydrauliques, entravant la circulation des eaux souterraines et favorisant la formation de nappes perchées, ils agissent comme des niveaux imperméables, limitant l'infiltration des eaux de surface et dirigeant l'écoulement de l'eau vers des zones superficielles.

Bien que les alluvions quaternaires, présentes en surface, puissent stocker temporairement de l'eau et contribuer localement à l'alimentation des nappes, elles ne présentent qu'un potentiel limité. De plus, certaines formations, telles que les marno-calcaires d'Ouled Mimoune, dominées par des matériaux argileux ou marneux, présentent une faible perméabilité, ce qui empêche la formation d'aquifères significatifs. Ces formations ne permettent donc pas une circulation effective de l'eau souterraine.

Pour une gestion durable des ressources en eau souterraines, on doit optimiser les zones de recharge des aquifères.

V. Conclusion :

En conclusion, l'étude géologique et hydrogéologique du sous-bassin versant de l'Isser révèle des dynamiques variées concernant les ressources en eau souterraine. L'interaction entre la géologie et l'hydrogéologie est essentielle pour comprendre les phénomènes de circulation et de stockage de l'eau dans le sous-sol. La géologie, en tant que science des formations rocheuses et des processus qui les façonnent, influence directement les caractéristiques hydrogéologiques d'un bassin versant. La nature des roches, leur perméabilité, leur porosité et leur structure tectonique déterminent la manière dont l'eau s'infiltré, se stocke et circule à travers les aquifères, par exemple les calcaires jurassiques et les dolomies, en raison de leur perméabilité et de leur karstification, constituent des aquifères potentiels majeurs, tandis que les formations à faible potentiel, telles que les marnes et les grès miocènes limitent considérablement la recharge, en agissant comme des barrières hydrauliques.

CHAPITRE III :
Application du système
SIG pour l'élaboration de
la carte des potentialités
hydriques

CHAPITRE III : Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques.

I. Introduction

L'eau, une ressource essentielle pour la vie et le développement socio-économique, occupe un rôle fondamental dans la gestion durable des territoires. Dans de nombreuses régions du monde, l'accessibilité à l'eau souterraine, notamment à travers les aquifères, reste une solution primordiale pour satisfaire les besoins en eau potable et d'irrigation dans divers autres usages. Cependant, Pour garantir une gestion efficace et durable de cette ressource, il est fondamental de connaître et de comprendre les caractéristiques et le potentiel des aquifères qui se trouvent dans une même région.

Dans ce contexte, les SIG (Systèmes d'Information Géographiques) attireraient l'attention comme outils particulièrement puissants pour analyse, modélisation et cartographie des potentialités hydriques. En effet, ces systèmes permettent d'intégrer, analyser et visualiser des données géographiques et environnementales provenant de diverses sources, ce qui facilite par conséquent l'élaboration de cartes précises et détaillées.

Le but principal de ce chapitre est de montrer comment les SIG peuvent être utilisés pour élaborer une carte des potentialités hydriques du sous bassin de l'Isser, en particulier dans le cadre de l'étude de la recharge des aquifères. Ce processus implique l'intégration de multiples facteurs environnementaux et géologiques, tels que la topographie, les types de sols, les conditions climatiques, ainsi que les caractéristiques géologiques et hydrologiques locales. Ensuite, l'analyse des données géographiques permettent de fournir des informations essentielles pour la gestion et la planification des potentialités des ressources souterraines.

But des systèmes SIG :

Les systèmes d'information géographiques (SIG) jouent un rôle important pour étudier et gérer durablement les ressources en eau souterraines, notamment dans le cadre de l'étude de la recharge des aquifères. Particulièrement, grâce à leur capacité à intégrer et recueillir différents types de données spatiales et thématiques, ces systèmes permettent des compréhensions approfondies du fonctionnement des aquifères, les cartographier et suivre les propriétés des nappes phréatiques. Ils modèlent aussi les processus de recharge, en fonction de paramètres géologiques, hydrologiques et climatiques, tels que les précipitations, évapotranspirations et types de sols.

En exploration, les (SIG) permettent d'identifier les zones à fort potentiel hydrogéologique à partir de données issues de la géologie, des forages, de la perméabilité des sols et de la fracturation des roches, cette approche révèle où rechercher les ressources d'eau souterraines qui ont les accès les plus faciles. Ces SIG servent très bien aussi la protection des réservoirs d'eau par identification des zones vulnérables aux pollutions humaines (qui viennent de l'agriculture ou des industries où domestiques) et ils surveillent aussi bien la qualité de l'eau, via l'analyse de concentrations en nitrates ou autres contaminants.

Finalement, les SIG apportent un soutien très précieux aux gestionnaires de l'eau, grâce à la simulation de différents scénarios gestionels, évaluation des pressions humaines et élaboration des

politiques de protection adaptées. Ils permettent de mener un travail intégré, efficace et durable pour assurer la préservation et la bonne exploitation des aquifères, face aux défis environnementaux croissants.

II. Technique d'élaboration de la carte des potentialités :

L'élaboration de la carte des potentialités hydriques dans le cadre de l'étude de la recharge des aquifères dans le sous-bassin d'Isser nécessite une approche méthodologique rigoureuse, intégrant l'utilisation de données géo-spatiales, de modélisation hydrologique et de techniques de collecte de terrain adaptées aux spécificités de cette zone. L'objectif de cette carte est d'identifier les zones de recharge potentielles des nappes phréatiques et d'évaluer la durabilité des ressources en eau souterraine dans cette région, en prenant en compte les variables climatiques, géologiques et humaines. Outils et données :

Ce travail est basé sur l'utilisation des logiciels Qgis3.36.2, ArcMap 10.8.

1. OUTILS ET DONNEE

○ Qgis

Logiciel libre et open source QGIS (Quantum GIS) qui est la base pour la gestion, l'analyse et la visualisation des données géographiques. Cette version a une interface très conviviale et intègre de nombreuses fonctions avancées qui permettent de créer, modifier et analyser des cartes et des données spatiales. QGIS 3.36.2 supporte de nombreux types de données (raster, vecteur, bases de données spatiales, etc.) et a une grande gamme de plugins (extensions) pour améliorer ses performances capacités (ex. : géo-traitements spécifiques, calculs hydrologiques, analyse multicritère, classification d'images satellites, etc.). Il prend en charge de multiples formats de données (Shapefile, GeoTIFF, CSV, GPX, KML, GeoPackage, etc.), ce qui facilite l'interopérabilité entre différentes sources et plateformes. Grâce à sa compatibilité avec les systèmes de projection, son moteur de traitement puissant et ses outils de cartographie personnalisés, cette version s'adapte très bien aux études environnementales, hydrogéologiques et à la modélisation spatiale telle que pour l'identification des zones de recharge des aquifères. (<https://www.qgis.org>)

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

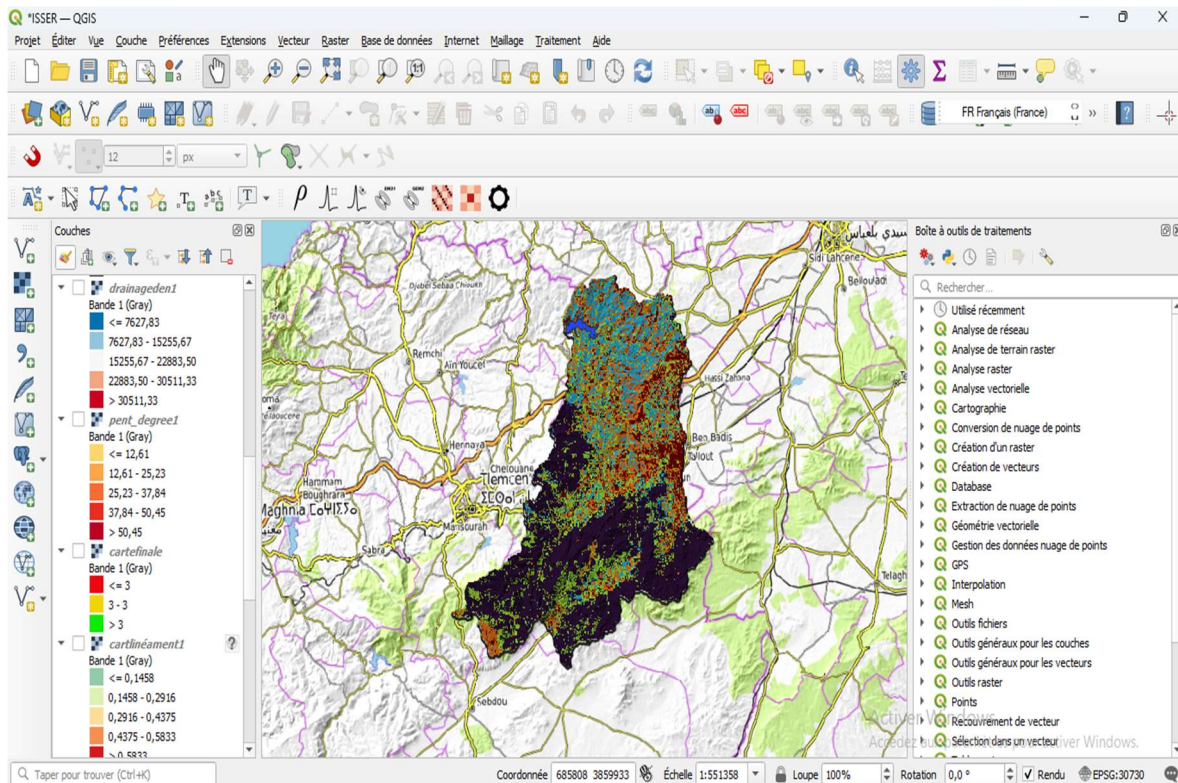


FIGURE 24: INTERFACE QGIS 3.36.2

○ ArcMap 10.8 :

Est un composant central de la suite du logiciel ArcGIS Desktop, développée par Esri (Environmental Systems Research Institute). Cette version représente l'une des dernières mises à jour majeures avant la transition vers ArcGIS Pro. ArcMap permet la visualisation, l'analyse, la gestion et la production cartographique de données géo-spatiales dans un environnement SIG puissant et professionnel.

ArcMap 10.8 offre une interface conviviale pour manipuler des données raster et vectorielles, effectuer des traitements spatiaux avancés, générer des cartes thématiques précises et exécuter des analyses spatiales complexes (comme la modélisation hydrologique, l'analyse de terrain ou l'évaluation multicritère). Il prend en charge un large éventail de formats de données SIG (Shapefile, GeoTIFF, File Géo data base, etc.) et permet d'intégrer des données provenant de sources diverses (imagerie satellite, bases de données spatiales, levés de terrain, etc.).

Les outils qu'on a pu utiliser dans ArcMap, on cite Spatial Analyst (pour les opérations raster), Hydrology Tools, Model Builder (pour automatiser des traitements), ainsi que des fonctionnalités de géo-traitement utiles pour la création de cartes de pentes, de drainage, de linéaments ou d'occupation du sol.

Dans le cadre de cette étude, ArcMap 10.8 a été utilisé pour la préparation, l'analyse et la superposition des différentes couches d'informations spatiales, nécessaires à l'identification des zones potentielles de recharge des aquifères. Grâce à sa précision et à sa capacité à croiser des données complexes, ce logiciel a permis de produire des cartes thématiques pertinentes appuyées par des analyses multicritères.

