



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة حسيبة بن بوعلي - الشلف -

Université Hassiba Benbouali- Chlef -
Faculté de Génie Civil et d'Architecture
Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master

En : (Hydraulique)

Par : -Maameri Idriss

-Legraa Bilal

Thème

Analyse Des Facteurs D'érosion Hydrique Dans Le Bassin Versant Du Barrage
Gargar : Une Approche Basée Sur Le Modèle PAP/CAR Et Les Outils De SIG
Et Télédétection

Devant le jury composant de :

Président : - Mr. Riabi Mohammed
Encadreur : - Mr. OUADJA Abid
Examineur : - Mr. Chenaoui Bakhta

Année universitaire : 2023-2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Au terme de cette modeste étude, nous tenons à adresser nos vifs remerciements à Mr. Ouadja A. pour avoir accepté de nous encadrer et pour nous avoir accordé ce qu'il a de plus précieux, son temps et son attention. Son aide et ses orientations nous ont été particulièrement précieuses pour la réalisation de cette étude.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude à Mr. Manad, directeur du barrage de Gargar, pour son soutien.

Un grand remerciement à tous les enseignants du département d'hydraulique, qui ont contribué à notre formation. Nous remercions également toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à l'élaboration de cette étude.

Dédicace

Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en signe de respect et de reconnaissance envers

:

Ma chère mère.

Mon cher père.

Pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour je réussisse.

Je le dédie également :

Mes sœurs et frères.

Mes oncles et tantes.

Mes amis : L. bilal et

D. said

Mes amis de l'université Hassiba ben Bouali Chlef

Notre promo 2024

En un mot à tous les gens qui contribué ma réussite de près ou de loin

Maameri Idriss

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, du respect et de la gratitude que je

Leur porte « que dieu vous garde et vous protège »

À mes frères et mes sœurs

À tout la famille LEGRAA

À Mes amis :M.Idriss Et El.Gholem ET M.Fateh

*À Mes amis de l'université Hassiba ben Bouali Chlef
Notre promo 2024*

A tous ceux qui me sont chers

À toutes les personnes qui m'ont soutenue de près

Ou de loin pour la réalisation

De ce travail.

Legraa Bilal

Nuage de mots clés



المخلص

إن نمذجة ورسم خرائط المخاطر المحتملة لتآكل التربة أمر في غاية الأهمية لإدارة مستجمعات المياه. أصبحت تكنولوجيا الجيوماتكس المتقدمة، مثل نظام المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، مصدرًا قيمًا لتقدير فقدان التربة على مساحة كبيرة، بسرعة أكبر وبمستوى ثابت من الموثوقية. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تطوير خريطة المناطق المعرضة للتآكل المائي بناءً على طريقة برنامج العمل ذو الأولوية / مركز النشاط الإقليمي (PAP/CAR) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في مستجمع مياه جارجار عند منبع سد جارجار. يحتل هذا المستجمع الجزء العلوي من منطقة السهول الشمالية الغربية وهو أحد الأحواض الفرعية لنهر الشلف. وتمتد على مساحة 3700 كيلومتر مربع تقريبًا، وتمتد على وحدتين جيومورفولوجيتين: السهول الشمالية الغربية والأطلس التلي. في الواقع، تعتمد طريقة PAP/CAR على ثلاثة أساليب: الأول هو النهج التنبؤي الذي يوفر خريطة تركيبية للحالات التآكلية. وتظهر نتيجة هذه الخطوة أن جزء كبير من حوض الدراسة يتعرض لدرجة عالية وعالية جداً من التآكل. والثاني هو المنهج الوصفي الذي يجعل من الممكن رسم خريطة لأشكال التآكل المختلفة. وتبين نتيجة هذا النهج أن جزءاً صغيراً فقط من مستجمعات المياه التي تمت دراستها هو مستقر أو مستقر بواسطة الغطاء النباتي؛ أما الباقي فيتأثر بجميع أشكال التآكل بدرجات متفاوتة. أما النهج الثالث فيقدم خريطة انجراف موحدة ومتكاملة، تبين أن درجة شدة التعرية تتناسب مع درجة العوامل المسببة وخاصة في المناطق التي تجمع بين العوامل المسببة (انحدار وهشاشة التربة عند مستوياتها العالية، والغطاء النباتي وكثافته عند مستوياتها المنخفضة).

الكلمات المفتاحية: التآكل المائي، طريقة PAP/RAC، نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، مستجمعات مياه GARGAR

Résumé

La modélisation et la cartographie du risque potentiel d'érosion des sols sont extrêmement importantes pour la gestion des bassins versants. La technologie avancée de la géomatique, comme le système d'information géographique (SIG) et la télédétection, devient une source précieuse pour estimer la perte de sol sur une vaste zone, de manière plus rapide et avec un niveau de fiabilité cohérent. L'objectif principal de ce travail est d'élaborer la carte des zones vulnérables à l'érosion hydrique en se basant sur la méthode du Programme d'Actions Prioritaires / Centre d'Activités Régionales (PAP/CAR) utilisant le SIG et la télédétection dans le bassin versant de Gargar. Ce bassin versant occupe la partie supérieure de la région des plaines nord-ouest et est l'un des sous-bassins de la rivière Chélif. Il s'étend sur une superficie d'environ 3700 km² et chevauche deux unités géomorphologiques : les plaines nord-ouest et l'Atlas tellien. En effet, la méthode PAP/CAR repose sur trois approches : la première est l'approche prédictive qui fournit une carte synthétique des états érosifs. Le résultat de cette étape montre qu'une grande partie du bassin d'étude est soumise à un degré d'érosion élevé et très élevé. La seconde est l'approche descriptive qui permet de cartographier les différentes formes d'érosion. Le résultat de cette approche montre qu'une petite partie seulement du bassin versant étudié est stable ou stabilisée par la végétation ; le reste est affecté par toutes les formes d'érosion avec différents degrés. La troisième approche fournit une carte consolidée et intégrée de l'érosion, qui montre que le degré d'intensité de l'érosion est proportionnel à celui des facteurs causaux et surtout dans les zones qui combinent les facteurs causaux (pente et friabilité du sol à leurs niveaux élevés, et le couvert végétal et sa densité à leurs niveaux bas).

Mots clés : Érosion hydrique, méthode PAP/RAC, Système d'information géographique (SIG), Bassin versant GARGAR

Abstract

Modeling and mapping the potential risk of soil erosion are crucial for effective watershed management. Advanced geomatics technology, such as Geographic Information System (GIS) and remote sensing, becomes a valuable source for estimating soil loss over large areas quickly and with a consistent level of reliability.

The main objective of this work is to develop a map of areas vulnerable to water erosion based on the Priority Actions Program / Regional Activity Center (PAP/CAR) method using GIS and remote sensing in the Gargar watershed upstream of the Gargar dam. This watershed is located in the upper part of the Northwest Plains region and is one of the sub-basins of the Chéelif River. It covers an area of approximately 3700 km² and overlaps two geomorphological units: the Northwest Plains and the Tellian Atlas.

Indeed, the PAP/CAR method relies on three approaches: the predictive approach, which provides a synthetic map of erosive states. The result of this step shows that a large part of the study basin is subject to high and very high erosion degrees. The second is the descriptive approach, which allows mapping of different forms of erosion. The result of this approach shows that only a small part of the watershed is stable or stabilized by vegetation; the rest is affected by all forms of erosion to varying degrees. The third approach provides a consolidated and integrated erosion map, showing that the intensity of erosion correlates with causal factors, especially in areas combining causal factors (high slope and soil friability, and low vegetation cover and density).

Keywords: Water erosion, PAP/CAR method, Geographic Information System (GIS), Gargar watershed.

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Recherche biographique sur l'érosion

I.1. Introduction	4
I.2. Définitions	4
I.3. Facteurs influençant l'érosion	5
I.3.1. Influence du climat.....	5
I.3.2. Influence du sol	6
I.3.3. Facteurs topographiques	6
I.3.4. Facteurs géologiques	6
I.3.5. Le couvert végétal	6
I.3.6. Les labours inadaptés	7
I.3.7. Impacts humains.....	7
I.4. Types d'érosion	7
I.4.1. L'érosion éolienne	8
I.4.2. L'érosion aratoire ou mécanique sèche	8
I.4.3. Erosion des rivières	9
I.4.4. L'érosion hydrique	10
I.4.4.1. Erosion en nappe	11
I.4.4.2. Erosion linéaire en griffes.....	11
I.4.4.3. Mécanisme de l'érosion hydrique.....	12
I.5. L'impact de l'érosion dans différents Région	14
I.6. La télédétection.....	15
I.7. SIG	17
Conclusion	19

Table des matières

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Introduction.....	20
II.2. Bassin versant du barrage de Gargar.....	20
2.1. Caractéristique géographique.....	20
2.1.1. Les types de sol.....	22
2.1.2. Le couvert végétal.....	23
II.2.2. Caractéristiques physiques.....	24
2.2.1. Relief.....	24
2.2.2. Etude des paramètres du relief.....	33
2.2.3. Synthèse Récapitulative du bassin versant de Gargar.....	37
II.3. Climatologie.....	39
3.1 Les précipitations	39
• Régime annuelles.....	39
• Régime mensuelles.....	40
• Régimes saisonniers	41
II 3.2. La Température.....	42
II 4. Vue général sur Barrage Gargar.....	45
4.1. Retenue du barrage.....	45
Conclusion.....	47

Chapitre 03 : Cartographique de l'érosion hydrique par l'utilisation du modèle PAPCAR et des outils SIG

Introduction	48
III.A. Modèle PAPCAR	49
III.A.1. Définition de La Méthode PAPCAR	49
III.A.2. Caractéristiques Géologiques	51
III.A.3. Approche prédictive	53
3.1. Carte des pentes	54
3.2. Catre de friabilité	56
3.3. Carte d'occupation des sols	56

Table des matières

3.4. Carte de degré de couvert végétal	57
3.5. Carte d'érodibilité.....	58
3.6. Carte de protection des sols	59
III.A.4. Approche Prédictive	61
4.1. Carte des états érosifs.....	61
III.A.5. Approche descriptive des formes d'érosion	62
5.1 Carte des formes d'érosion	62
III.A.6. Approche d'intégration : Réalisation de la carte consolidée d'érosion PAP/CAR	65
6.1. Carte consolidée de PAP/CAR	65
Conclusion	66
III.B.1. Définition de d'RUSLE	68
III.B.2. Application du modèle RUSLE	69
III.B.3. Outils et logiciels	69
III.B.4. Méthodologie	69
III.B.5. Résultats et Applications	71
5.1. Facteur C	71
5.2. Facteur P	73
5.3. Facteur LS	74
5.4. Facteur K	77
5.5. Facteur R	79
III.B.6. Quantification de l'érosion dans le bassin versant du GARGAR	80
III.B.7. Cartographie des zones sensibles à l'érosion	83
Conclusion	85

Table des matières

Chapitre IV : Planification détaillée des mesures de conservation des sols

Introduction.....	86
IV.1. Évaluation de l'état actuel des sols.....	86
1.1. Enquêtes sur le terrain.....	86
1.2. Analyses de laboratoire.....	86
1.3. Données spatiales.....	86
IV.2. Identification des causes de la dégradation des sols.....	87
2.1. Facteurs climatiques.....	87
2.2. Caractéristiques biophysiques.....	87
2.3. Pratiques agricoles.....	87
2.4. Autres facteurs.....	87
IV.3. Sélection des mesures de conservation appropriées.....	88
3.1. Couverture végétale.....	88
3.2. Gestion du travail du sol.....	88
3.3. Gestion de l'eau.....	89
3.4. Amendements et engrais organiques.....	89
3.5. Techniques de conservation mécaniques.....	89
IV.4. Planification et mise en œuvre des mesures de conservation.....	89
4.1. Participation des parties prenantes.....	89
4.2. Élaboration d'un plan de conservation.....	90
4.3. Financement et incitations.....	90
IV.5. Suivi et évaluation.....	90
IV.6. Outils et technologies pour la conservation des sols.....	90
IV.7. Exemples de programmes de conservation des sols.....	91
IV.8. Aspects socio-économiques de la conservation des sols.....	92
Conclusion.....	93
Conclusion générale.....	94

Liste des tableaux

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.1 : Classification par ordre du réseau hydrographique.....	28
Tableau II.2 : Classes des altitudes du bassin versant gargar.....	35
Tableau II.3 : Classification du relief.....	37
Tableau II.4 : Synthèse des caractéristiques générales du bassin versant de gargar.....	37
Tableau II.5 : Températures mensuelles des station (1981/1982-2021/2022).....	41
Tableau II.6 : Variation saisonnières des précipitations.....	41
Tableau II.7 : Températures mensuelles de la station de Barrage GARGAR (1994/1995-2019/2020).....	42