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

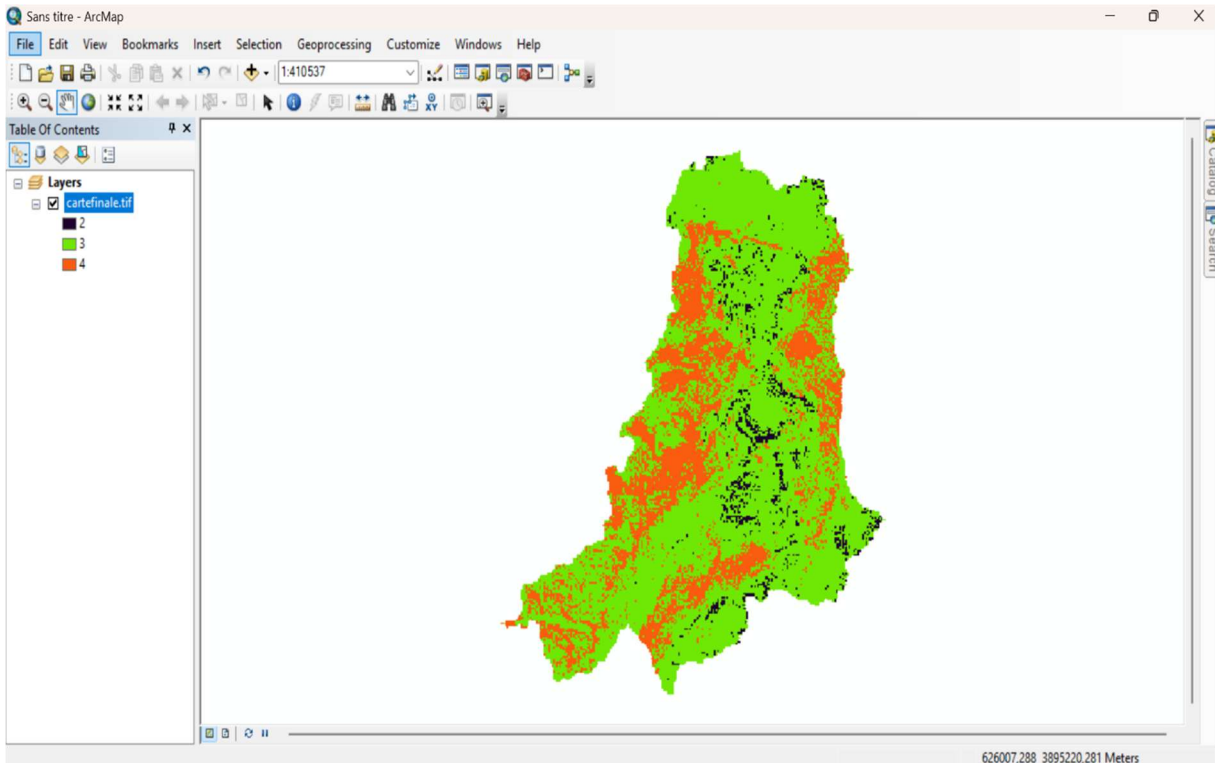


FIGURE 25: INTERFACE ARC MAP 10,8

o LE SITE Global Watershed :

Ce site est utilisé pour la délimitation du sous bassin de l' Isser :(<https://mghydro.com/watersheds/>).

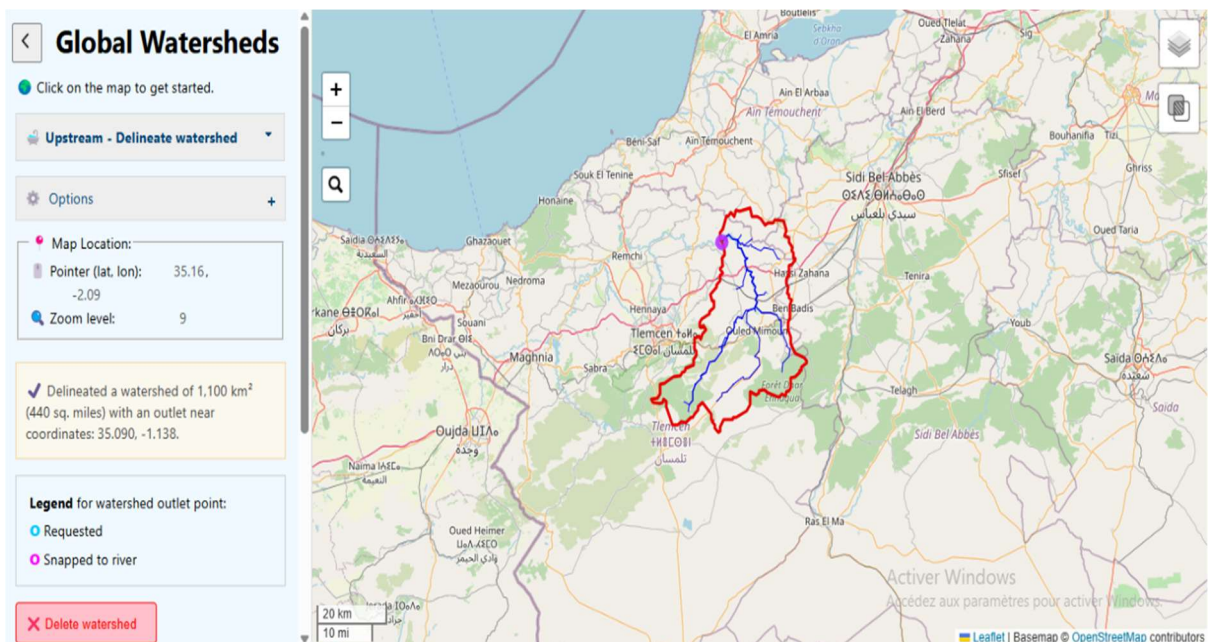


FIGURE 26: SITE UTILISE POUR LA DELIMITATION DU SOUS BASSIN DE L'ISSER- GLOBAL WATERSHED.

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

○ Données climatiques :

Précipitations, températures : Dans le cadre de ce mémoire, nous avons utilisé les données climatiques enregistrées à la station de Sidi Abdelli. Les données manquantes ont été complétées en les téléchargeant du site spécialisé en données climatiques : <https://www.climateengine.org>.

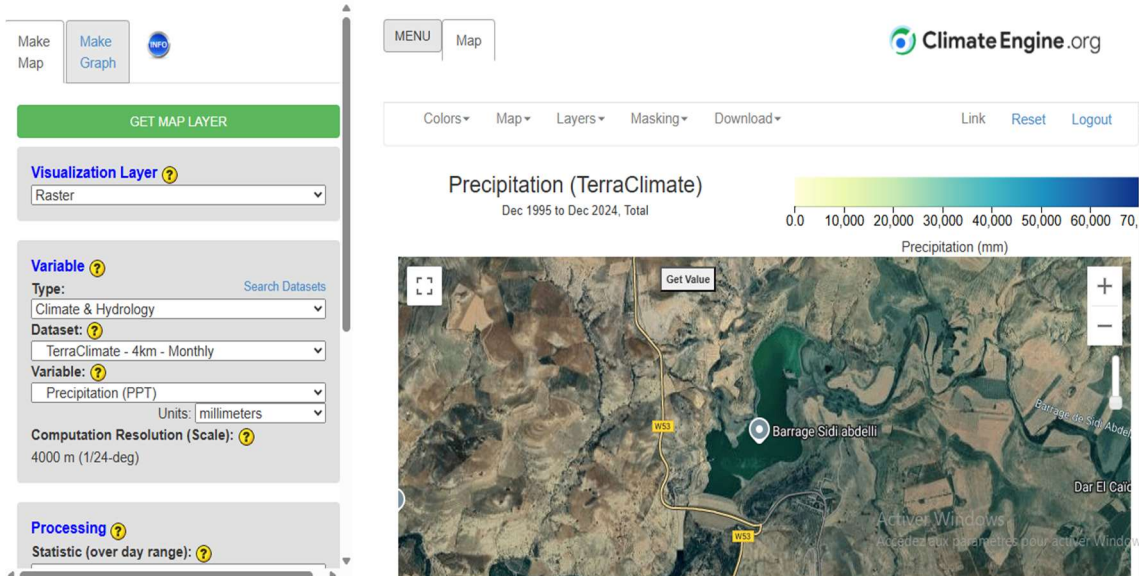


FIGURE 27: SITE DES DONNEES CLIMATIQUES CLIMATE ENGINE.

○ LES DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES

Les documents cartographiques utilisés sont des cartes de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, 2008), couvrent les régions de (**Tlemcen** : figure (28), **Oran** : figure (29), **Telagh** : figure (30) et **Ghazaouet** : figure (31) à l'échelle 1/200 000.

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

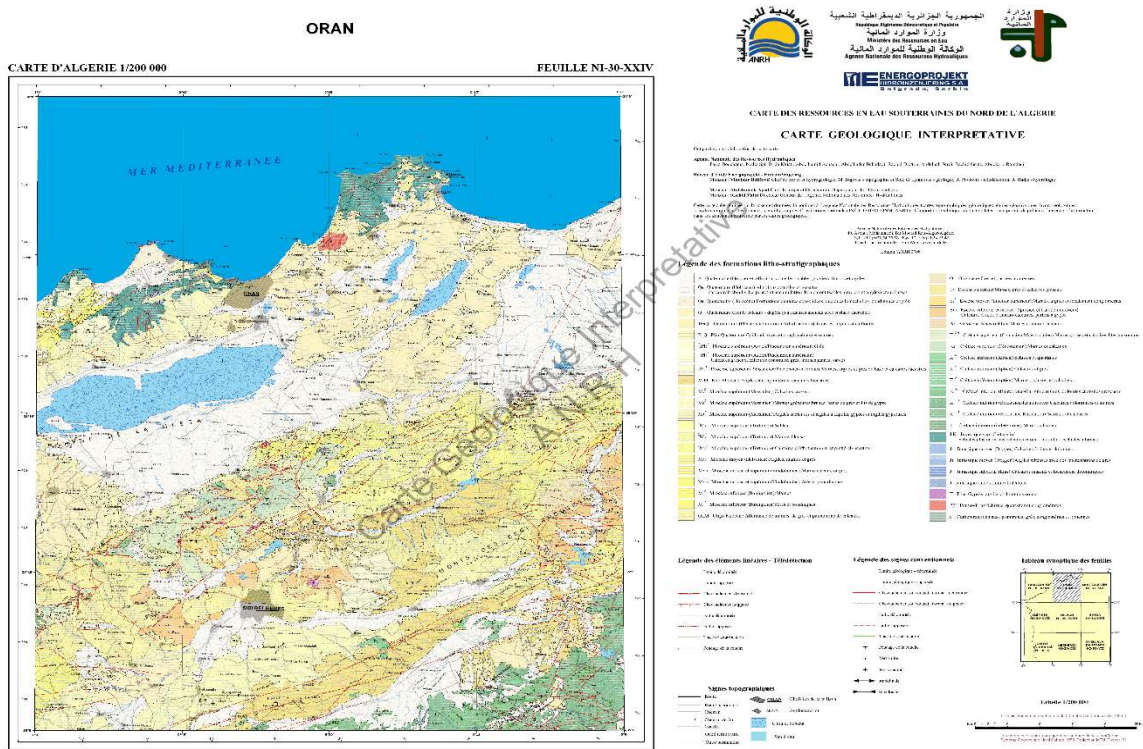


FIGURE 29: CARTE GEOLOGIQUE D' ORAN (ANRH 2008).

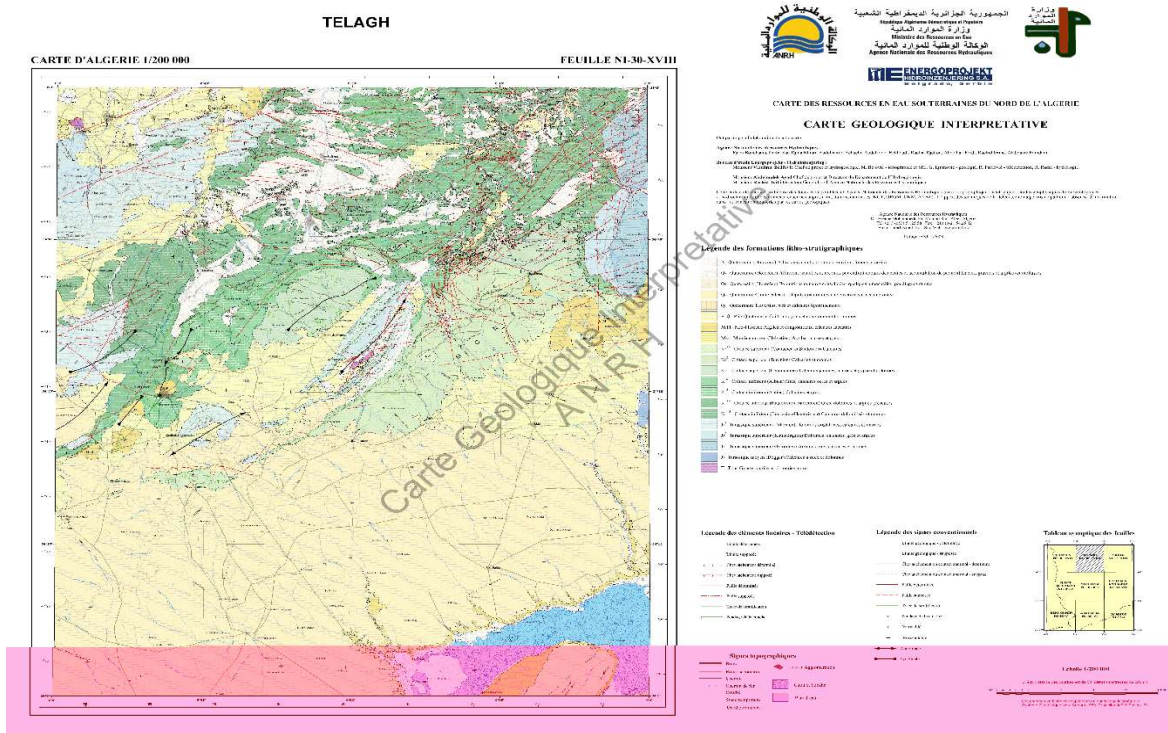


FIGURE 30: CARTE GEOLOGIQUE DE TELAGH (ANRH 2008).