Chapitre III : Cartographique de l'érosion hydrique par l'utilisation du modèle PAP/CAR et des outils SIG

Tableau III.A.1 : Classification des paramètres de l'approche prédictive selon PAP/CAR (1998).....	54
Tableau III.A.2 : Matrice d'occupation du sol Vs couvert végétal.....	60
Tableau III.A.3 : Matrice de degré de protection des sols Vs degré d'érodibilité.....	61
Tableau III.A.4 : Codification des formes d'érosion rencontrée au niveau du bassin versant de gargar.....	63
Tableau III.B.1 : Données et logiciels utilisés.....	70
Tableau III.B.2 : Classification des taux de pertes en terre du bassin versant du barrage de gargar.....	81
Tableau III.B.3 : Résultats de l'application du modèle RUSLE.....	83

Liste des figures

Chapitre I : Recherche biographique sur l'érosion

Figure I.1. Processus de l'érosion.....	5
Figure I.2. Effet sur la forêt.....	7
Figure I.3. Processus de l'érosion éolienne.....	8
Figure I.4. L'érosion des rivières.....	10
Figure I.5. Les formes d'érosion hydrique.....	12
Figure I.6. Mécanisme de l'érosion hydrique.....	13
Figure I.7. Mécanisme de télédétection.....	17
Figure I.8. SIG (système d'information géographique industriel)	19

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Figure II.1: Situation géographique du bassin versant du barrage de Gargar.....	21
Figure II.2 : Carte des types de sol du bassin versant de Gargar.....	22
Figure II.3: Carte du couvert végétal du bassin versant de Gargar.....	24
Figure II.4: Méthodologie de la carte MNT.....	25
Figure II. 5 : Carte de modèle numérique de terrain (MNT) du bassin versant de Gargar...	26
Figure II.6: Méthodologie de la carte de réseau hydrographique.....	27
Figure II.7 : Carte de réseau hydrographique du bassin versant de Gargar.....	28
Figure II.8 : Carte de pente du bassin versant de Gargar.....	29
Figure II.9 : Carte d'exposition du bassin versant de Oued EL TLETA.....	30
Figure II.10 : Méthodologie de la carte des altitudes.....	31
Figure II.11: Carte des altitudes du bassin versant de Gargar.....	32
Figure II.12 : Pourcentage de surface.....	32
Figure II.13: Courbe hypsométrique du bassin versant.....	35
Figure II.14 : Moyennes annuelles des précipitations à la station de Barrage Gargar (1981/1982 - 2022/2023).....	39
Figure II.15: Carte de la précipitation du bassin versant Gargar.....	40
Figure II.16 : Courbe des températures moyennes mensuelles à la station de Barrage Gargar (1994/1995-2019/2020).....	43
Figure II.17 : Diagramme adapter pour l'estimation de présentation de la zone.....	44
Figure II.18: Carte de réservoir du Barrage de Gargar.....	46

Liste des figures

Chapitre III: Cartographique de l'érosion hydrique par l'utilisation du modèle PAPCAR et des outils SIG

Figure III.1 : Organigramme des étapes utilisées dans le modèle PAP / RAC.....	50
Figure III.A.2: Carte géologique de Nord d'Algérie.....	51
Figure III.A.3: Carte géologique du bassin versant du barrage de gargar.....	53
Figure III.A.4: Carte des pentes du bassin versant du barrage de gargar.....	55
Figure III.A.5: Carte du degré de résistance du bassin versant du barrage de gargar.....	56
Figure III.A.6: Carte de d'occupation des sols du bassin versant du barrage de gargar.....	57
Figure III.A.7: Carte de degré de couvert végétal du bassin versant du barrage de gargar.....	58
Figure III.A.8: Carte d'érodibilité du bassin versant du barrage de gargar.....	59
Figure III.A.9: Carte de protection des sols du bassin versant du barrage de gargar.....	60
Figure III.A.10: Carte des états érosifs du bassin versant du barrage de gargar.....	62
Figure III.A.11: Carte des formes d'érosion du bassin versant du barrage de gargar.....	64
Figure III.A.12: Carte consolidée de PAP/CAR du bassin versant du barrage de gargar.....	65
Figure III.B.1: Schéma de la Méthodologie de modèle RUSLE.....	71
Figure III.B.2: Carte du NDVI dans le bassin versant d'après les images Landsat8.....	72
Figure III.B.3: Carte de couvert végétale (facteur C)	73
Figure III.B.4: Cartes des pratiques antiérosives (facteur P)	74
Figure III.B.5: Carte des pentes et répartition en classes de pente du bassin versant du barrage de gargar.....	75
Figure III.B.6: Carte de facteur topographique (facteur LS)	76
Figure III.B.7: Carte d'érodibilité des sols (facteur K).....	78
Figure III.B.8: Carte de l'érosivité des pluies (facteur R)	79
Figure III.B.9: Carte de perte en sol en (t/ha/an)	81
Figure III.B.10: La carte de sensibilité des terrains à l'érosion du bassin versant du barrage de gargar.....	82
Figure III.C.11: Carte des zones sensibles à l'érosion hydrique des sols du bassin versant du barrage de gargar.....	84

Liste des figures

Chapitre IV : Planification détaillée des mesures de conservation des sols

Figure IV.1. Couverture végétale pour la conservation des sols.....	88
Figure IV.2. Méthode de travail l'agriculture de conservation.....	91
Figure IV.3. Agriculture de conservation des sols.....	92
Figure IV.4. La conservation Agriculture.....	93

Liste des abréviations

- ❖ FAO: food and agriculture organization
- ❖ HCEFLCD : Le haut-commissariat aux eaux et forets el la lutte contre la désertification
- ❖ PAP/CAR : programme d'actions prioritaires / centre d'activités régionales
- ❖ PNT : Plan national de télédétection
- ❖ SIG : Système d'Information Géographique
- ❖ MNT : Modèle Numérique de Terrain
- ❖ B C.F.R. : Conservation des Forêts de la Wilaya de Relizane V: Bassin versant
- ❖ CES : La conservation de l'eau et des sols
- ❖ DRS : Défense et restauration des sols
- ❖ DUSLE: Differential Universal Soil Loss Equation
- ❖ NDVI : Normalized Difference Vegetation Index
- ❖ P : Précipitation
- ❖ RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation
- ❖ T : Température
- ❖ USGS : United State Geological Survey
- ❖ USLE: Universal Soil Loss Equation
- ❖ % : Pourcentage

L'érosion des sols par l'eau constitue une menace sérieuse pour de nombreuses régions méditerranéennes, y compris l'Algérie. En 1990, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) [3] estimait que ce phénomène affectait 35% des terres en Grèce, 30 à 40% en Algérie et 40% au Maroc. Selon le Haut-Commissariat aux Eaux, Forêts et Lutte contre la Désertification, l'érosion hydrique touche environ 23 millions d'hectares en Algérie, avec des taux de dégradation des sols allant de 500 tonnes/km²/an dans les zones collinaires.[1]

Les conséquences de ce phénomène sont multiples et exigent une surveillance stratégique. Outre les dommages socio-économiques et les risques d'inondation pour les populations et les infrastructures [2], l'érosion hydrique réduit la capacité des barrages à retenir l'eau. Des études menées par le (HCEFLCD) en collaboration avec l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture ont estimé que l'érosion hydrique diminue la capacité de stockage des barrages de 1 à 2 millions de mètres cubes par an, et non 1 million de mètres cubes [1], ce qui exacerbe les défis croissants liés au stress hydrique dans les années à venir.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Institut des ressources mondiales ont classé l'Algérie parmi les pays les plus exposés au risque de stress hydrique d'ici 2040 [4]. Ces organisations prédisent une grave pénurie d'eau en Algérie, avec la disparition attendue de 80% des sources d'eau actuelles en raison du changement climatique régional et des futures tendances de gestion. L'Algérie est donc appelée à prendre toutes les mesures nécessaires pour atténuer les effets négatifs du stress hydrique.

Parmi les solutions proposées pour faire face à ce problème, la construction de barrages occupe une place centrale. Depuis les années 1950, l'Algérie a mis en œuvre une politique de construction de barrages dans le but de répondre aux besoins croissants en eau potable, d'augmenter les superficies irriguées et de réduire la dépendance énergétique. Cependant, la durée de vie et la capacité de stockage de ces infrastructures sont limitées par l'envasement induit par l'érosion [5],[6]. Soulignant l'importance de lutter contre ce fléau.

Divers modèles et méthodes ont été développés pour évaluer l'érosion hydrique des sols, tels que USLE, RUSLE, LEAM et PAP/CAR. Parmi les méthodes qualitatives les plus utilisées dans la région méditerranéenne figure la méthode PAP/CAR [7]. Ce modèle qualitatif d'étude de l'érosion hydrique des sols, combiné aux systèmes d'information géographique et à la télédétection, présente de nombreux avantages en tant qu'outil efficace pour prédire l'érosion spatiale sur de grandes surfaces, suivre l'évolution spatio-temporelle de ce phénomène et aider

à la prise de décision [8].

Le bassin versant du Gargar en Algérie a été choisi pour cette étude en raison de ses caractéristiques hydrologiques et environnementales spécifiques. Les grandes quantités de sédiments enregistrées dans les réservoirs de ce bassin ont considérablement réduit leur capacité de stockage, justifiant la nécessité de stratégies de gestion adaptées. Cette recherche vise à fournir une compréhension approfondie de l'ampleur, des manifestations et des tendances futures de l'érosion dans le bassin versant du Gargar, afin de proposer des solutions efficaces pour la gestion durable des ressources en eau dans cette région.

L'organisation Du Mémoire :

Introduction générale

Chapitre I : Recherche bibliographique sur l'érosion

Ce chapitre présente une revue de la littérature sur les différents aspects de l'érosion hydrique.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Ce chapitre décrit en détail la zone d'étude, notamment les caractéristiques physiques, géographiques et environnementales du bassin versant du barrage Gargar.

Chapitre III : Cartographie de l'érosion hydrique par l'utilisation du modèle PAP/CAR et des outils SIG

Ce chapitre se concentre sur l'application du modèle PAP/CAR, assisté par les outils de SIG et de télédétection, pour cartographier les zones sujettes à l'érosion hydrique dans le bassin versant.

Chapitre IV : Planification détaillée des mesures de conservation des sols

Dans ce chapitre, des recommandations et des mesures de conservation des sols sont proposées, sur la base des résultats de l'analyse de l'érosion hydrique.

Conclusion générale

Le mémoire se termine par une conclusion générale résumant les principaux résultats et ouvrant sur les perspectives futures.



Université Hassiba Ben Bouali
Chlef
Faculté Génie civil et d'architecture

جامعة حسيبة بن بوعلي
الشلف
كلية الهندسة المدنية و المعمارية



Analyse Des Facteurs D'érosion Hydrique Dans Le Bassin Versant Du Barrage De Gargar: Une Proche Basée Sur Le Modèle PAP/CAR Et Les Outils De SIG Et Télédétection

Réalisé par :

- MAAMERI Idriss
- LEGRAA Bilal


Encadré par :

- OUADJA Abid

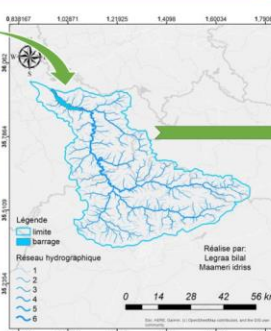
PRÉSENTATION DE LA ZONE

Localisation

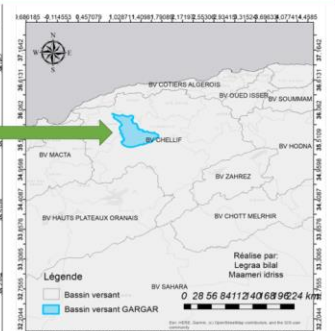
Le bassin versant de Gargar est donc situé dans le Nord de l'Algérie, dans le domaine de l'Atlas Tellien. Il s'étend sur une superficie totale de 2429 km² et est principalement drainé par l'Oued Rhiou, qui prend sa source dans les versants Nord du massif de la région de Sidi Hosni et se dirige vers le réservoir du barrage de Gargar. Plusieurs villes et villages importants se trouvent dans le bassin versant, notamment Oued Rhiou, Ammi Moussa, Lehlaef et Sidi Hosni.



Barrage GARGAR



Carte hydrographique



Carte géographique

MODÈLE DE PAP/CAR

1 Méthodologie

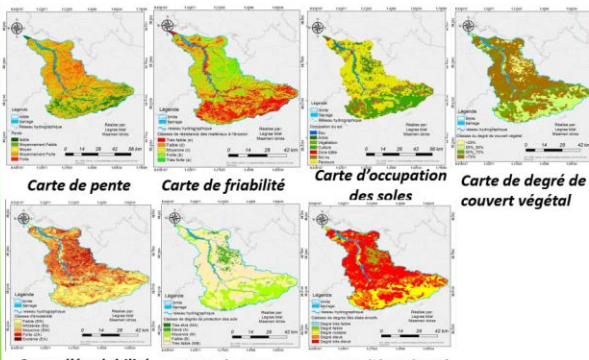
L'organigramme suivant présente les cartes liées au PAP/CAR:

```

graph LR
    A[Carte des pentes] --> B[Carte d'érodibilité]
    C[Cartre de friabilité] --> B
    D[Carte d'occupation des soles] --> E[Carte de protection des soles]
    F[Carte de degré de couvert végétal] --> E
    B --> G[Approche prédictive]
    E --> G
    G --> H[Carte des états érosifs]
    H --> I[Carte consolidée de PAP/CAR]
    J[Approche descriptive] --> K[Carte des formes d'érosion]
    K --> I
    I --- L[Ancienne d'inférmation]
    
```

2 Les facteur du méthode PAP/CAR

Les images suivantes montrent les facteurs d'érosion hydrique réalisé par PAP/CAR :



Carte de pente **Carte de friabilité** **Carte d'occupation des soles** **Carte de degré de couvert végétal**

Carte d'érodabilité **Carte de PDS** **Carte d'état érosif**

LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE BASSIN VERSANT

Type	Paramètres	Symbole	Unité	Valeur
Caractéristiques Morphométriques	Superficie	(A)	Km ²	2429
	Périmètre	(P)	Km	300.36
	Indice de compacité	(Kc)	-	1.70
	Longueur du rectangle équivalent	(L)	Km	111.52
	Longeur du rectangle équivalent	(l)	Km	38.65
Caractéristiques Hydrographiques	L'altitude max	(H _{max})	m	1265
	Altitude Min	(H _{min})	m	48
	Altitude moyenne	(H _{mo})	m	745
	Altitude Médiane	(H _{me})	m	660
	Altitude 3% de la surface	(H _{3%})	m	1100
Altitude 95% de la surface	(H _{95%})	m	285	
	Indice de pente globale	(Ip)	%	7.39
Caractéristiques Hydrologiques	Densité de drainage	(D _d)	Km/Km ²	0.73
	Longueur du cours d'eau principal	(L _{ep})	Km	67.98

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'étude a permis d'identifier les principaux facteurs d'érosion hydrique dans le bassin versant du barrage de Gargar et de cartographier les zones les plus exposées au risque d'érosion. Ces résultats constituent une base importante pour la mise en place de stratégies de lutte contre l'érosion hydrique dans le bassin versant.

Cette étude peut être complétée par des recherches ultérieures portant sur :

La modélisation quantitative de l'érosion hydrique à l'aide de modèles plus sophistiqués.

L'analyse de l'impact de l'érosion hydrique sur la qualité des ressources en eau.

Le développement de stratégies de lutte contre l'érosion hydrique adaptées aux conditions spécifiques du bassin versant.

Chapitre I :
Recherche biographique sur
l'érosion

I.1. Introduction :

L'érosion hydrique un phénomène omniprésent dans les paysages terrestres, est le résultat de l'interaction complexe entre l'eau et les sols. L'eau, puissante force de la nature, peut être à la fois créatrice et destructrice, sculptant les reliefs et façonnant les paysages tout en érodant progressivement les sols. Ce processus, qui se déroule sur des échelles de temps géologiques, peut également être accéléré de manière significative par les activités humaines telles que l'agriculture intensive, la déforestation et l'urbanisation. En conséquence, l'érosion hydrique représente un défi majeur pour la durabilité des écosystèmes, la productivité agricole et la gestion des ressources en eau. Dans cette introduction, nous explorerons les mécanismes sous-jacents de l'érosion hydrique, ses impacts sur l'environnement et les moyens de prévention et de gestion pour atténuer ses effets néfastes.

I.2. Définition de l'érosion :

L'érosion hydrique est un phénomène complexe causé généralement par l'action combiné de pluie et de ruissellement qui ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol.

L'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité.

C'est un phénomène naturel caractérisé par des processus de détachement des particules du sol par les précipitations et le ruissellement, leur transport par les eaux superficielles qui ruissellent et leur dépôt le long du trajet suivi par les eaux superficielles sur les versants et dans les cours d'eau.

La pluie est l'agent causal primaire des phénomènes d'érosion par son énergie cinétique qui fait intervenir à la fois la hauteur et l'intensité des précipitations pendant un certain temps.

Alors que le ruissellement est l'agent de transport de particules arrachées, il entraîne le sol érodé vers les drains agricoles et les fossés dont il peut altérer la qualité, puisque les particules de sol en suspension augmentent la turbidité de l'eau.

En dehors de la pluie et le vent, l'érosion du sol peut aussi être causée par l'intensification de l'utilisation des terres, travail du sol, les structures de construction, le surpâturage, l'utilisation des terres et la déforestation.

L'érosion des sols en termes réels met en danger la sécurité alimentaire, la productivité subsistance du sol, la surface stockage de l'eau, la qualité de l'eau de surface, la beauté du

paysage et l'équilibre écologique naturel. Sa solution réside dans l'adaptation des pratiques de conservation. [9]

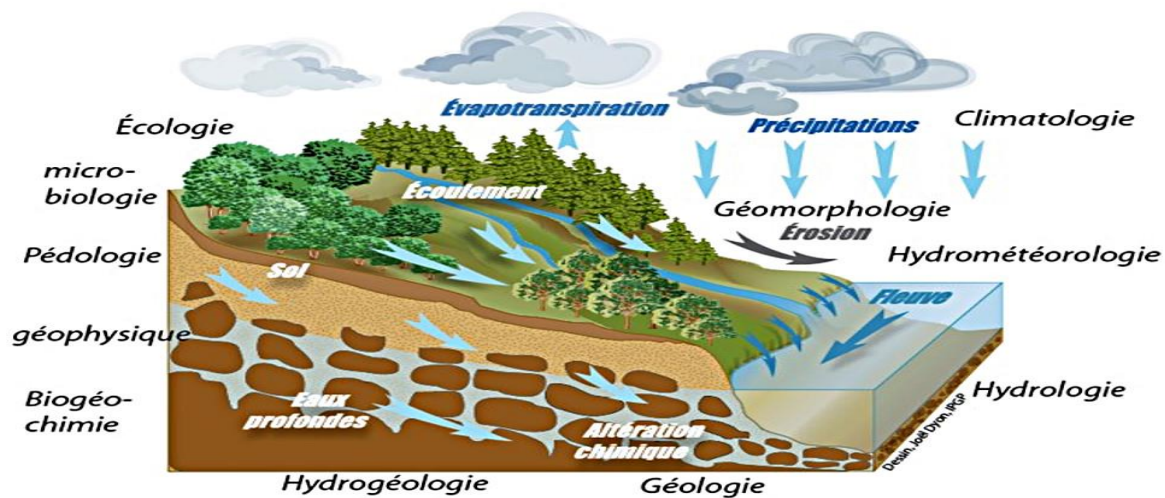


Figure I.1.Processus de l'érosion

I.3. Facteurs influençant l'érosion :

En plus des factures géologiques et topographiques, plusieurs agents influent directement ou indirectement sur le processus de l'érosion des bassins versants. La pluie torrentielle est l'agent principal du phénomène, l'irrégularité des pluies est liée à des intensités très élevées qui peuvent engendrer des pertes en sols considérables. La multiplicité des factures qui coustent l'érosion exigent une prise de connaissance de leurs effets directs sur le processus de l'érosion.

I.3.1. Influence du climat

Le climat est un facteur important qui influe sur érosion hydrique par la nature des précipitations et des températures. Un climat agressif comme celui des régions arides et semi-arides est Caractérisé par des pluies de grandes intensités pendant un temps court, et de longues périodes de Sécheresses.

Les deux éléments accentuent remarquablement l'érosion, les températures élevées Permettent d'assécher et de fissurer le sol qui augmente sa vulnérabilité à l'érosion et les fortes Pluies viennent avec des énergies cinétiques élevées pour détacher et emporter un maximum de sol déjà très faible. [10]

I.3.2. Influence du sol

Il est caractérisé par son type, sa texture et son état. En saison sèche, l'humidité du sol est presque nulle, ce qui favorise l'érosion hydrique lors des premières pluies. Il influe de même sur le ruissellement par ses capacités d'infiltration et de rétention.

I.3.3. Facteurs topographiques

Les facteurs topographiques essentiels sont la pente du bassin versant, le relief, la densité de drainage, l'importance des vallées et des plaines d'inondation, l'orientation et la taille du bassin.

Les fortes pentes avec un écoulement rapide sont généralement à l'origine d'une érosion excessive dont l'importance dépend de la géologie des sols et la protection du couvert végétal.

[10]

I.3.4. Facteurs géologiques

Ce sont les facteurs relatifs aux roches de surfaces. Si les roches sont exposées à la pluie, au vent et aux forces de gravité, il peut y avoir une désagrégation de la répartition granulométrique des sols, leur perméabilité, la présence de certains éléments chimiques et matières organiques Conditionnent l'érodibilité des sols.

I.3.5. Le couvert végétal

Un bon couvert végétal limite l'érosion en dissipant l'énergie de pluie. Il favorise l'infiltration et s'oppose à toute forme d'érosion.

Les forêts et surtout les couvertures herbacées sont plus efficaces pour fournir une protection du sol qu'une couverture de plantes cultivées ou une jachère. C'est le manque de végétation qui crée la condition permettant l'érosion. L'existence d'une litière protège également les sols de l'érosion. La dynamique de la croissance du couvert végétal est très variable en fonction du type de plante mais aussi des techniques culturales (densité et date de plantation, fertilisation) et du climat (précipitations et éclaircissement). La combinaison entre cette dynamique de croissance et la dynamique des pluies va donc déterminer l'importance des risques d'érosion.



Figure I.2. Effet sur la forêt

I.3.6. Les labours inadaptés

Le travail du sol présente deux effets antagonistes vis-à-vis de l'érosion hydrique. D'une part, il limite l'érosion en augmentant la perméabilité et la capacité de rétention du sol, et d'autre part, il favorise en diminuant la cohésion et la stabilité structurale du sol pour les faibles pluies (ou la première phase des grosses pluies). Un labour bien fait limite considérablement le phénomène de l'érosion hydrique.

I.3.7. Impacts humains

En plus des facteurs naturels mentionnés ci-dessus, les activités humaines jouent un rôle important dans l'aggravation du problème de l'érosion des sols. Par exemple, le changement d'utilisation des terres de l'agriculture traditionnelle à une agriculture non durable ou à l'urbanisation non planifiée peut augmenter considérablement l'érosion.

De même, la déforestation, le surpâturage et les pratiques agricoles non durables peuvent réduire la couverture végétale protectrice et augmenter l'exposition des sols à l'érosion.

I.4. Les type de l'érosion :

Il existe plusieurs types d'érosion, chacun étant causé par des agents naturels ou des activités humaines spécifiques. Les principaux types d'érosion comprennent :

I.4.1. Erosion éolienne :

Étymologiquement, le mot éolien est dérivé d'Éole, dieu du vent. Par conséquent, quand on parle d'érosion éolienne, on fait référence aux processus qui modifient le relief de la croûte terrestre par l'action du vent.