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

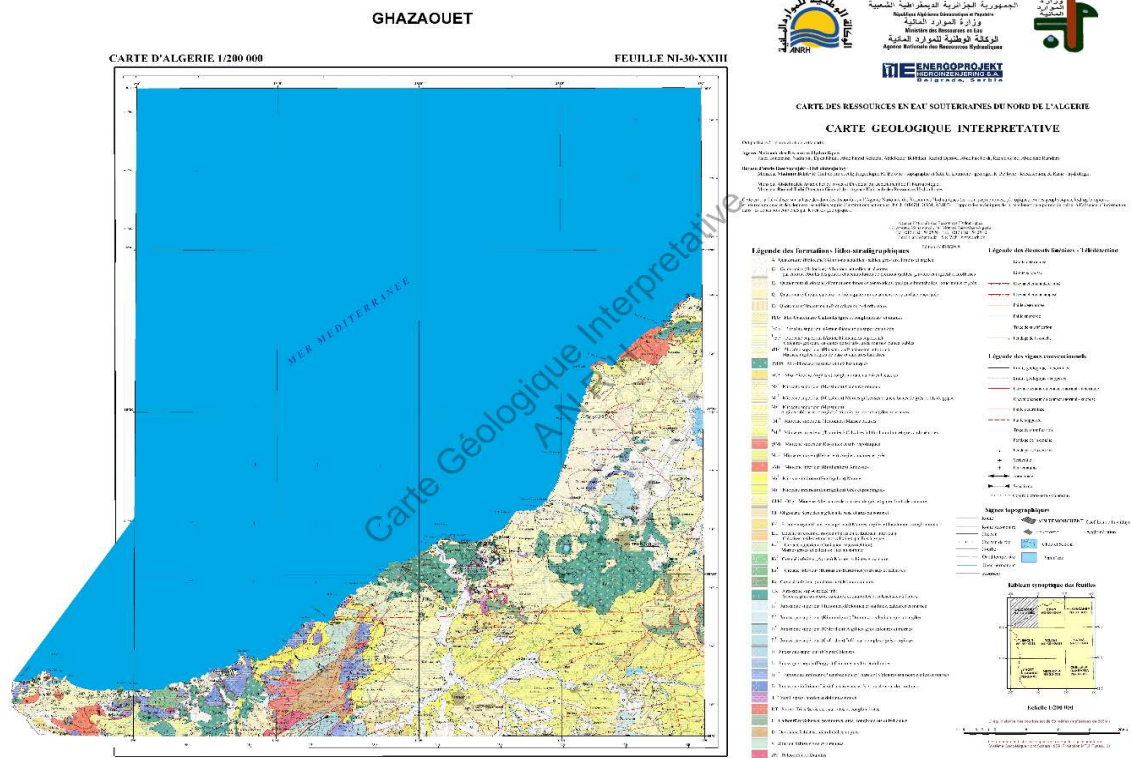


FIGURE 31: CARTE GEOLOGIQUE DE GHAZAOUET (ANRH 2008).

○ LE MODEL NUMERIQUE MNT

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation numérique de la surface topographique d'une zone, généralement sous forme d'une grille de points avec des valeurs d'altitude. Il permet d'analyser le relief, d'extraire des paramètres géomorphologiques (pente, orientation, courbure) et d'appuyer diverses études en hydrologie, en aménagement du territoire et en modélisation environnementale.

-Pour la création des cartes (altitudes, pentes, densités de drainage), il est téléchargé depuis le site Earth Explorer (USGS) et obtenu avec un format SRTM, avec une résolution de 30m. (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

○ IMAGES SATELLITAIRES :

Pour la carte d'occupation du sol en utilisant les images satellitaires LANDSAT 8-9 OLI / TIRS collection2 level 2 aussi téléchargées depuis le site Earth Explorer (USGS).

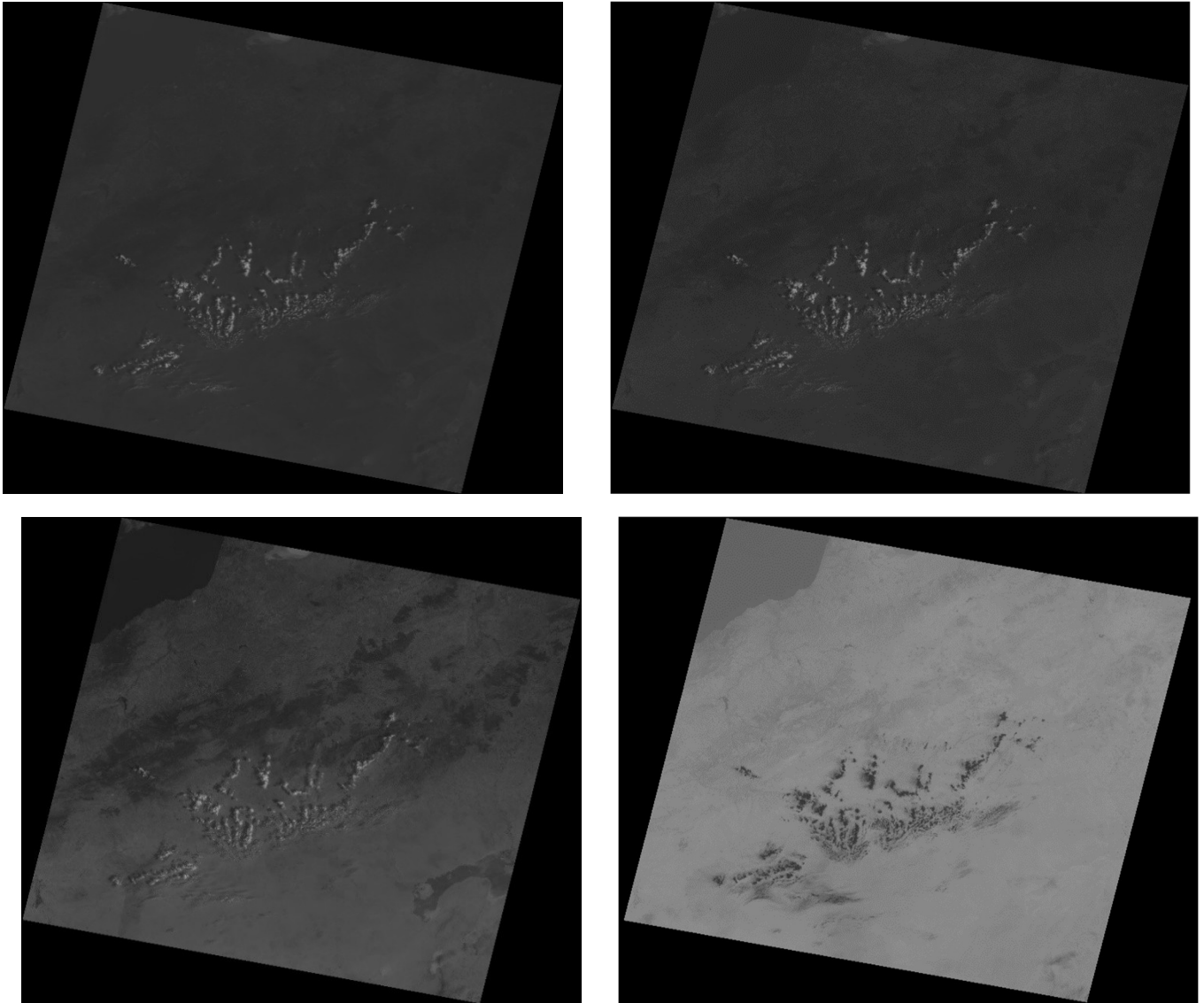


FIGURE 32: EXEMPLE DES IMAGES SATELLITAIRES LANDSAT.

2. Méthode :

La méthodologie utilisée dans cette étude se base sur l'analyse et la superposition des données spatiales concernant les facteurs qui impactent la recharge des aquifères. Dans un premier temps, chaque paramètre est examiné individuellement pour comprendre son impact sur le processus d'infiltration. À partir de ces analyses, des cartographies thématiques sont créées pour illustrer chaque facteur en question. Ensuite, une classification est mise en place, attribuant une note particulière à chaque catégorie, selon son influence sur la recharge. La méthodologie utilisée repose sur une évaluation multicritère permettant d'attribuer des poids aux différents éléments, en fonction de leur impact sur le phénomène d'infiltration. Quatre grandes étapes ont été suivies : (1) identification des facteurs pertinents, (2) cartographie et reclassification des données, (3) évaluation pondérée des critères à travers une méthode multicritère et (4) délimitation des zones propices à la recharge en eau.

La délimitation de ces zones dans le sous bassin de l'Isser repose sur l'analyse des principaux éléments qui influencent l'infiltration dans un environnement fracturé. Ainsi, on inclut la géologie

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

locale, les réseaux de fracture, l'occupation du sol, l'altitude, la pente et le drainage et aussi les précipitations. Certains paramètres ont été mis en cartographie, en utilisant diverses sources, telles que la télédétection et les documents cartographiques existants. Une fois ces cartographies thématiques réalisées, elles ont été classifiées selon leur capacité à favoriser l'infiltration des précipitations.

2.1. Cartographie des paramètres et reclassification

A. LES ALTITUDES :

La création d'une carte des altitudes repose sur l'exploitation d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT), qui permet de représenter la topographie d'une région, sous forme de données raster que nous avons superposé sur la délimitation du sous bassin versant de l'Isser, ensuite pour la projection, on a travaillé avec les coordonnées Nord Sahara 1959/ UTM Zone 30.