Ce type d'érosion est moins agressive que l'érosion hydrique, elle est également lente et elle requiert des sols dépourvus de végétation. Elle se produit dans les zones où les variations de température sont importantes car cela favorise la désagrégation des roches, ce qui permet au vent d'agir plus efficacement sur elles. Les zones de haute montagne et les zones désertiques sont affectées par le vent ou l'érosion éolienne, de même que les zones dépourvues de végétation, c'est-à-dire les sols nus. Si la terre était couverte de végétation, l'action érosive du vent serait ralentie par la végétation et serait beaucoup moins importante, voire inexistante. [11]

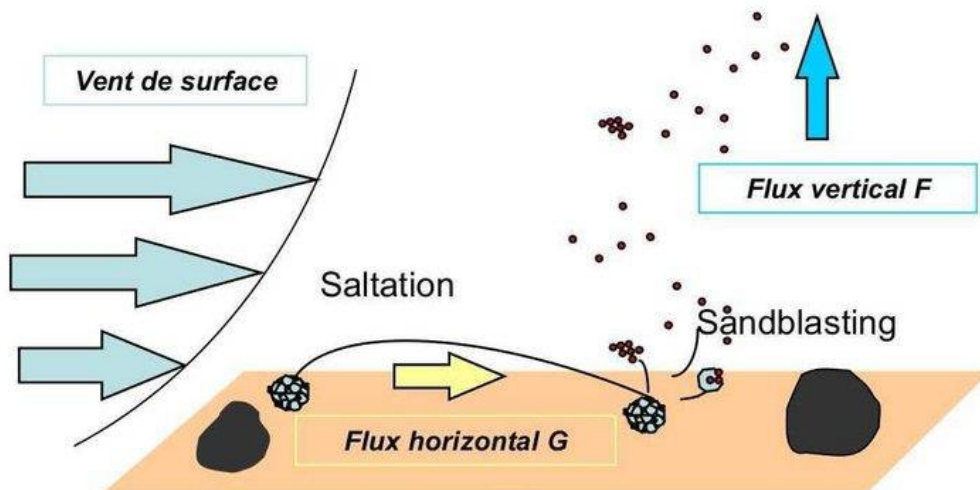


Figure I.3.Processus de l'érosion éolienne

I.4.2. Erosion aratoire ou mécanique sèche :

L'érosion aratoire, également connue sous le nom d'érosion mécanique sèche, est un type d'érosion des sols qui se produit principalement à la suite de l'action du vent et des activités humaines telles que le labourage et le piétinement. Contrairement à l'érosion hydrique qui est causée par l'eau, l'érosion aratoire est le résultat de la détérioration physique du sol due à des forces mécaniques.

L'érosion aratoire peut se produire dans les régions où les conditions climatiques sont arides ou semi-arides, caractérisées par de faibles précipitations et des vents forts. Lorsque le sol est

exposé et dépourvu de couverture végétale, il devient vulnérable à l'érosion éolienne. Le vent peut soulever et transporter des particules de sol fines sur de longues distances, ce qui entraîne une perte de fertilité du sol et une dégradation de la qualité de l'environnement.

Les pratiques agricoles non durables telles que le labourage excessif, le surpâturage et la déforestation peuvent aggraver l'érosion aratoire en exposant davantage le sol aux forces éoliennes. Pour atténuer les effets de l'érosion aratoire, des techniques de conservation des sols telles que la plantation de haies coupe-vent, la rotation des cultures et la mise en place de bandes de conservation peuvent être mises en œuvre pour protéger la couche arable du sol et préserver sa fertilité. [12]

I.4.3. Erosion des rivières :

L'érosion des rivières est un processus naturel par lequel les cours d'eau emportent progressivement des matériaux de leur lit et de leurs berges. Ce processus peut prendre plusieurs formes et avoir plusieurs causes :

Érosion par abrasion : Les matériaux transportés par le courant frottent contre le lit et les berges de la rivière, provoquant leur usure progressive. Les particules transportées par le courant peuvent agir comme du papier de verre, polissant et érodant les surfaces avec lesquelles elles entrent en contact.

Érosion hydraulique : L'eau qui coule dans la rivière exerce une pression sur le lit et les berges. Cette pression peut désagréger les roches et les sols, provoquant leur détachement et leur transport. **Erosion par corrosion chimique :** Certains types de roches sont sensibles à la dissolution par l'eau, en particulier les roches calcaires. L'eau chargée de substances chimiques peut dissoudre lentement ces roches, contribuant ainsi à l'érosion des rivières.

Érosion par cavitation : Lorsque le courant de la rivière crée des tourbillons ou des zones de basse pression, des bulles d'air se forment et implosent, créant des forces de cisaillement qui peuvent endommager le lit de la rivière.

Érosion par écoulement excessif : Les crues et les débits d'eau élevés peuvent augmenter considérablement la vitesse et la puissance du courant, entraînant une érosion accrue des rives et du lit de la rivière.

L'érosion des rivières peut avoir des conséquences importantes sur les paysages, les écosystèmes et les activités humaines. Elle peut contribuer à la formation de vallées, de gorges et de méandres, mais aussi à la dégradation des terres agricoles, à l'altération des habitats

aquatiques et à l'instabilité des infrastructures riveraines. La gestion des bassins versants et des cours d'eau est donc essentielle pour minimiser les effets négatifs de l'érosion des rivières et maintenir leur santé écologique.[12]

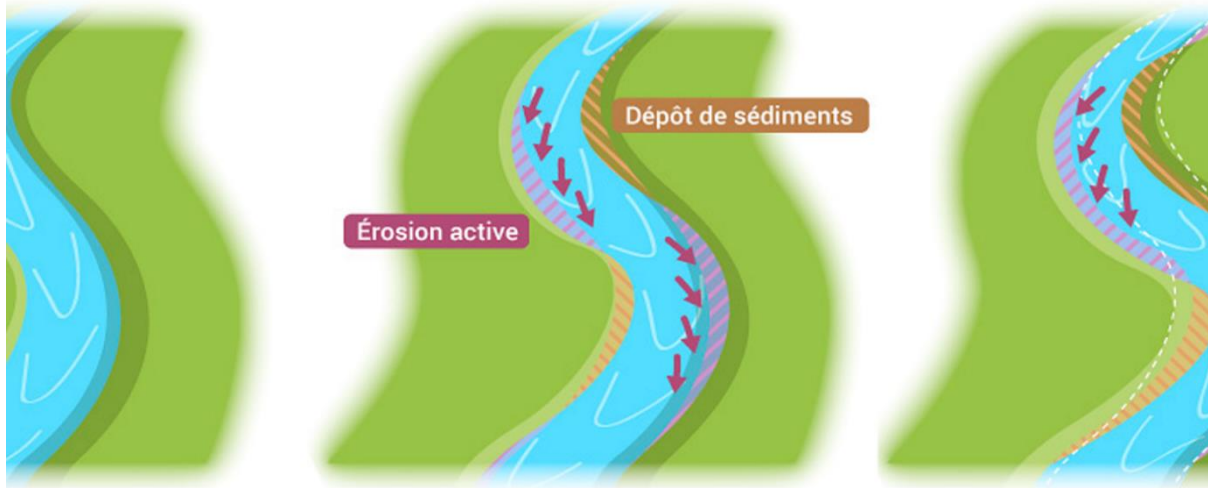


Figure I.3. l'érosion des rivières .

I.4.4. Erosion hydrique :

L'érosion hydrique est un phénomène complexe qui menace particulièrement les ressources en eau et en sol. Elle se caractérise par le détachement et le transport de particules de sol depuis leur emplacement d'origine par différents agents, jusqu'à un lieu de dépôt. Ainsi, les trois étapes par lesquelles passe l'érosion sont le détachement, le transport et la sédimentation. Il est important de souligner que la pluie et le ruissellement superficiel sont les principaux moteurs du détachement, du transport et du dépôt des particules de sol.

L'érosion hydrique du sol peut être définie comme le détachement et le déplacement des particules de sol par l'eau depuis leur emplacement d'origine vers de nouvelles zones de dépôt. Ce phénomène est généralement identifiable par des incisions ou des sédimentations qui se forment à la surface de la terre.

Il convient également de noter que l'érosion hydrique du sol entraîne la perte, sous l'action de l'eau, de certaines ou de toutes les particules du sol. Cela peut avoir des conséquences néfastes sur la fertilité du sol, la qualité de l'eau et la stabilité des écosystèmes environnants. [13] Ainsi, la gestion et la prévention de l'érosion hydrique sont essentielles pour garantir la durabilité des ressources naturelles et la préservation de l'environnement.

I.4.4.1. Erosion en nappe :

L'érosion en nappe est le stade initial de la dégradation des sols par l'érosion hydrique. Il s'agit en réalité d'une fonte de l'horizon humifère superficiel combiné à la remontée en surface des cailloux par un travail profond du sol. Après quelques pluies, les terres fines sont entraînées par les pluies tandis que les cailloux, trop lourds pour être emportés, s'accumulent à la surface du sol. [9]

L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois de l'intensité et de l'énergie des pluies qui favorisent le détachement des particules et déclenchent le ruissellement, et de la durée des pluies. Les particules migrent par sauts successifs de l'amont vers l'aval L'érosion en nappe déplace les particules du sol à courte distance par effet « splash ». Alors que le ruissellement en nappe qui naît après formation des flaques et débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à l'autre, permet de déplacer les particules à plus longue distance.

I.4.4.2. Erosion linéaire en griffes :

L'érosion linéaire se produit lorsque le ruissellement en nappe se concentre et acquiert, par augmentation de la vitesse de l'eau, un pouvoir érosif accru, ce qui entraîne des incisions linéaires de plus en plus profondes dans le sol. Lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur, on parle de griffes, tandis que les canaux dépassant 10 cm de profondeur sont appelés rigoles. Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigoles succède généralement à l'érosion en nappe par la concentration du ruissellement dans les creux. À ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.

Lorsque les rigoles se développent en un réseau bien ramifié et atteignent une profondeur d'ordre métrique, on parle alors d'érosion par ravinement. Les ravins représentent la forme la plus évoluée de l'érosion linéaire et se répartissent sur l'ensemble du terrain. Parfois, lorsque le substrat est dur, les ravins s'élargissent par sapement des berges, constituant ainsi la principale source de sédiments transportés. À l'intérieur des ravins, on peut également distinguer des petites ravines dont le lit est encore encombré de végétation herbacée et arbustive, et qui peuvent être stabilisées rapidement par des méthodes biologiques. En revanche, dans de grands ravins qui peuvent s'étaler sur plusieurs kilomètres, le canal central comporte souvent des blocs rocheux, témoignant d'un charriage important et d'une certaine intensité torrentielle. [9]

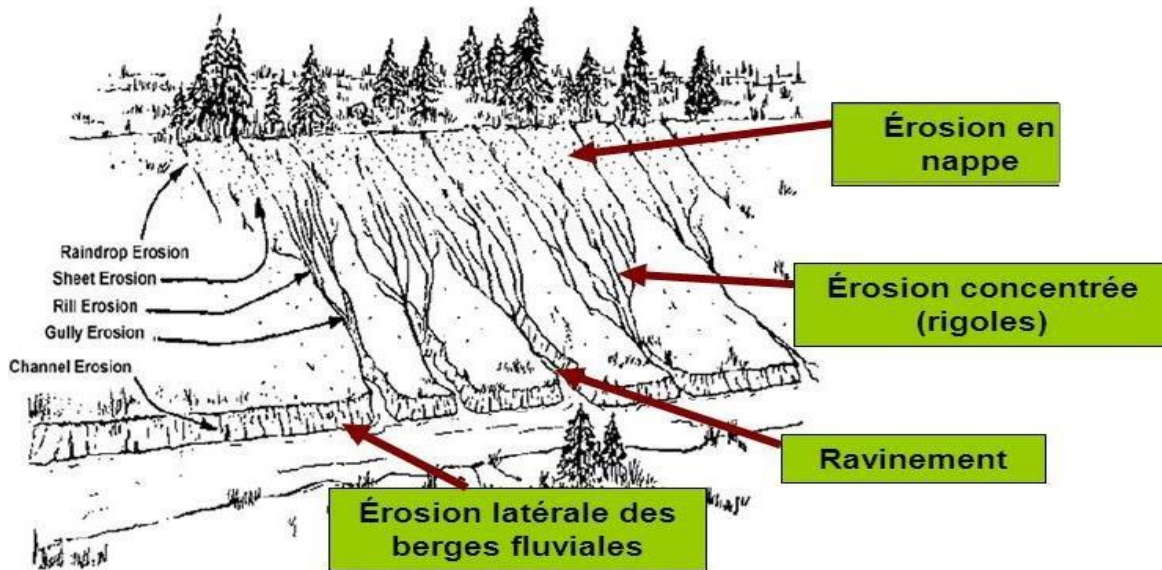


Figure I.4. Les formes d'érosion hydrique

I.4.4.3. Mécanisme de l'érosion hydrique

Le mécanisme de l'érosion hydrique implique plusieurs étapes essentielles, à savoir le détachement, le transport et la sédimentation des particules de sol. Voici une explication détaillée de chaque étape :

a) Le détachement

a.1) L'humectation par l'effet de l'impact des gouttes de pluies

Le détachement des particules de sol peut être attribué à plusieurs processus, notamment :

L'éclatement, qui se produit lorsque l'humidité pénètre dans le sol et comprime l'air piégé à l'intérieur des agrégats de sol.