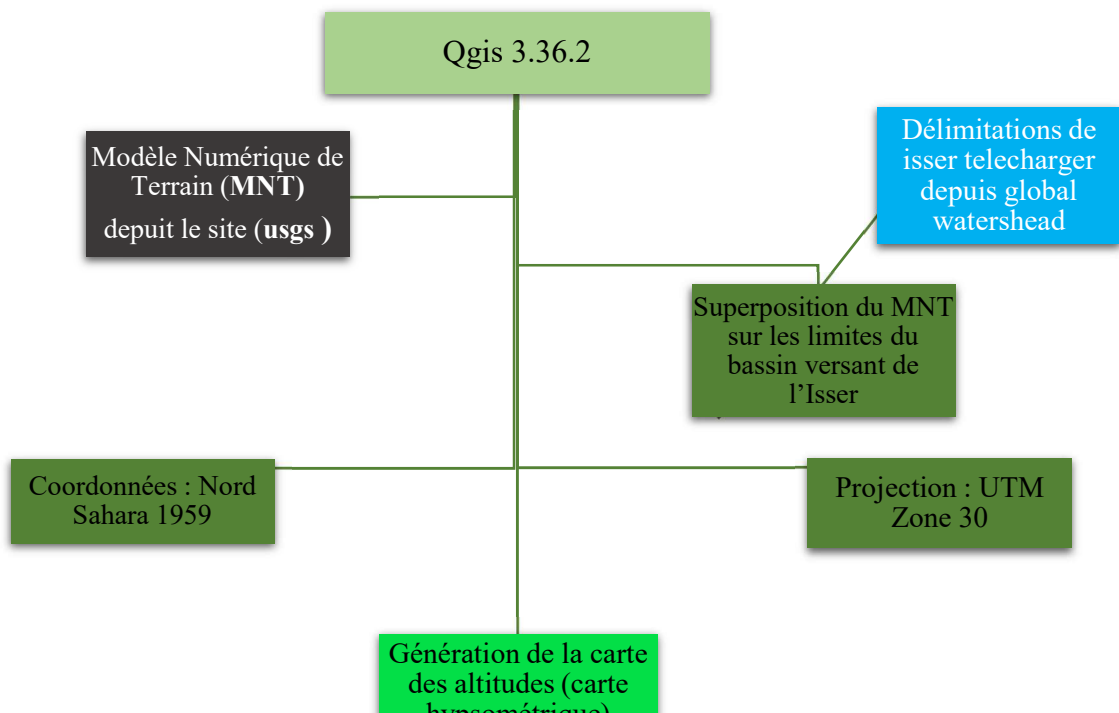


FIGURE 33: ORGANIGRAMME DE LA CARTE DES ALTITUDES DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER

B. LES PENTES :

La création de la carte des pentes figure (5) repose sur le Modèle Numérique de Terrain (MNT) obtenu à partir du SRTM (**Shuttle Radar Topography Mission**), avec une résolution de 30m, grâce à l'utilisation du logiciel QGIS. Ce dernier permet ensuite d'exprimer les pentes en degrés via Arc Map 10.8. L'analyse des valeurs de pentes sur ce modèle a permis de distinguer cinq (05) classes : ($\leq 12,61^\circ$) qui occupent la grande partie du bassin, ($25,23^\circ$), ($37,84^\circ$), ($50,45^\circ$), ($> 50,45^\circ$).

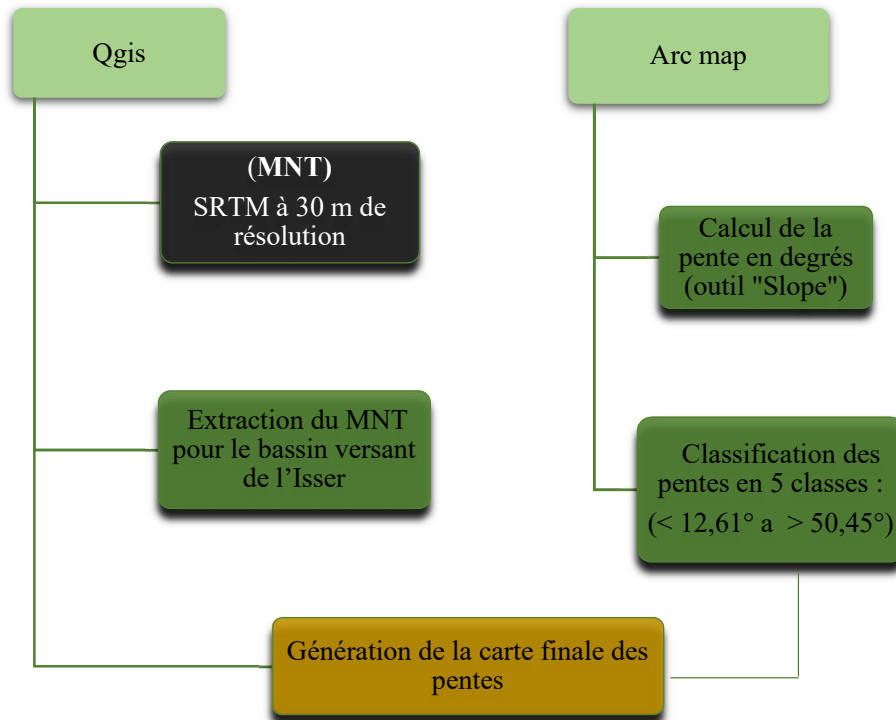


FIGURE 34: ORGANIGRAMME POUR LA CREATION DE LA CARTE DES PENTES DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER.

C. DENSITE DE DRAINAGE :

La carte des densités de drainage Figure (7) a été créée à partir du réseau hydrographique du sous bassin versant Isser grâce du logiciel ArcGIS avec l'outil Kernel Density. Les valeurs de densité varient de 7.62 à 30.51 km·km².

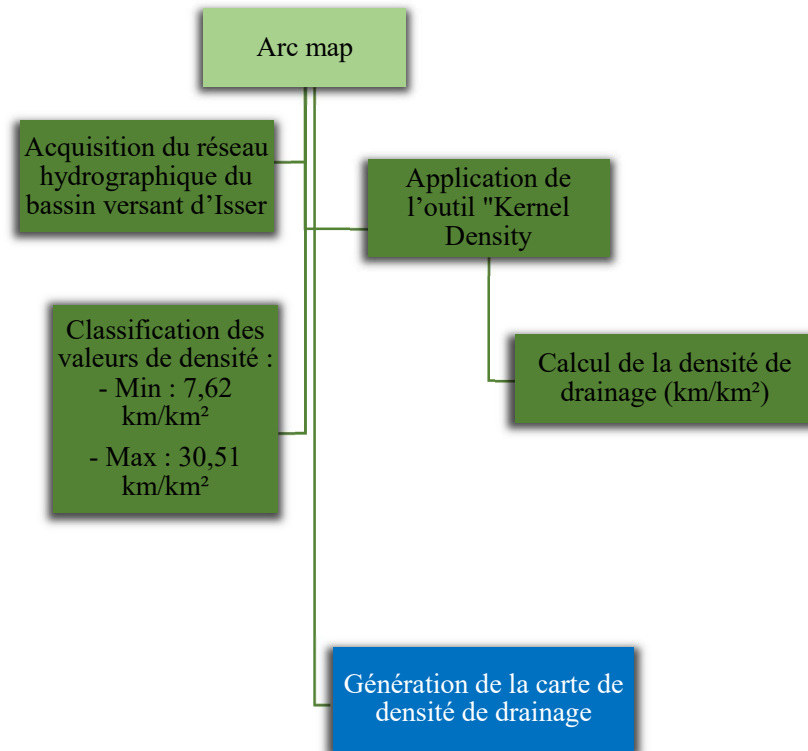


FIGURE 35: ORGANIGRAMME DE LA CREATION DE LA CARTE DE DENSITE DE DRAINAGE DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER.

D. GEOLOGIE :

La cartographie lithologique du bassin versant de l'Isser a été réalisée en se basant sur quatre cartes géologiques existantes (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, 2008), couvrant les régions de Tlemcen, Oran, Ghazaouet et Telagh, à l'échelle 1/200 000 et on a fait la digitalisation, on a trouvé que le sous bassin de l'Isser est composé de six principaux ensemble géologiques, allant des calcaires du Jurassique aux alluvions du Quaternaire. Ces unités jouent un rôle clé dans la dynamique hydrogéologique du bassin, influençant la capacité d'infiltration des eaux de surface (fig20).

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

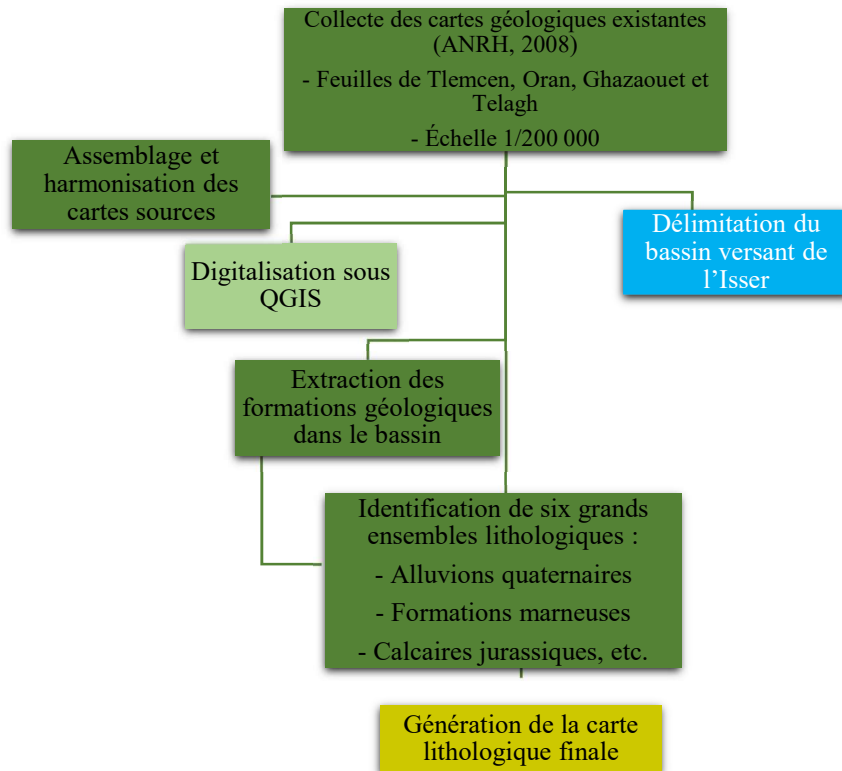


FIGURE 36: ORGANIGRAMME DE LA CREATION DE LA CARTE LITHOLOGIQUE DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER.

E. OCCUPATION DU SOL :

La carte d'occupation du sol nous donne à voir comment fonctionne vraiment la répartition des différentes classes d'occupation terrestre : terres agricoles, forêts, zones urbaines et d'autres superficies. C'est un élément crucial du bénéfice potentiel de recharge d'eau, car chaque type d'utilisation de la terre intercepte l'eau de manière différente. Dans QGIS, on utilise des images satellitaires ou de données vectorielles existantes.

Le processus a débuté en s'appuyant principalement sur l'exploitation d'images satellitaires LANDSAT 8-9 OLI / TIRS collection 2 level 2, re-projection dans un système de coordonnées Nord Sahara 1959/ UTM Zone 30, Pour les images satellitaires, une classification a été appliquée afin de distinguer les différentes classes qu'on a téléchargé depuis le site (USGS) 12 images de B1 à B11 et BQA, mais on s'est basé sur quatre images B1, B2, B3, B4 et après en définissant manuellement des zones d'apprentissage représentatives de chaque type d'occupation, alors on a trouvé cinq classes d'occupation du sol (1/Forêts et maquis, 2/ Céréales, 3/ Arboriculture, 4/Cultures saisonnières, 5/Terrain nu).