Le gonflement différentiel, provoqué par l'humectation et la dessiccation des argiles, entraînant des fissurations dans les agrégats. [14]

La dispersion physico-chimique, qui se produit lorsque les forces d'attraction entre les particules colloïdales diminuent pendant l'humectation.

La désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie, connue sous le nom de détachement par (splash), où l'impact des gouttes de pluie fragmente les agrégats et détache les particules de leur surface.

a.2) Le ruissellement

L'érosion des sols se produit lorsque les eaux de pluie, incapables de s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de sol. Cela se produit lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration du sol ou lorsque le sol est déjà saturé par l'eau.

b) Le transport

Les particules de sol détachées sont transportées par les gouttes d'eau de pluie (effet slash) et par les eaux de ruissellement. Cependant, le transport par effet slash est généralement négligeable, sauf sur des pentes fortes, tandis que les eaux de ruissellement sont les principales responsables du transport des particules de sol détachées.

c) La sédimentation (dépôt)

Les particules de sol arrachées se déposent entre le lieu d'origine et l'aval en fonction de leur dimension, leur densité et la capacité de transport du ruissellement ou du cours d'eau. Les particules se déposent dans un ordre spécifique : d'abord le sable, puis le sable fin et enfin le limon. Les argiles et les colloïdes sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure du cours d'eau, où ils se déposent après évaporation de l'eau ou après floculation.

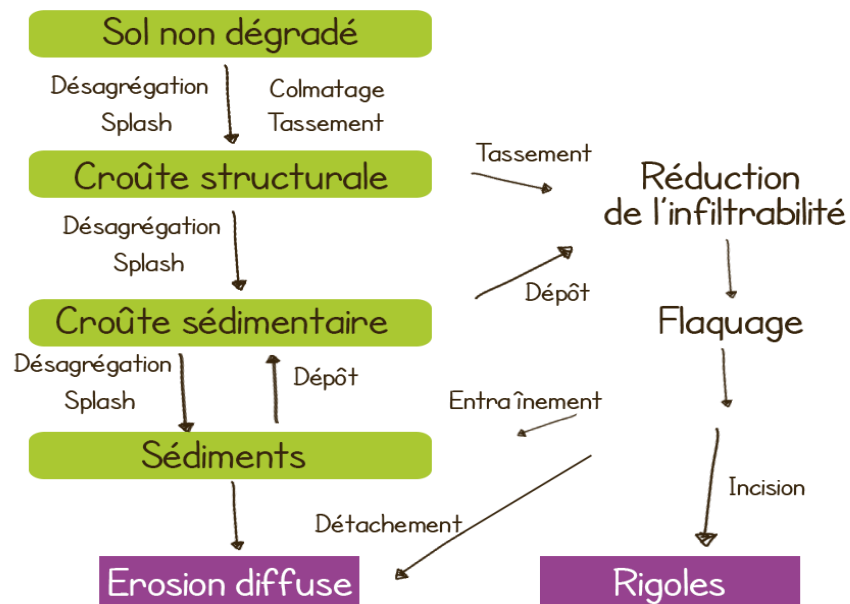


Figure I.5. Mécanisme de l'érosion hydrique

I.5. L'impact de l'érosion dans différents Région :

L'impact de l'érosion varie selon les régions en raison de facteurs tels que le climat, la topographie, l'utilisation des terres et la composition du sol. Voici quelques exemples d'impacts de l'érosion dans différentes régions.

Régions arides et semi-arides :

L'érosion éolienne peut être un problème majeur dans les régions désertiques et semi-désertiques, où le vent peut souffler le sol fertile loin des terres agricoles.

L'érosion hydrique peut être intense lors de fortes pluies, car les sols secs ont du mal à absorber l'eau rapidement, entraînant des inondations et le lessivage des sols fertiles.

Régions montagneuses :

L'érosion par gravité, comme les glissements de terrain et les éboulements, est commune dans les régions montagneuses en raison de l'inclinaison prononcée du terrain et des conditions météorologiques variables.[15]

La fonte des glaciers peut entraîner l'érosion des vallées et des flancs de montagnes, modifiant ainsi les paysages et menaçant les habitats.

Régions côtières :

L'érosion côtière est un problème majeur dans de nombreuses régions côtières en raison de l'action des vagues, des marées et des courants. Cela peut entraîner la perte de terres agricoles, de zones résidentielles et de zones humides précieuses.

La montée du niveau de la mer due au changement climatique aggrave ce problème, exposant davantage de terres à l'érosion et à l'inondation.

Régions agricoles :

L'érosion des sols agricoles est un problème mondial, où les pratiques agricoles non durables telles que le labour intensif, le surpâturage et la déforestation peuvent entraîner la perte de sol fertile.

Cela peut réduire la productivité des terres agricoles, augmenter le risque d'inondations et de sécheresses, et contribuer à la pollution des cours d'eau par les sédiments et les produits chimiques agricoles.

Régions urbaines et périurbaines :

L'urbanisation peut accélérer l'érosion des sols en remplaçant les surfaces naturelles par des surfaces imperméables telles que le béton et l'asphalte, ce qui augmente le ruissellement et l'érosion des sols environnants.

La construction sur des pentes raides ou dans des zones sujettes aux inondations peut également augmenter le risque d'érosion et de catastrophes naturelles.

Dans toutes ces régions, la gestion durable des terres et des ressources naturelles est essentielle pour atténuer les effets de l'érosion et préserver les écosystèmes et les moyens de subsistance humains.

1.6. La Télédétection :

La télédétection par satellite est l'ensemble des techniques qui permet d'observer et d'évaluer à distance l'énergie émise et réfléchi par un objet. Généralement, cette technique est mise en œuvre au moyen d'avions et de satellites. Mais quelle est la finalité de la télédétection ? En bref, elle est utilisée pour étudier tout objet dans le but d'identifier et de suivre les changements dans ses caractéristiques physiques.

Des caméras spécialement conçues pour la télédétection jouent un rôle crucial en fournissant aux scientifiques des images à distance pour mieux comprendre la Terre. Dans le même temps, chacun peut bénéficier de l'évaluation plus précise d'une zone d'intérêt et prendre des décisions éclairées grâce à des capteurs satellites de télédétection qui offrent une perspective élargie et une abondance d'informations. Voici quelques exemples concrets :

Les caméras installées sur les appareils de télédétection et les avions capturent des images couvrantes d'immenses étendues de la surface terrestre et permettent d'accéder à des détails qui seraient autrement inaccessibles. Les sonars des navires établissent des cartes des fonds marins sans nécessité de plongées en profondeur.

Les caméras des satellites saisissent les variations de température, y compris dans les zones éloignées et inaccessibles de l'océan.

Deux formes principales de données satellitaires sont les images optiques et radar, issues de différents types de télédétection. Les images optiques fournissent une vue panoramique impressionnante de la planète, mais le bon fonctionnement des capteurs optiques dépend de la lumière solaire et qui ne peuvent pas percer les nuages. En revanche, les capteurs radar sont opérationnels de jour comme de nuit, par tous les temps. De plus, la télédétection radar peut

révéler des informations telles que l'humidité du sol, la végétation submergée, la contamination de l'eau et la biomasse dans les zones forestières, autant de détails invisibles à l'œil nu.

En combinaison avec d'autres sources de données, les informations fournies par la télédétection offrent aux planificateurs urbains une vision plus complète et actualisée de leurs zones de responsabilité. La consommation d'eau, l'humidité du sol, les infestations de parasites et de mauvaises herbes, les périodes de jachère et l'expansion urbaine ne sont que quelques exemples des éléments mesurables et surveilla les grâce à ces avancées technologiques.[16]

Dans le cadre de la planification de l'utilisation des terres, ou au suivi d'espèces en milieu océanique (mais il existe d'autres applications), la télédétection fait référence au rassemblement d'informations par le biais de l'utilisation de photographies aériennes et d'imagerie satellitaire. La télédétection devrait être menée en même temps que des enquêtes de terrain ou dans les eaux océaniques. Voir aussi la télémessure et la télémétrie.

Le premier satellite d'observation de la Terre a été lancé dans l'espace par les États-Unis en 1972, initiant ainsi les techniques de télédétection, peu utilisées jusqu'à il y a quelques années en raison du coût élevé du travail sur les images satellitaires. De nos jours, grâce à la disponibilité des images et au développement des nouvelles technologies, de plus en plus d'entreprises et d'organismes publics intègrent l'utilisation systématique des images dans leurs différents projets, car elles peuvent être très avantageuses pour un grand nombre d'applications: extraction d'informations, détection des changements, agriculture (rendement des cultures), volcanologie, surveillance des catastrophes naturelles, etc.

En 2004, un projet mené par l'Institut géographique national appelé Plan national de télédétection (PNT) a été lancé, dont l'objectif principal est de coordonner l'acquisition d'images satellites du territoire espagnol, de promouvoir leur utilisation massive et celle de leurs produits dérivés. [11]

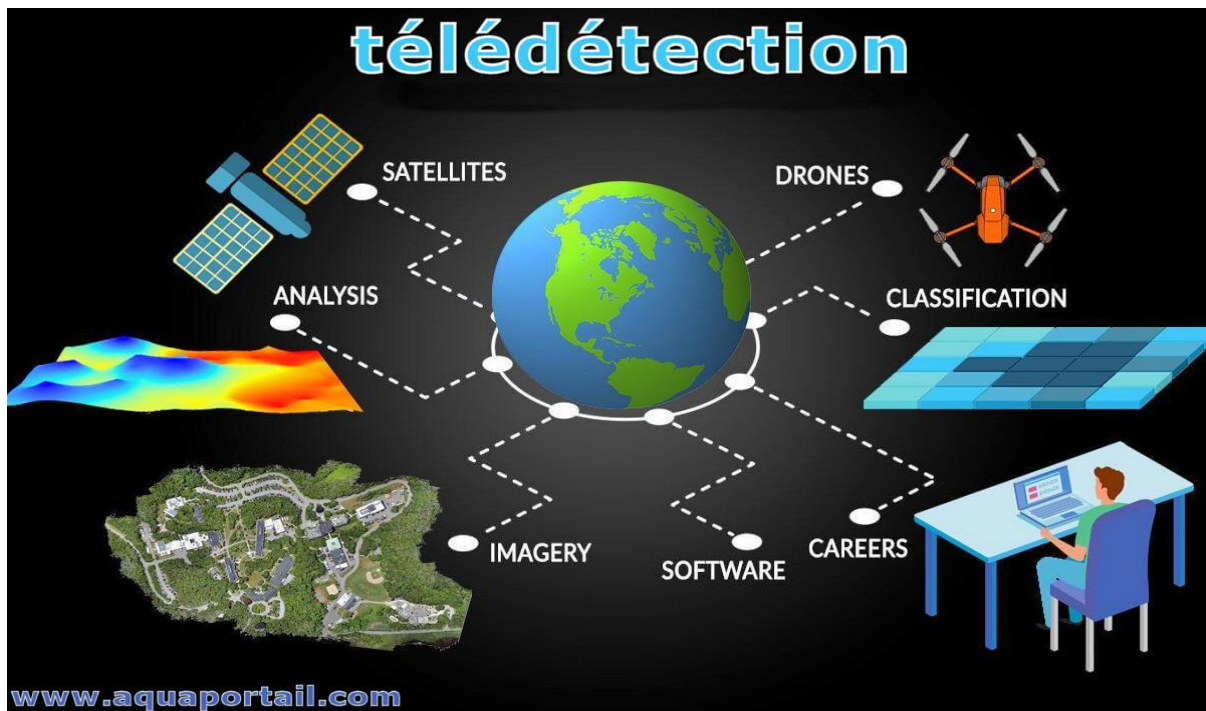


Figure1.7. Mécanisme de télédétection

I.7.SIG (Système d’Information Géographique) :

SIG est un système informatisé conçu pour capturer, stocker, manipuler, analyser, gérer et présenter des données géographiques. Ces données peuvent être des informations sur des lieux spécifiques, telles que des coordonnées géographiques, des caractéristiques physiques ou humaines d’un lieu, ou des informations spatiales telles que des cartes, des images satellites, des données topographiques, etc.