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

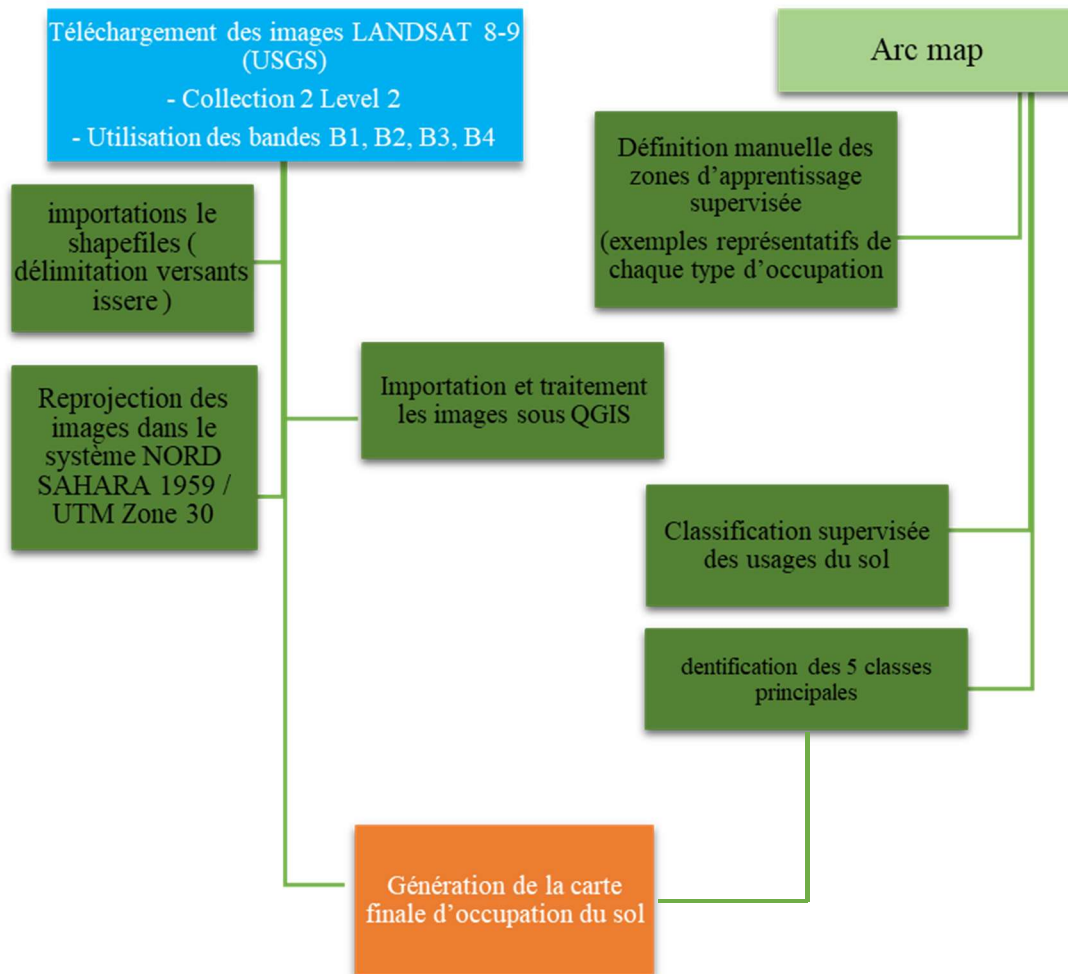


FIGURE 37: ORGANIGRAMME DE LA CREATION DE LA CARTE D'OCCUPATION DU SOL DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER

F. LINEAMENTS :

La carte des Linéaments a été réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS. Elle repose en grande partie sur l'analyse d'un modèle numérique de terrain ou MNT. Ce dernier permet de mettre en évidence les discontinuités structurales du relief, souvent associées à des failles, fractures ou autres formes linéaires influençant l'écoulement souterrain. Dans un premier temps, le MNT du sous bassin de l'Isser a été importé dans ArcGIS, puis traité à l'aide de l'outil "Hillshade" (ombrage) afin de faire ressortir les contrastes topographiques. Des filtres directionnels ont ensuite été appliqués pour accentuer les structures orientées dans différentes directions, facilitant ainsi l'identification visuelle des linéaments. Lors de la détection des structures linéaires, nous avons analysé directement les images de l'ombre et digitalisé manuellement les linéaments sous forme de lignes polyligne. Enfin de compte, une carte de densité de linéaments a été générée à partir de l'outil "Kernel Density", permettant de visualiser les zones à forte concentration de linéaments et après la classification, on a déduit 5 classes (0.1458 à 0.5833 m/m²).

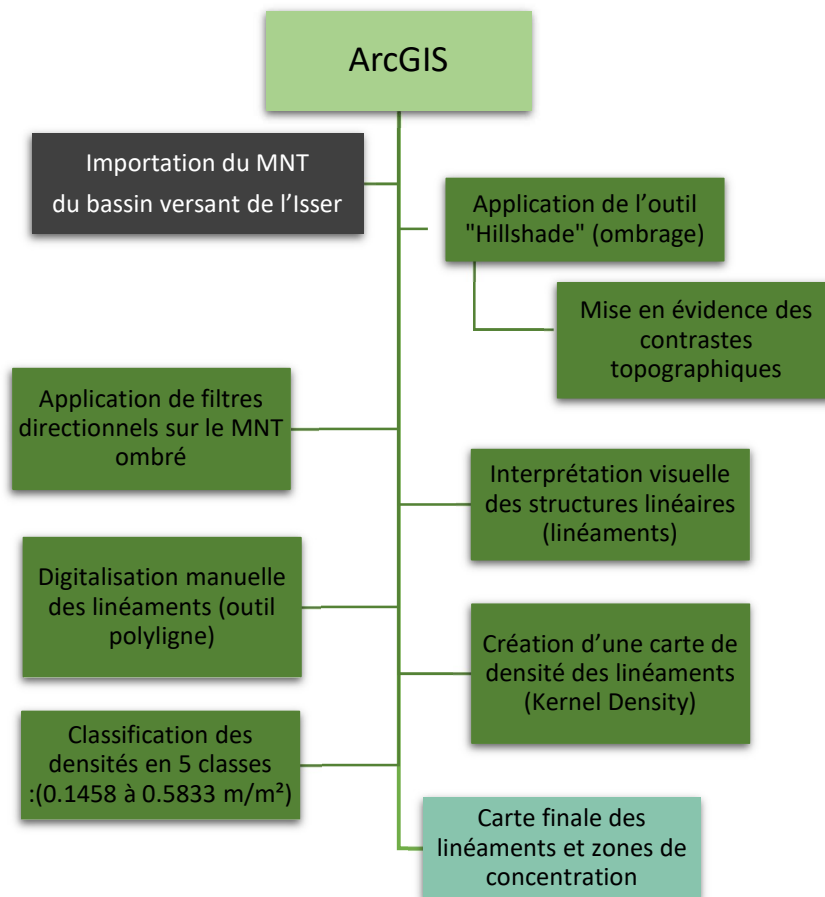


FIGURE 38: ORGANIGRAMME DE LA CREATION DE LA CARTE DES LINEAMENTS DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER.

g. PRECIPITATIONS :

Pour réaliser la carte des précipitations annuelles, nous avons commencé par collecter les données climatiques à partir de deux sources principales. D'abord, nous avons utilisé les données enregistrées par la station météorologique de Sidi Abdelli, puis nous avons complété les données manquantes en téléchargeant des informations climatiques en ligne depuis le site ClimateEngine. Les données obtenues sous forme de fichiers CSV ont ensuite été importées dans ArcGIS nous avons ajouté le fichier CSV dans la table des matières, puis utilisé l'outil "Display XY Data" pour afficher les points sur la carte à partir des coordonnées géographiques (latitude et longitude). Une fois les points affichés, nous avons défini un système de projection adapté à notre zone d'étude, en l'occurrence la projection Nord Sahara 1959/ UTM Zone 30. Ensuite, pour représenter la répartition spatiale des précipitations, nous avons procédé à une interpolation en accédant à l'outil "Spatial Analyst Tools > Interpolation, Après génération de la couche interpolée, nous avons appliqué une symbologie graduée en couleurs, allant du bleu clair au bleu foncé pour illustrer les différentes intensités de précipitations. Enfin, nous avons utilisé l'outil "Extract by Mask" pour découper notre carte interpolée, selon les limites précises de notre zone d'étude (sous bassin versant d'Isser).

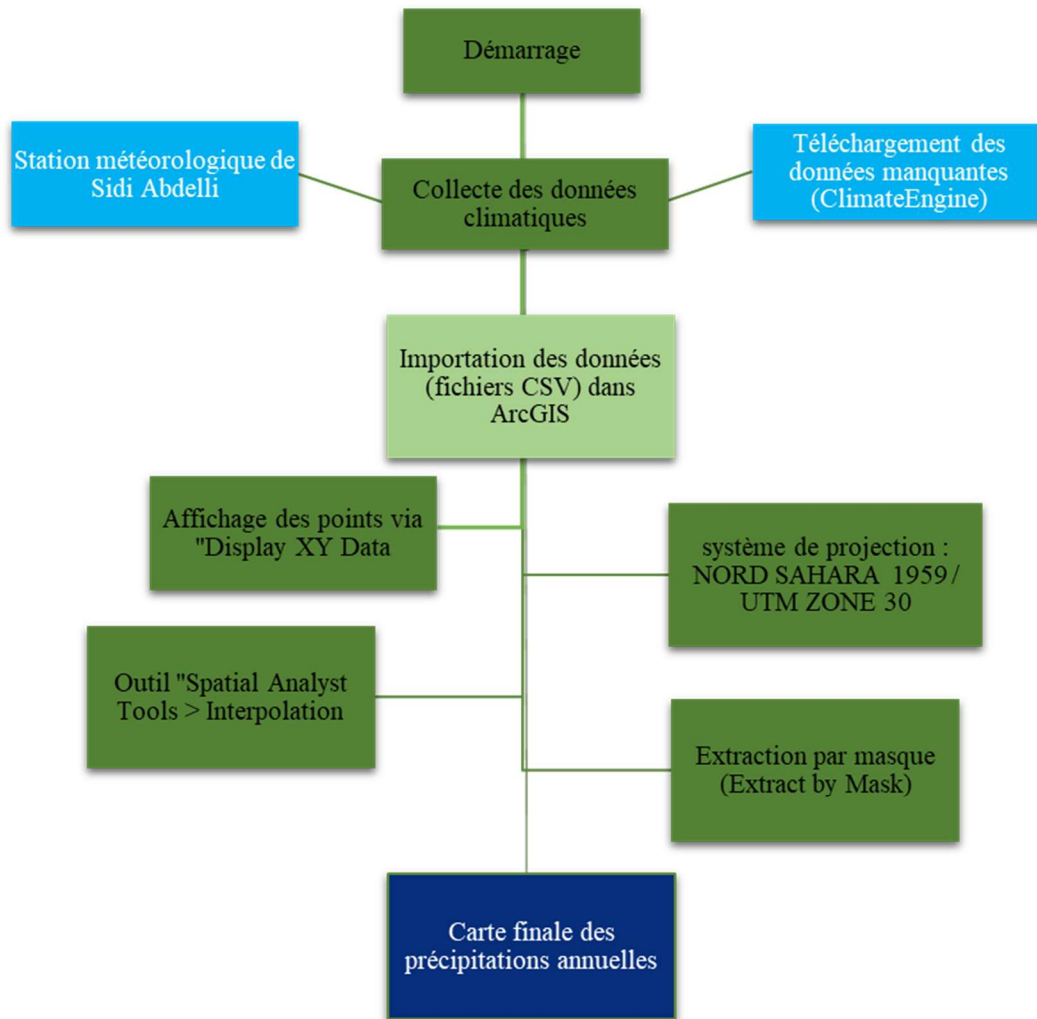


FIGURE 39:ORGANIGRAMME DE LA CREATION DE LA CARTE DE PRECIPITATIONS DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER.

3. Analyse multicritère

L'analyse multicritères (AMC) est une méthode puissante utilisée pour traiter des problèmes complexes en géosciences, notamment pour l'évaluation de la recharge des nappes phréatiques. Dans le cadre du sous-bassin d'Isser, cette approche permet de combiner et d'analyser plusieurs facteurs environnementaux et géophysiques afin de mieux comprendre les dynamiques d'infiltration et de recharge des nappes souterraines. L'utilisation de logiciels SIG (Système d'Information Géographique) tels que QGIS et ArcGIS permet de superposer et d'intégrer diverses couches de données spatiales (cartes et modèles numériques), offrant ainsi une vue d'ensemble détaillée et précise de la zone d'étude.

1. Critères géologiques : La géologie est un facteur clé dans la détermination de la capacité d'infiltration des sols et des formations géologiques. Par exemple, les roches perméables comme les calcaires ou les grès permettent une meilleure infiltration des eaux pluviales, tandis que les formations imperméables, telles que les argiles ou les schistes limitent cette infiltration. En superposant les cartes géologiques à d'autres critères, il devient possible d'identifier les zones où l'eau peut facilement s'infiltrer dans les couches profondes et contribuer à la recharge des nappes. L'analyse des linéaments géologiques

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

(fractures et failles) permet également de mieux comprendre le cheminement de l'eau souterraine et de prédire les zones de concentration de l'infiltration.

Les caractéristiques lithologiques jouent un rôle significatif dans le processus de recharge des aquifères fracturés et portent sur la compacité et l'état d'altération de la roche, la présence de diaclase et de joint sur les roches sub-affleurantes ou affleurantes (**Krishnamurthy.J 1996 ; 2000 ; Bhuiyan.C & al., 2009**). Ces caractéristiques physiques donnent des informations importantes sur la capacité d'infiltration des formations géologiques.

2. Occupation du sol :

L'occupation du sol joue un rôle déterminant dans la gestion de l'eau. Dans le sous-bassin d'Isser, les zones urbaines, agricoles, forestières ou naturelles ont des comportements hydrologiques différents. Par exemple, les surfaces imperméables liées à l'urbanisation (routes, bâtiments, etc.) limitent l'infiltration de l'eau, favorisant le ruissellement. À l'inverse, les zones végétalisées, comme les forêts ou les prairies, offrent une plus grande capacité d'infiltration. L'analyse des cartes d'occupation du sol permet de repérer les zones avec une couverture végétale dense qui favorisent l'infiltration de l'eau, et celles où les activités humaines créent une barrière à cette infiltration.

3. Pente et altitude :

La topographie, notamment la pente du terrain et l'altitude, influence directement les processus d'écoulement de l'eau. Les pentes fortes favorisent le ruissellement et réduisent l'infiltration de l'eau dans le sol. En revanche, les zones de faible pente et les dépressions topographiques peuvent favoriser l'accumulation de l'eau, augmentant ainsi les possibilités de recharge des nappes phréatiques. L'analyse des cartes topographiques, combinée avec un modèle numérique de terrain (MNT), permet de cartographier les zones de forte pente (généralement moins propices à la recharge) et les zones de faible pente (plus favorables à l'infiltration).

4. Densité de drainage :

La densité de drainage est définie comme le rapport de la longueur totale des cours d'eau d'un bassin versant sur la surface de ce bassin (**Rambert.B, 1973**). Les zones présentant une densité de drainage élevée sont souvent celles où les eaux de surface se dirigent rapidement vers des nappes phréatiques spécifiques ou des aquifères

5. Densité des linéaments :

La densité des fractures exprimée en longueur cumulée totale ou en nombre de fractures par unité de surface donne des indications sur le degré de fracturation des roches (**Sékouba.O,2017**).

Les linéaments qui sont les fractures ou les failles dans la croûte terrestre, constituent souvent des voies préférentielles pour l'écoulement de l'eau souterraine. En cartographiant ces linéaments et ces réseaux de drainage, on peut identifier les zones où l'eau souterraine circule rapidement et celles où elle est confinée ou moins accessible.

6. Précipitations :

La distribution spatiale des précipitations est un autre facteur majeur dans l'analyse de la recharge des nappes. Les zones avec des précipitations élevées bénéficient d'un apport direct en eau, mais ce phénomène peut être modifié par d'autres critères comme la pente, la couverture du sol ou la géologie.

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

L'utilisation de données climatiques (cartes de pluviométrie) permet de définir les zones où les pluies peuvent plus facilement alimenter les nappes phréatiques et celles où elles risquent de se perdre par évaporation ou ruissellement

1) Reclassification des paramètres :

Dans le cadre de cette étude, une cotation a été attribuée aux différentes classes des paramètres influençant la recharge en fonction de leur aptitude à favoriser ou à limiter l'infiltration, Cette démarche repose sur une normalisation des valeurs, à travers l'utilisation d'un tableau qui montre le poids d'un paramètre et de ses classes respectives, la relation est pondérée pour tous les paramètres indépendamment, les uns des autres. Un facteur avec une valeur de pondération élevée a un impact plus important, tandis qu'un facteur avec une valeur de pondération plus faible a un impact plus faible sur la zone potentielle de recharge des eaux souterraines, chaque facteur a été converti en une échelle de 1 à 5, selon son influence sur la recharge (tableau 20). Par la suite, une hiérarchisation des paramètres entre eux a été entreprise à l'aide de la méthode d'analyse multicritère, en particulier le processus de hiérarchisation analytique (AHP) développé par Saaty. Ce croisement inter-paramétrique a permis d'attribuer un poids à chaque facteur, selon son importance relative dans le processus de recharge, assurant ainsi une pondération cohérente et scientifiquement justifiée dans l'élaboration de la carte du potentiel de recharge

TABLEAU 20: LES CRITERES ET PONDERATIONS DU MODULE FINAL DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER

Facteurs	Les classes	Poids	Justification	Note	Influence
La géologie	Jurassique	20	Facteur important sur la perméabilité et la structure des aquifères.	5	20.00
	Eocène			2	8.00
	Miocène			1	4.00
	Plio-Quaternaire			4	16.00
	Quaternaire			4	16.00
	Crétacé			3	12.00
Densité de Drainage	0 – 9422	5	Rôle secondaire dans la modulation des écoulements de surface.	1	1.00
	9422 – 14657			2	2.00
	14657 – 19593			3	3.00
	19593 – 24827			4	4.00
	24827 – 38139			5	5.00
Précipitation	327 – 357	20	Principal apport en eau aux réservoirs souterrains.	1	4.00
	357 – 378			2	8.00
	378 – 406			3	12.00

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

	406 – 441			4	16.00
	441 – 493			5	20.00
Pente	0 – 5.19	20	Paramètre essentiel influençant la répartition entre infiltration et l'écoulement de surface	5	20.00
	5.19 – 10.63			4	16.00
	10.63 – 16.81			3	12.00
	16.81 – 24.73			2	8.00
	24.73 – 63.06			1	4.00
Occupation du sol	Foret	10	Impact modéré sur le processus d'infiltration et l'évapotranspiration	1	2.00
	Maquis			2	4.00
	Céréale			4	8.00
	Arboriculture			3	6.00
	Culture saisonnière			3	6.00
	Terrain nu			5	10.00
Altitude	301 – 558.5	20	Rôle important sur les variations de gradients hydrauliques et les zones de recharge	5	20.00
	558.5 – 769.5			4	16.00
	769.5 – 1100.3			3	12.00
	1100.3 – 1227.9			2	8.00
	1227.9 – 1614			1	4.00
Densité de linéament	0 – 0.062	5	Repère complémentaire des structures fracturées à potentiel d'infiltration.	1	1.00
	0.062 – 0.165			2	2.00
	0.165 – 0.285			3	3.00
	0.285 – 0.457			4	4.00
	0.457 – 0.729			5	5.00

2) Superposition et pondération des critères :

Une fois ces différentes couches de données collectées et analysées dans QGIS ou ArcGIS, l'étape suivante consiste à les superposer selon une méthodologie de pondération. Chaque critère est affecté d'un poids en fonction de son influence sur la recharge des nappes. Par exemple, dans une zone géologique perméable, la géologie pourrait être pondérée plus fortement que l'occupation du sol. Cette pondération permet de produire une carte finale qui identifie les zones les plus favorables à la recharge des nappes phréatiques, en tenant compte des facteurs combinés d'infiltration, de ruissellement, et de la présence ou non d'obstacles naturels et humains à l'infiltration.

L'influence d'une classe spécifique est calculée selon la formule suivante : (ANNEXES Tableau 5)

$$\text{Influence} = (\text{Note de la classe} / \text{Note maximale possible}) \times \text{Poids du facteur}$$

Où :

- La note de la classe est l'évaluation de 1 à 5
- La note maximale possible est 5
- Le poids du facteur est exprimé en pourcentage (%)

La méthode utilisée pour déterminer les poids des différents paramètres est l'analyse multicritère Analytic Hierarchy Process (AHP) de SAATY (1980), définit un poids pour chaque facteur, en fonction de son importance. L'AHP présente l'avantage de structurer les jugements de manière logique et cohérente,

Cette méthode consiste à construire une hiérarchie selon la contribution de chaque variable à l'expérimentation de l'infiltration d'eau dans les aquifères. Le processus commence avec la création d'une matrice de comparaison par paires, dans laquelle chaque facteur est comparé à tous les autres sur une échelle de priorité va de 1 (degré d'importance égal) à 5 (degré d'importance extrêmement fort). Ces comparaisons sont ensuite synthétisées pour en déduire un poids relatif pour chaque facteur. Ce système de pondération permet ainsi de croiser les cartes thématiques de manière objective dans le but de générer une carte finale représentant les zones potentielles de recharge.

D'après le tableau des pondérations (20), on peut créer une carte de potentiel de recharge avec logiciel ARC GIS en utilisant l'outil (Weighted Overlay) figure (40), et qui en principe il utilise cette équation d'indice de recharge :

$$IR = (20 * I_{\text{géologie}}) + (5 * I_{\text{densité de drainage}}) + (20 * I_{\text{précipitations}}) + (20 * I_{\text{pente}}) + (10 * I_{\text{occupation de sol}}) + (20 * I_{\text{altitude}}) + (5 * I_{\text{densité de linéament}}).$$

○ Chaque I est la valeur de l'influence attribué à la classe d'un pixel dans le facteur correspondant (de 1 à 5 en général).

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

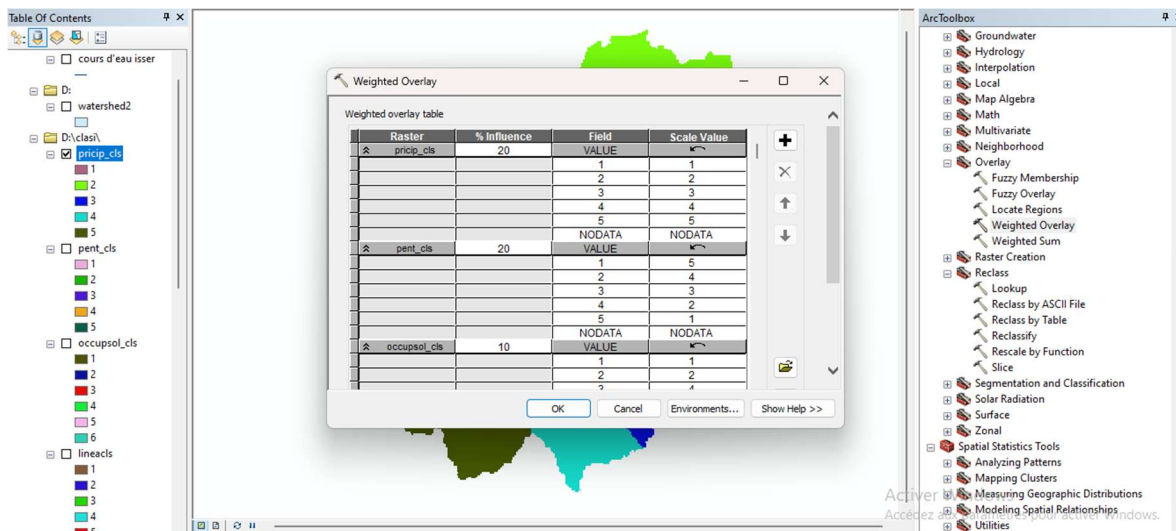


FIGURE 40: TABLEAU DE CALCUL DES VALEURS DE PONDERATION DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER (ARC GIS).

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS :

La création de la carte de potentiel de recharge du sous bassin versant de l'Isser (fig.41) a été réalisée par la superposition de 7 cartes classées selon leurs importances. Les résultats sont composés en trois principales catégories (excellente, médiocre et faible).

On note que la grande majorité du sous bassin (60%) est caractérisée par un potentiel excellent à bon, situé principalement sur les bords et un peu au centre du bassin dans le Sud (zones en vert), ce qui indique une bonne capacité de recharge et de rétention des eaux souterraines. Ces zones se transforment principalement en formations alluviales quaternaires et terrains à forte perméabilité qui sont souvent associés à une topographie douce et à une couverture végétale favorable à l'infiltration.

Les zones médiocres répandues sur l'ensemble du bassin (en jaune) constituent des secteurs de transition où l'infiltration est limitée par des formations moins perméables (marnes, grès), ou aussi des zones de pentes importantes, ce qui augmente le ruissellement.

Enfin, les zones à faible potentiel (en rouge) localisées principalement dans les zones de relief élevé et de forte pente, notamment au Sud-Ouest et dans certaines parties du centre du bassin elles pourraient être associées à la présence de formations géologiques imperméables, comme les marnes ou certaines couches argileuses, et à une couverture végétale moins dense. Cela empêche l'eau de bien s'infiltrer et rend ces zones moins favorables pour stocker l'eau souterraine.