Le SIG permet d’intégrer différentes sources de données géographiques dans une seule interface, ce qui permet aux utilisateurs de visualiser, analyser et interpréter ces données de manière plus efficace. [17] Ils sont largement utilisés dans de nombreux domaines, notamment la gestion des ressources naturelles, la planification urbaine, la cartographie, la gestion des catastrophes, la gestion des réseaux de transport, etc.

En résumé, le SIG est un outil essentiel pour comprendre les relations spatiales entre différents phénomènes géographiques et pour prendre des décisions basées sur ces informations.

Un Système d’Information Géographique (SIG) est une technologie qui permet de collecter, stocker, manipuler, analyser et présenter des données géographiques. Ces données géographiques peuvent inclure des informations sur des emplacements spécifiques, telles que des coordonnées géographiques (latitude et longitude), des données sur les caractéristiques

physiques de la terre (comme l'altitude, le relief, le type de sol), des données sur les ressources naturelles (comme les rivières, les forêts, les ressources minérales), des données démographiques (comme la densité de population, la répartition des groupes ethniques), et bien plus encore.

Le SIG permet de stocker ces données géographiques de manière organisée dans une base de données géospatiale. Ces données peuvent être ensuite analysées pour en extraire des informations pertinentes. Par exemple, un analyste pourrait utiliser un SIG pour identifier les zones à haut risque d'inondation en croisant des données sur les précipitations, le type de sol et l'altitude.

Les utilisateurs peuvent interagir avec les données géographiques à l'aide d'une interface utilisateur conviviale. Ils peuvent visualiser ces données sous forme de cartes, de graphiques, de rapports ou d'autres types de représentations visuelles. Les fonctionnalités d'analyse du SIG permettent également de réaliser des opérations complexes telles que le calcul de distances, la délimitation de zones, la superposition de couches de données, etc.

Les SIG sont largement utilisés dans de nombreux domaines tels que l'urbanisme, l'aménagement du territoire, la gestion des ressources naturelles, l'agriculture, la gestion des catastrophes naturelles, la défense, la santé publique, le marketing, et bien d'autres encore. Ils offrent des outils puissants pour la prise de décisions basées sur l'analyse spatiale et aident à comprendre les relations complexes entre les phénomènes géographiques.

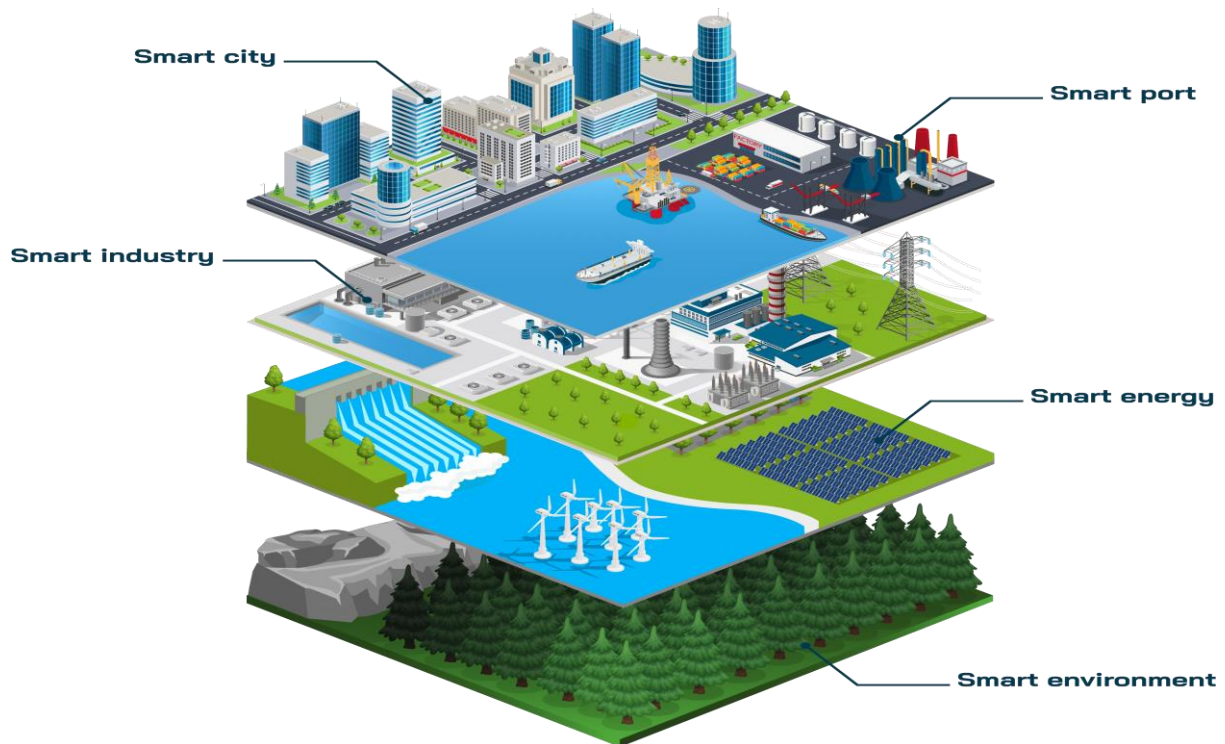


Figure1.8. SIG (système d'information géographique industriel)

Conclusion

L'érosion hydrique est un processus naturel ou anthropique qui peut avoir des conséquences significatives sur l'environnement, l'agriculture, et les infrastructures. Cette forme d'érosion est causée par l'action de l'eau, qu'il s'agisse de précipitations intenses, de ruissellement ou d'inondations. Ses effets sont souvent néfastes, entraînant la perte de sol fertile, la dégradation des écosystèmes aquatiques, la diminution de la qualité de l'eau, et la détérioration des paysages. Les pratiques agricoles intensives, la déforestation, l'urbanisation rapide, et les changements climatiques exacerbent souvent le phénomène de l'érosion hydrique. Cependant, des techniques de conservation des sols telles que la plantation d'arbres, la construction de terrasses, l'agroforesterie, et la gestion des eaux de pluie peuvent contribuer à réduire son impact. Il est crucial de sensibiliser et d'impliquer les communautés locales, les agriculteurs, les urbanistes, et les décideurs politiques dans la mise en œuvre de pratiques de gestion durable des terres et des ressources en eau pour prévenir et atténuer les effets de l'érosion hydrique. L'adoption de politiques environnementales et de réglementations efficaces, combinée à une coopération internationale, est également essentielle pour aborder ce défi à l'échelle mondiale.

Chapitre II :
Présentation de la zone
d'étude

II.1. Introduction :

L'étendue du territoire national connaît différentes formes de dégradation de son milieu naturel, avec des spécificités propres à chaque région. Selon les estimations du ministère de l'Agriculture et du Développement rural, environ 50 millions d'hectares de terres sont menacés par la dégradation due à la désertification et à l'érosion hydrique, ce qui représente plus de 20 % de la superficie totale du pays, dépassant les 238 millions d'hectares. Par conséquent, environ 14 millions d'hectares de zones montagneuses du nord sont touchés par l'érosion hydrique, tandis que 32 millions d'hectares de steppes sont directement touchés et/ou menacés par la désertification. De plus, environ 4,1 millions d'hectares de forêts sont également menacés par les impacts des changements climatiques.

Malgré sa petite taille, la zone étudiée représente bien l'évolution de l'érosion observée dans les bassins versants en Algérie.

-Dans ce chapitre, nous présenterons les caractéristiques physiques et climatiques du bassin versant du barrage de Gargar.

II.2. Bassin versant du barrage de gargar :

II.2.1. Caractéristique géographique :

Le bassin versant de Gargar est donc situé dans le Nord de l'Algérie, dans le domaine de l'Atlas Tellien. Il s'étend sur une superficie totale de 2429 km² et est principalement drainé par l'Oued Rhiou, qui prend sa source dans les versants Nord du massif de la région de Sidi Hosni et se dirige vers le réservoir du barrage de Gargar. Plusieurs villes et villages importants se trouvent dans le bassin versant, notamment Oued Rhiou, Ammi Moussa, Lehlaif et Sidi Hosni. [18]

Ce bassin versant chevauche sur trois wilayas : Tissemsilt, Tiaret et Relizane. Cette répartition géographique montre que le bassin versant de Gargar a une influence importante sur plusieurs régions administratives de l'Algérie et qu'il joue un rôle crucial dans la gestion des ressources en eau et dans le développement économique et social de ces régions.

✚ Latitude Nord :39 G97'

Longitude Est : 00G 65 '

✚ Latitude Sud :39 G 31'

Longitude Ouest : 01G 56'

L'ensemble des figures utilisées, sont des images regroupant plusieurs couches issues de la digitalisation et traitement par un logiciel de SIG (ARC-GIS 10.8.)

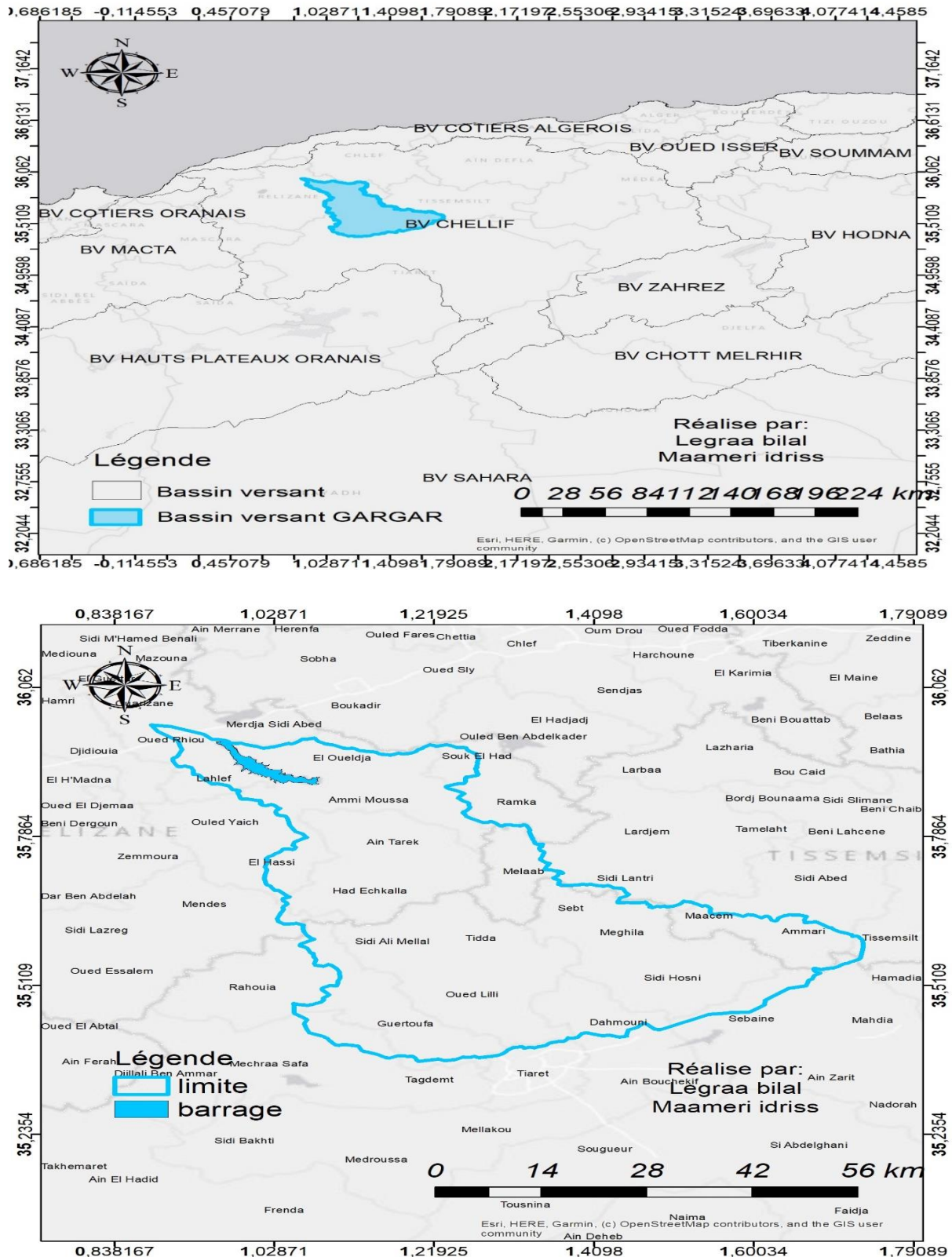


Figure II.1 : Situation géographique du bassin versant du barrage de Gargar.