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

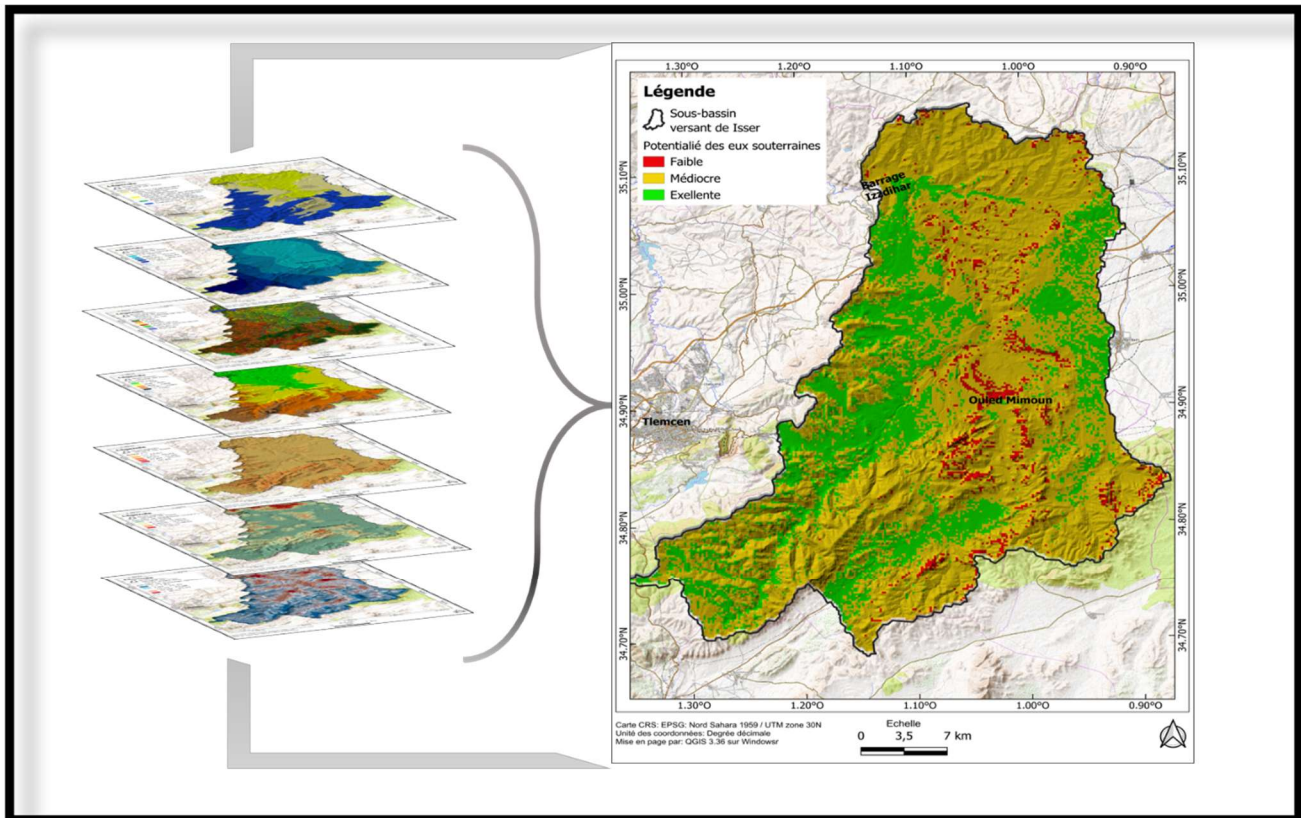


FIGURE 41: CARTE FINALE DES POTENTIELS DE RECHARGE DU SOUS BASSIN VERSANT D'ISSER.

En Conclusion :

Les SIG et la télédétection ont permis de cartographier la carte des potentialités en eau dans le sous bassin versant de l'Isser, de façon fine et plus précise sur la base de diverses cartes thématiques. Les potentiels en eau varient d'une zone à une autre, liés aux caractéristiques géologiques, topographiques et pédologiques du sous bassin. Cette carte est un outil précieux pour la planification de la gestion intégrale des ressources en eau, en particulier dans l'identification

V. *Recommandations :*

Pour améliorer la fiabilité et tester la précision de la carte des potentialités en eau, il serait utile de valider ce travail par des campagnes de mesures piézométriques in situ, car par manque de données, nous n'avons pas pu le faire, mais cette contribution est une approche dans la susceptibilité à la cartographie des zones de recharge, elle offre néanmoins une base utile pour orienter les futures recherches et actions de gestion des ressources en eau.

De plus, cette carte bien qu'indicative, elle met en avant plusieurs axes d'action pour une meilleure gestion de la ressource :

-Protection renforcée des zones à fort potentiel de recharge, principalement aux marges et dans certaines parties centrales du bassin (au Sud par exemple). Ces zones qui présentent de faibles pentes ($\leq 12,61^\circ$) (fig.05), une végétation naturelle et une densité importante de fractures doivent être

CHAPITRE III Application du système SIG pour l'élaboration de la carte des potentialités hydriques

préservées de l'urbanisation excessive, des pratiques agricoles intensives et toute activité qui risque de perturber le processus naturel de recharge.

-Aménagement dans les zones à pente modérée par la création de dispositifs simples, comme des fossés de ralentissement ou de petits barrages collinaires. Ces structures permettront de ralentir le ruissellement de l'eau et de favoriser son infiltration dans le sol.

-Mise en valeur et protection des réseaux hydrographiques naturels, en particulier les affluents identifiés sur la carte de densité de drainage figure (7). Une bonne gestion de ces cours d'eau, associée à des actions de lutte contre leur pollution pourrait considérablement renforcer l'alimentation naturelle des nappes.

-Sensibilisation des populations locales, en particulier des agriculteurs, à travers des campagnes d'information pour promouvoir des pratiques agricoles durables (réduction du labour intensif, reboisement, utilisation de techniques de conservation des eaux et des sols).

-Contrôle de l'urbanisation : Imposer des réglementations strictes sur la construction dans les zones sensibles, en limitant l'extension urbaine et en favorisant les infrastructures perméables (routes drainantes, parkings verts).

-Surveillance hydrologique continue : Installer des réseaux de surveillance (stations piézométriques et pluviométriques) pour suivre l'évolution des niveaux d'eau souterraine et adapter les stratégies de gestion en fonction des tendances observées.

-Programmes d'éducation et de formation : Lancer des programmes dans les écoles et auprès des agriculteurs pour sensibiliser sur l'importance des nappes phréatiques et des zones de recharge, avec des ateliers pratiques sur les bonnes pratiques environnementales.

En conclusion, ce travail constitue une première étape importante pour localiser les zones les plus favorables à la recharge des nappes dans le sous-bassin versant de l'Isser. Toutefois, il devra être renforcé par des observations de terrain et des études hydrogéologiques approfondies, afin de consolider les résultats obtenus et d'élaborer des stratégies de gestion durable et adaptées aux enjeux futurs de l'eau dans la région.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE :

Ce travail a permis de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique et le potentiel de recharge du sous-bassin versant de l'Isser, situé au sein du bassin de la Tafna, à travers une approche intégrée combinant les données climatologiques, morpho-métriques, géo-structurales et l'utilisation d'outils du SIG et de la télédétection.

L'analyse des paramètres climatologiques a révélé un climat semi-aride, marqué par une variabilité saisonnière des précipitations et des températures, induisant un déficit hydrique important. La température moyenne annuelle est de 16.56 °C et les précipitations moyennes annuelles sont de 377.8 mm. Ce contexte climatique a une influence majeure sur la recharge des nappes qui se voit réduite à la courte période humide et à la dynamique de l'infiltration.

L'étude des caractéristiques physiques, la topographie, le réseau hydrographique, l'occupation du sol et la géologie a mis en avant la grande variabilité spatiale du bassin. Cette hétérogénéité conditionne fortement les mécanismes de ruissellement et d'infiltration, soulignant l'importance des formations géologiques perméables (calcaires, dolomies) dans le stockage et la circulation des eaux souterraines, tandis que les formations imperméables (marnes, grès) jouent un rôle de barrière.

La modélisation multicritère basée sur l'AHP (Analytic Hierarchy Process) associée à des outils du SIG et de la télédétection a permis de créer une carte des zones de potentielles de recharge. Cette carte identifie des secteurs prioritairement à protéger et à valoriser qui mettent en évidence l'influence de la pente, de la densité des fractures, de la géologie et de l'occupation du sol sur le potentiel de recharge.

Cependant, à cause du manque de données pour la validation, en particulier les débits de forages, ce travail constitue une base préliminaire, mais qui devra être renforcée par des études complémentaires (mesures in situ, prospections géophysiques, suivis hydrologiques...).

Enfin, ce mémoire présente plusieurs axes d'intervention pour une gestion durable de la ressource en eau : protection améliorée des zones de recharge, aménagements hydrauliques de faible ampleur, contrôle de l'urbanisation, campagnes de sensibilisation et suivi continu.

Dans un contexte de changement climatique et de pression croissante sur les ressources hydriques, la valorisation et la protection des zones de recharge identifiées apparaissent comme un enjeu stratégique majeur pour assurer la sécurité hydrique et préserver les écosystèmes du sous bassin de l'Isser.

Ainsi, bien que cette étude fournisse une première base précieuse pour la compréhension du potentiel de recharge dans le sous-bassin versant de l'Isser, elle doit être considérée comme un point de départ et non comme un aboutissement. La poursuite de travaux complémentaires sur le terrain, associés à des actions de sensibilisation, de protection et d'aménagement, est essentielle pour garantir une gestion durable et efficace des ressources en eau. Dans un contexte de pression croissante sur les ressources hydriques, la valorisation des zones de recharge identifiées représente un levier stratégique majeur pour sécuriser l'approvisionnement en eau souterraine et préserver les équilibres environnementaux à long terme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

(citées et consultées)

A

AKE. G.E ; KOUAME. K.J; KOFFI. A.B & JOURDA. J (2020) : Cartographie des zones potentielles de recharge de la nappe de Bonoua (sud-est de la Côte d'Ivoire). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, volume31 numéro 2, P129–144

ALLEN. R; PEREIRA. G; RAES. D & SMITH. M (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No.56. 300P

AMIRI.W & FELIH.N (2019) : Etude De La Variabilité Hydroclimatique Dans Le Bassin Versant D'oued Isser (Tafna, Nw Algerien). MASTER 64 p

B

BENEST. M (1985) : Evolution de la plateforme de l'Ouest algérien et du Nord - Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie, milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse, Doctorat, Lab., Géol. Univ, Lyon. Fasc. 1., 367 p., 107 fig.

BENSAOULA.F (2006) : Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques. Mise au point d'outils pour leur protection (Application aux Monts de Tlemcen – Ouest Oranais). Thèse Doctorat, univ. Tlemcen. 203P.

BHUIYAN. C; RAMESH. P & SINGH. F (2009): Modelling of ground water recharge potential in the hard-rock Aravalli terrain, India: a GIS approach. Environ Earth Sci (2009) 59 :P 929–938.

BOUANANI. A (2004) : Hydrologie, Transport Solide et Modélisation. Etude de quelques sous-bassins de la Tafna (Nw - Algérie). Thèse Doct. D'Etat, Univ. Tlemcen, 236 p., 81 fig., 77 tab.

BOUKHEIR. R; SHABAN. A; GIRARD. M ; KHAWLIE. M & ABDALLAH. C (2003) : Caractérisation morpho-pédologique des zones karstiques du Liban sensibilité des sols à l'érosion hydrique. P247-256

C

COUTAGNE. A (1948) : Essai d'une méthode de détermination du module des cours d'eau à l'aide des précipitations et de l'évaporation

COLLIGNON.B (1984) : Contribution de la spéléologie à la compréhension de l'hydrogéologie des Monts de Tlemcen. Colloque de l'eau, clé du développement au Maghreb, Oran, P.3-12.

COLLIGNON. B (1986) : Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des monts de Tlemcen (Algérie). Thèse de Doctorat, Université d'Avignon, 282 p.

D

DAHMANI. B ; HADJI. F & ALLAL.F. (2003) : Traitement des eaux du bassin hydrographique de la Tafna (NW Algérie). Désaliénation, Vol. 152, P 113-124.

DERDOUR. A ; BOUANANI. A ; KAID. N; MUKDASAI. K ; ALGELANY. A.M ; HIJAZ.A & MENNI.Y & AMEUR .H (2022): Groundwater Potentiality Assessment of Ain Sefra Region in Upper Wadi Namous Bassin, Algeria Using Integrated Geospatial Approaches. Article.20p

DOUHA. A (2020) : L'apport du système d'information géographique (SIG) dans la définition des zones de potentiel hydrique dans le bassin versant Abou Ali (Liban Nord). (Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine). 32P

G - H

GENTIL. L (1903) : Etude géologique du bassin de la Tafna (Algérie). Bull. Serv. Carte géol. Algérie, Alger, 2e s., n° 4, 425 p.

HAOUCHINE.A ; BOUDOUKHA.A ; HAOUCHINE.F ; NEDJAI.R (2011) : Cartographie de la recharge potentielle des aquifères en zone aride : Cas de la plaine d'El Outaya, Biskra, Algérie. EUROJOURNALS 2010,13p

HAYANE S.M (1983) : Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'oued sikkak (Région de Tlemcen). Thèse de Doctorat 3ème cycle. Université d'Oran, 215p.

K -P

KRISHNAMURTHY. J; VENKATESA KUMAR. N ; JAYARAMAN. V& MANIVEL. M (1996) : An approach to demarcate groundwater potential zones through remote sensing and a geographical information system. Article in International Journal of Remote Sensing · July 1996 VOL. 17, NO. 10, 1867-1884p

KRISHNAMURTHY. J; ARUL. M; JAYARAMAN. V & MANIVE. M (2000) : Groundwater resources development in hard rock terrain - An approach using remote sensing and GIS techniques. Article in International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation p 204-215

PERRODON. A (1957) : Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie Occidentale. Bul. Serv. Carte géol. Algérie, Alger, n° 12, 328p.

R

RAMBERT.B (1973) : Application à la détermination et à la cartographie de l'écoulement souterrain. Rapport d'étude sur la recherche de la signification hydrogéologique de la densité du drainage, Bureau de recherches Géologiques et Minières, Paris, France, 63 p.

ROCHE.M (1963) : Hydrologie de surface. Paris, Gauthier-Villars 430 P.

S

SAATY. T (1980): The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, New York, NY, États-Unis, 19 p.

SEKOUBA. O (2017) : Identification Des Zones Potentielles De Recharge Des Aquifères Fracturés Du Bassin Versant Du N'zo (Ouest De La Côte d'Ivoire) : Contribution Du SIG Et De La Télédétection. Article in European Scientific Journal · December 2017.p192-217

SHABAN. A (2003). Etude de l'hydrogéologie du Liban occidental : Utilisation de la télédétection. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, 202 pp

STRAHLER. A.N (1952) : « Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology », Geological Society of America Bulletin, vol. 63, no 11, p. 1117-1142.

T- W- Y-Z

TERFOUS. A ; MEGNOUNIF. A & BOUANANI. A (2003) : Hydrology of die Mediterranean and Semiarid Regions (Proceedings of an international symposium field at Montpellier. April 2003). IAHS Publ. no. (367-368)

THORNTHWAITE. C.W (1948) : An approach toward a rational classification of climate Geographical Review, 38, pp. 55-94.

WUNDT. W (1935) : Grundlagen der Hydrologie, 2e éd., Leipzig, 230 p.

YOUAN. T.M. ; YAO. K.A ; BAKA. D ; DE LASME. Z ; LASM. T ; ADJA. M.G ; KOUAKOU. S. ; ONETIE. Z ; JOURDA. J.P & BIEMI. J (2015) : cartographie des zones potentielles a l'implantation des forages a gros debits en milieu fissure par analyse multicritere cas du departement d'oume (centre-ouest de la cote d'ivoire). (larhyss journal, issn 1112-3680, n°23, september 2015, p155-181

ZITOUN. D ; Zougari .M (2014) : Comportement statistique des précipitations annuelles et mensuelles : cas des stations de Maliana et Khemis Miliana Mém. Master, université Djillali BOUNAMA de Khemis Miliana p.5-6

Webography:

<https://www.qgis.org>

<https://mghydro.com/watersheds/>

<https://www.climateengine.org>.

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

ANNEXES

ANNEXES

TABLEAU 1: COEFFICIENT DE CORRECTION EN FONCTION DE LA LATITUDE ET DU MOIS FORMULE DE THORNTHWAITE D'APRES BROCHET.L GERBIER 1968

Lat. N.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.78	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
Lat. S.												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.96	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	1.00	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

TABLEAU 02: Calcul détaillé pour chaque facteur.**A. Facteur Géologie (Poids = 20%)**

Classes	Note	Calcul d'influence	Influence (%)
Jurassique	5	$(5/5) \times 20$	20.00
Crétacé	3	$(3/5) \times 20$	12.00
Eocène	2	$(2/5) \times 20$	8.00
Miocène	1	$(1/5) \times 20$	4.00
Plio-Quaternaire	4	$(4/5) \times 20$	16.00
Quaternaire	4	$(4/5) \times 20$	16.00

B. Facteur Densité de drainage (Poids = 5%)

Classes (en unités)	Note	Calcul d'influence	Influence (%)
0 - 9422	1	$(1/5) \times 5$	1.00
9422 - 14657	2	$(2/5) \times 5$	2.00
14657 - 19593	3	$(3/5) \times 5$	3.00
19593 - 24827	4	$(4/5) \times 5$	4.00
24827 - 38139	5	$(5/5) \times 5$	5.00

C. Facteur Précipitations (Poids = 20%)

Classes (mm)	Note	Calcul d'influence	Influence (%)
327 - 357	1	$(1/5) \times 20$	4.00
357 - 378	2	$(2/5) \times 20$	8.00
378 - 406	3	$(3/5) \times 20$	12.00
406 - 441	4	$(4/5) \times 20$	16.00
441 - 493	5	$(5/5) \times 20$	20.00

D. Facteur Pente (Poids = 20%)

Classes (%)	Note	Calcul d'influence	Influence (%)
0 - 5.19	5	$(5/5) \times 20$	20.00
5.19 - 10.63	4	$(4/5) \times 20$	16.00
10.63 - 16.81	3	$(3/5) \times 20$	12.00
16.81 - 24.73	2	$(2/5) \times 20$	8.00
24.73 - 63.06	1	$(1/5) \times 20$	4.00

E. Facteur Occupation du sol (Poids = 10%)

Classes	Note	Calcul d'influence	Influence (%)
Forêt	1	$(1/5) \times 10$	2.00
Maquis	2	$(2/5) \times 10$	4.00
Céréale	4	$(4/5) \times 10$	8.00
Arboriculture	3	$(3/5) \times 10$	6.00
Culture saisonnière	3	$(3/5) \times 10$	6.00
Terrain nu	5	$(5/5) \times 10$	10.00

F. Facteur Altitude (Poids = 20%)

Classes (m)	Note	Calcul d'influence	Influence (%)
301 - 558.5	5	$(5/5) \times 20$	20.00
558.5 - 769.5	4	$(4/5) \times 20$	16.00
769.5 - 1100.3	3	$(3/5) \times 20$	12.00
1100.3 - 1227.9	2	$(2/5) \times 20$	8.00
1227.9 - 1614	1	$(1/5) \times 20$	4.00

G. Facteur Densité de linéament (Poids = 5%)

Classes	Note	Calcul d'influence	Influence (%)
0 - 0.062	1	$(1/5) \times 5$	1.00
0.062 - 0.165	2	$(2/5) \times 5$	2.00
0.165 - 0.285	3	$(3/5) \times 5$	3.00
0.285 - 0.457	4	$(4/5) \times 5$	4.00
0.457 - 0.729	5	$(5/5) \times 5$	5.00

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المناطق ذات الإمكانيات العالية لإعادة شحن المياه الجوفية في حوض نهر إيسر بناء على نهج رسم الخرائط المتكامل مع نظام المعلومات الجغرافية (GIS). واستند تقييم المناطق المواتية لتسرب المياه إلى مزيج من عدة معايير مكانية (الجيولوجيا، والمنحدرات، الشبكة الهيدرولوجية، الغطاء الأرضي، هطول الأمطار، وكثافة الخطوط)، حيث تم تمثيل كل منها في شكل خرائط موضوعية. تم إعادة تصنيف هذه العوامل وترجيحها وفقاً لتأثيرها على عملية إعادة الشحن، وهو ما قمنا به عبر طريقة AHP (عملية التسلسل الهرمي التحليلي) التي طورها Saaty. قمنا بدمج كل هذه البيانات في نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خريطة لمناطق الشحن المحتملة. أتاح تفسير هذه الخريطة التمييز بين ثلاث فئات من إمكانات إعادة التغذية. تتركز المناطق ذات القدرة العالية على التسلسل بشكل أساسي على الهوامش وبعض الأجزاء الوسطى من الحوض، بما يتوافق مع التكوينات القابلة للاختراق ومناطق المنحدر المنخفض (>12.61 درجة) المغطاة بالنباتات الطبيعية. وعلى العكس من ذلك، ترتبط المناطق ذات إمكانات التغذية المنخفضة بتكوينات غير منفذة وتضاريس ذات منحدرات أكثر انحداراً (50.45 في المائة).

تشكل هذه الخريطة أداة استراتيجية للإدارة المستدامة للموارد المائية. تتطلب مناطق التغذية المحددة تدابير حماية محددة من أجل الحد من الضغوط البشرية المنشأ، ولا سيما التحضر غير المنضبط، وبالتالي ضمان الحفاظ على التراث المائي لحوض إيسر وتعزيزه.

الكلمات المفتاحية:

منطقة مستجمعات إيسر، نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، إمكانات إعادة التغذية، عملية التسلسل الهرمي التحليلي AHP)

RESUME

Cette étude vise à identifier les zones qui présentent un fort potentiel de recharge des eaux souterraines du bassin versant de l'Isser, en s'appuyant sur une approche cartographique intégrée au Système d'Information Géographique (SIG) et à la télédétection. L'évaluation des zones favorables à l'infiltration des eaux a reposé sur la combinaison de plusieurs paramètres spatiaux (géologie, pente, réseau hydrographique, occupation du sol, précipitations, densité des linéaments), chacun représenté sous forme de cartes thématiques. Ces paramètres ont été reclassés et pondérés en fonction de leur effet sur le processus de recharge, ce que nous avons fait via la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) développée par Saaty. Nous avons intégré l'ensemble de ces données dans un SIG pour produire une carte des zones de recharge potentielles.

L'interprétation de cette carte a permis de distinguer trois classes de potentiel de recharge. Les zones à fort capacité d'infiltration se concentrent principalement sur les marges et certaines parties centrales du bassin, en correspondance avec des formations perméables et des secteurs de faible pente ($\leq 12,61^\circ$) recouverts de végétation naturelle. À l'inverse, les zones de faible potentiel de recharge sont associées aux formations imperméables et aux terrains présentant des pentes plus accentuées ($50,45^\circ$).

Cette cartographie est un outil stratégique pour une gestion durable des ressources en eau. Les zones de recharge identifiées nécessitent des mesures de protection spécifiques afin de limiter les pressions anthropiques, notamment l'urbanisation incontrôlée, et ainsi garantir la préservation et la valorisation du patrimoine hydrique du sous-bassin de l'Isser.

Mots clés : Sous-bassin versant de l'Isser, SIG, Potentiel de recharge, AHP.

ABSTRACT

This study aimed to identify areas with a high potential for groundwater recharge in the Isser catchment area based on a cartographic approach integrated with the Geographic Information System (GIS) and remote sensing. The assessment of areas favorable to water infiltration was based on the combination of several spatial parameters (geology, slope, hydrographic network, land cover, precipitation, lineament density), each represented in the form of thematic maps. These parameters were reclassified and weighted according to their effect on the recharging process, which we did via the AHP (Analytic Hierarchy Process) method developed by Saaty. We integrated all of this data into a GIS to produce a map of potential charging areas. The interpretation of this map has made it possible to distinguish three classes of recharge potential. Areas with a high infiltration capacity are mainly concentrated on the margins and some central parts of the basin, corresponding to permeable formations and areas of low slope ($<12.61^\circ$) covered with natural vegetation. Conversely, areas with low recharge potential are associated with impermeable formations and terrain with steeper slopes (50.45%).

This mapping is a strategic tool for sustainable water resources management. The identified recharge areas require specific protection measures in order to limit anthropogenic pressures, in particular uncontrolled urbanisation, and thus guarantee the preservation and enhancement of the water heritage of the Isser sub-basin.

Keywords: Isser catchment area, GIS, Recharge potential, AHP.