II.2.1.1. Les types de sol :

Dans le bassin versant de Gargar, on peut rencontrer trois types de sols principaux : les hydric calcisols, les chromiques combisols et les sols calcaires. Les hydric calcisols sont des sols riches en calcium, généralement bien drainés mais sujets à l'hydromorphie. Les chromiques combisols sont caractérisés par la présence de chrome dans leur profil, souvent associés à des zones où les roches mères contiennent du chrome. Les sols calcaires, quant à eux, sont riches en carbonate de calcium et peuvent être alcalins, ce qui influence leur fertilité et leur capacité de rétention d'eau. [19]

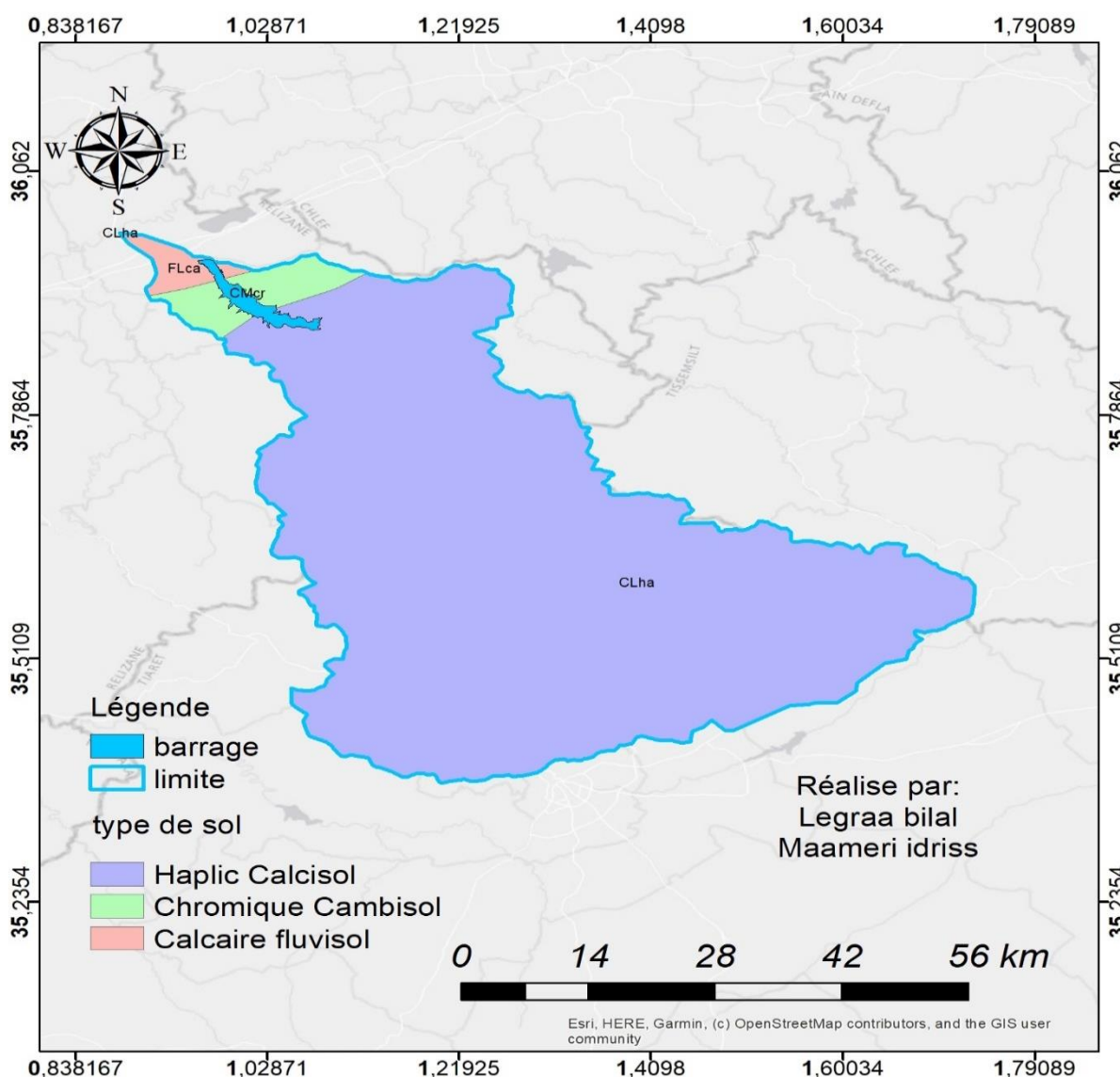


Figure II.2 : Carte des types de sol du bassin versant du barrage de Gargar.

II.2.1.2. Le couvert végétal :

La végétation joue un rôle crucial dans la régulation du ruissellement superficiel, de l'évaporation et de la rétention d'eau dans le bassin versant du barrage de gargar. Avec près de 8,38 % de sa superficie dédiée à l'agriculture, principalement pour les grandes cultures céréalières et fourragères, cette zone cultivée modifie les caractéristiques hydrologiques du bassin. Les zones agricoles peuvent favoriser le ruissellement rapide en raison de la diminution de la couverture végétale naturelle.

Cependant, au milieu du bassin versant, l'agriculture est moins prédominante, laissant la place à des zones plus accidentées principalement couvertes de forêts (56,55 %), d'arbustes à feuilles caduques ouverts (20,8 %) et de prairies clairsemées (33,6 %). Cette végétation, plus dense et variée, aide à ralentir le ruissellement, à augmenter la rétention d'eau dans le sol et à réduire l'érosion. [19]

La faible superficie urbaine (0,03 %) dans le bassin explique le manque de centres de population significatifs, à l'exception de quelques quartiers et municipalités de faible densité. Cette répartition de la végétation et de l'utilisation des terres influe sur la disponibilité en eau, la stabilité des sols et la régulation des débits dans le bassin versant, des aspects cruciaux pour la gestion durable des ressources en eau et la préservation de l'écosystème environnant.

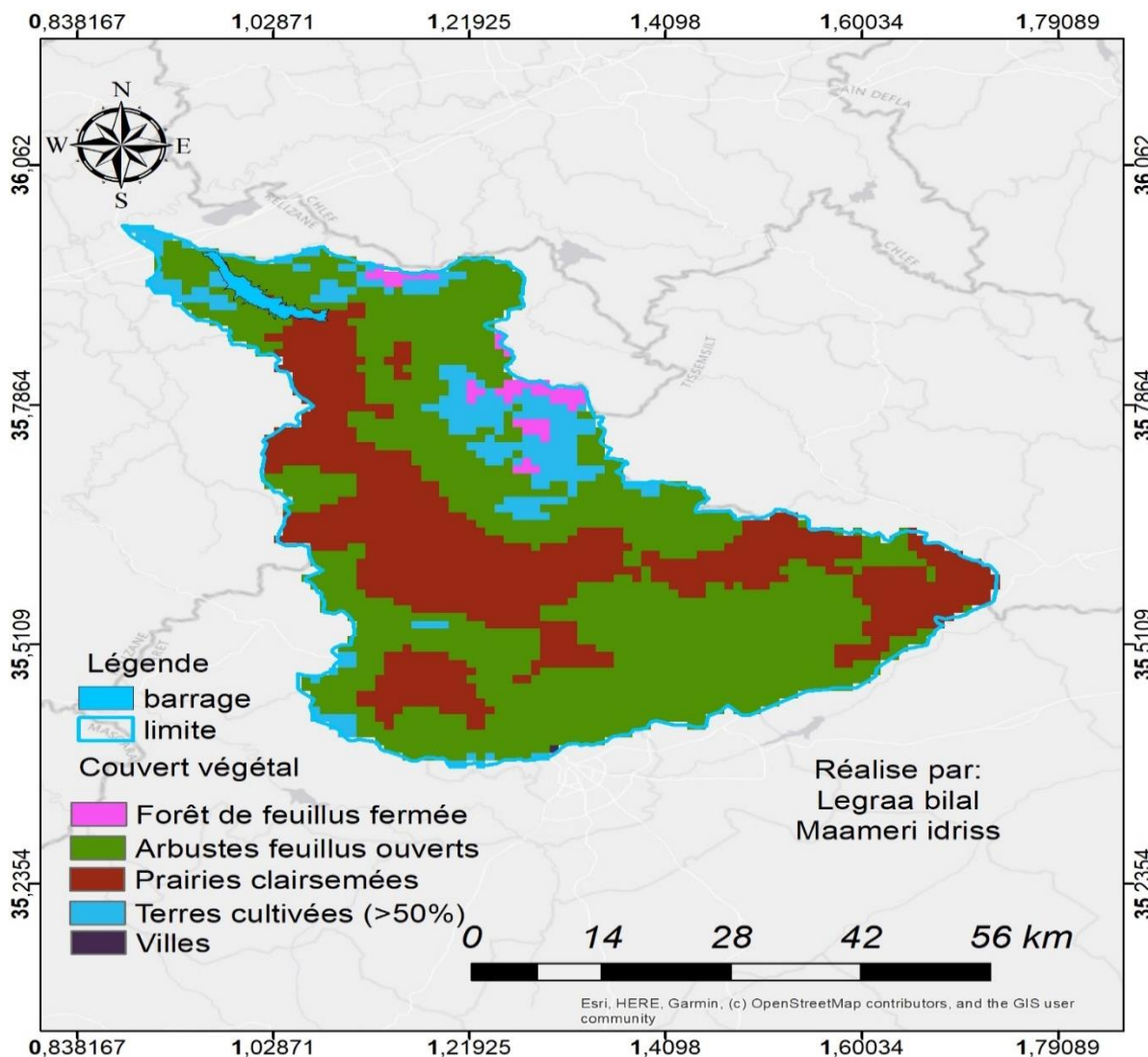


Figure II.3 : Carte du couvert végétal du bassin versant du barrage de Gargar.

II.2.2. Caractéristiques physiques :

II.2.2.1. Relief

A. Modèle numérique de terrain (M.N.T) :

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation mathématique de la surface terrestre qui permet de visualiser et d'analyser le relief d'une région donnée. Concernant le barrage de Gargar, un MNT pourrait être utilisé pour modéliser le terrain autour du barrage, ce qui serait utile pour diverses applications telles que la planification des ressources en eau, la gestion des risques d'inondation, la conception des infrastructures, et la surveillance de l'érosion.

En utilisant des données topographiques précises, telles que des relevés par laser (LiDAR) ou des images satellites à haute résolution, un MNT peut être généré en attribuant des altitudes à chaque point d'une grille régulière couvrant la zone d'intérêt. Ce modèle peut ensuite être manipulé informatiquement pour générer des profils en travers, des coupes, des cartes d'élévation, des calculs de volume, et d'autres analyses topographiques. [20]

Dans le cas spécifique du barrage de GARGAR, un MNT pourrait être utilisé pour évaluer la topographie environnante, identifier les zones sujettes à l'érosion, estimer les volumes de stockage d'eau, simuler les effets des précipitations et du ruissellement, et planifier la gestion des terres et des ressources en eau dans la région environnante.

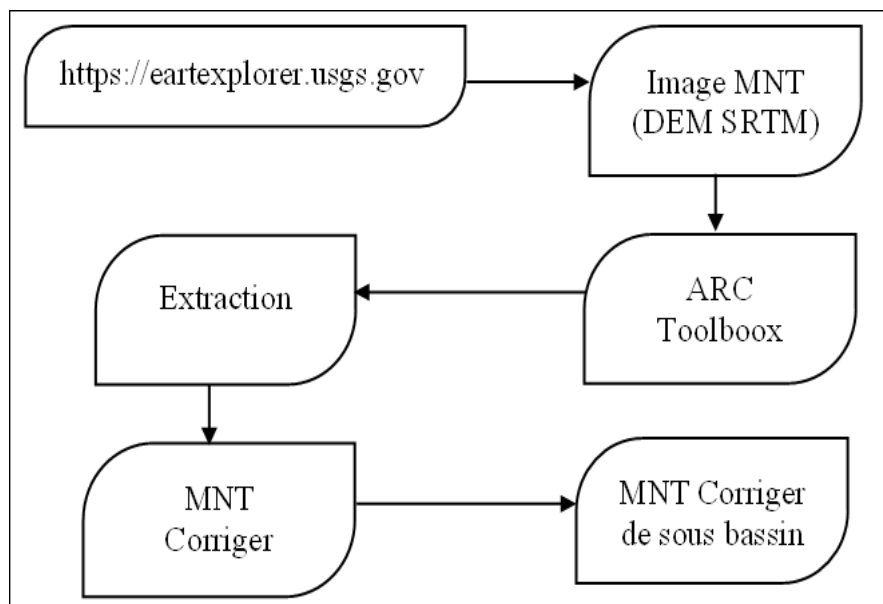


Figure II.4 : Méthodologie de la carte MNT.

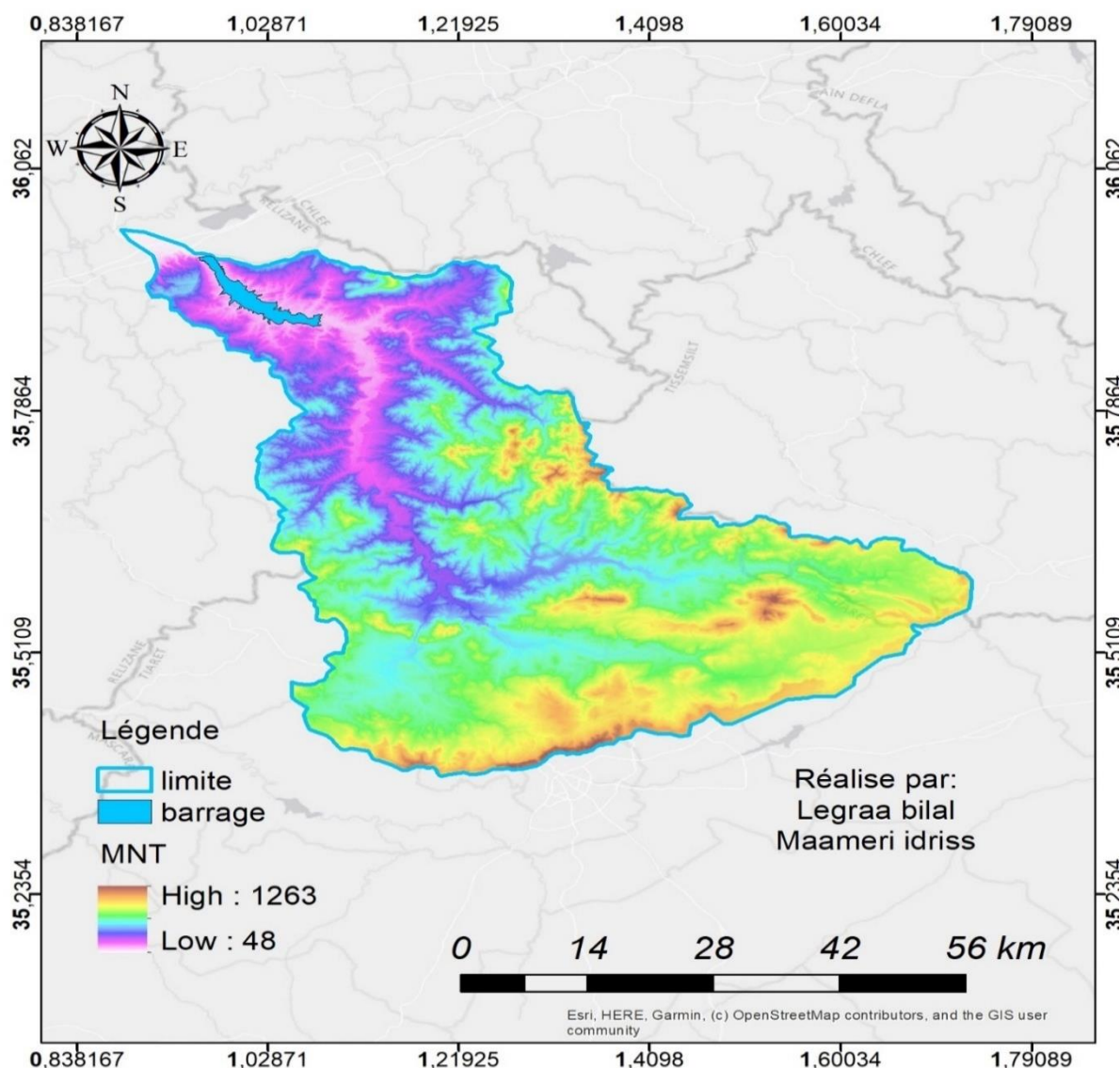


Figure II. 5 : Carte de modèle numérique de terrain (MNT) du bassin versant du barrage de Gargar.

B. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique entourant le barrage de Gargar offre un paysage aquatique riche et vital pour la région. Composé de rivières, de canaux et d'émissaires, ce réseau est le cœur battant de la gestion des ressources en eau et de la vie écologique locale. L'eau qui s'écoule à travers ces voies navigables alimente le barrage, régule les écosystèmes environnants et soutient les activités humaines telles que l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable. Dans cette introduction, nous explorerons l'importance de ce réseau hydrographique pour la communauté locale, son rôle dans le fonctionnement du barrage de Gargar, ainsi que ses implications pour la durabilité environnementale et économique de la région.

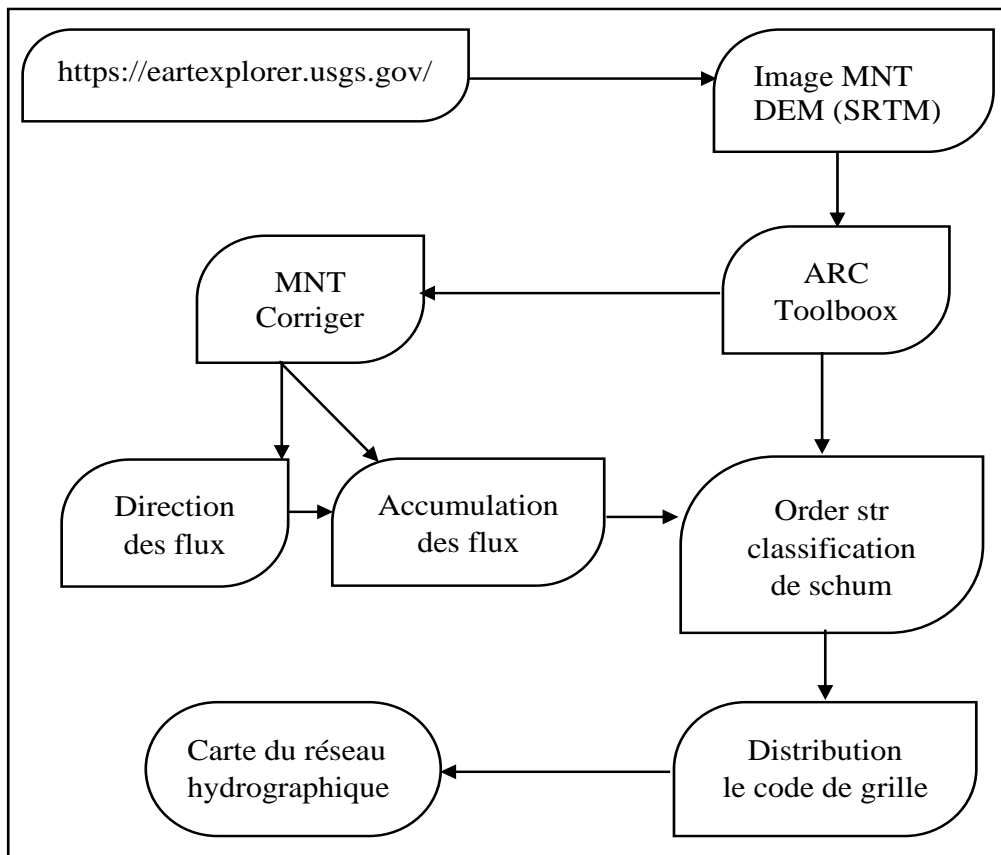


Figure II.6 : Méthodologie de la carte de réseau hydrographique.

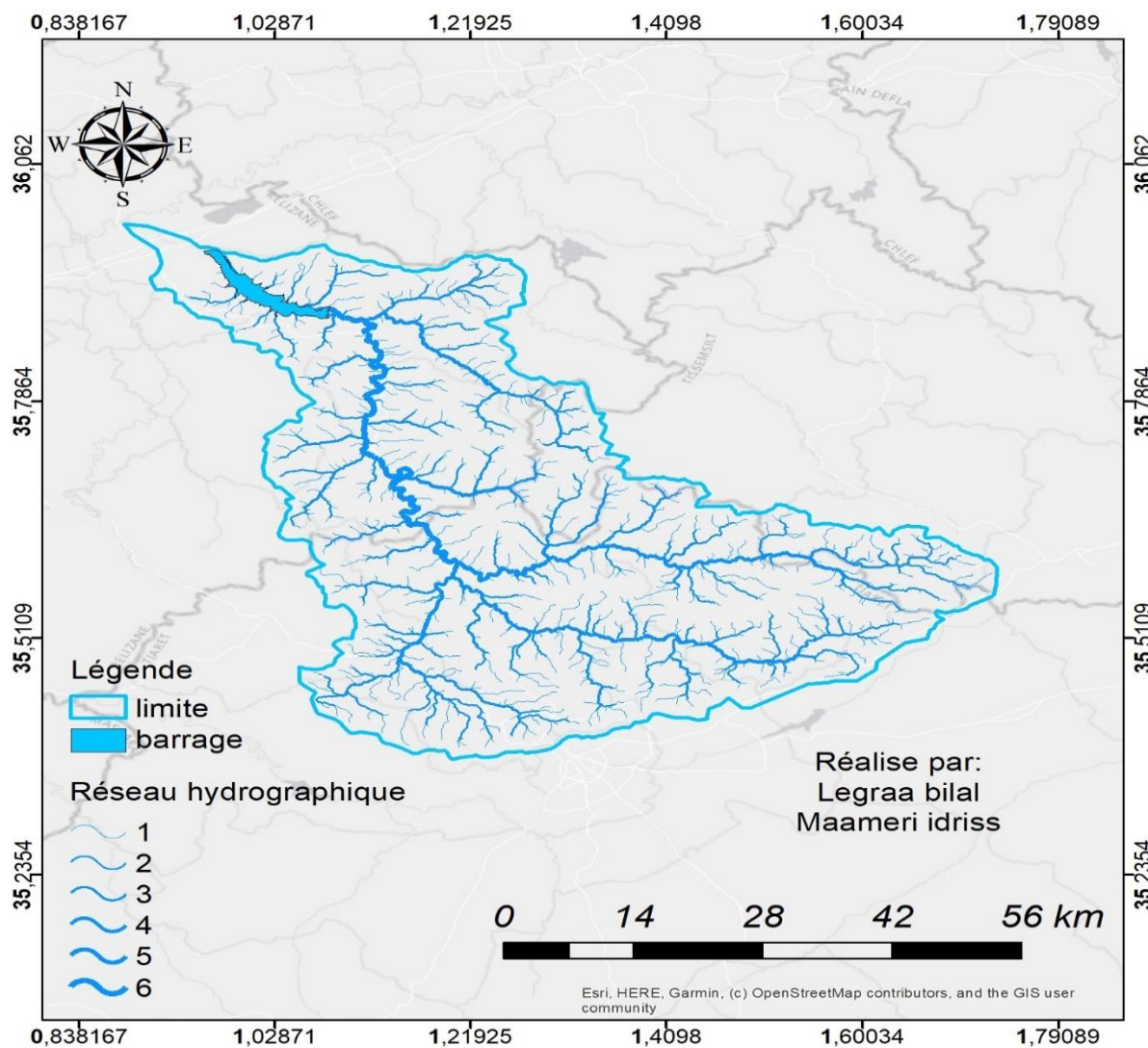


Figure II.7 : Carte de réseau hydrographique du bassin versant du barrage de Gargar.

Tableau II.1 : Classification par ordre du réseau hydrographique

Ordre	Longueur (Km)
1	922.56
2	437.52
3	221.43
4	124.11
5	14.88
6	67.98
Longueur Total	1788.48

C. Carte de pente :

Une carte de pente représente les différentes inclinaisons du terrain dans une région donnée. Dans le cas du bassin versant de Gargar, une telle carte pourrait montrer les zones de terrain plat, les pentes douces, modérées et raides.

Les zones de pentes plus faibles sont souvent indiquées par des couleurs plus claires ou des teintes plus proches du blanc, tandis que les pentes plus raides peuvent être représentées par des couleurs plus foncées ou des teintes plus proches du noir. Les contours de niveau peuvent également être utilisés pour visualiser les changements d'altitude et les variations de pente. [21] Une carte de pente du bassin versant de Gargar serait utile pour comprendre la topographie de la région, identifier les zones sujettes à l'érosion et évaluer le potentiel hydroélectrique ou agricole en fonction de la pente du terrain. Elle pourrait également être utilisée dans la planification de l'aménagement du territoire et des mesures de conservation des sols.

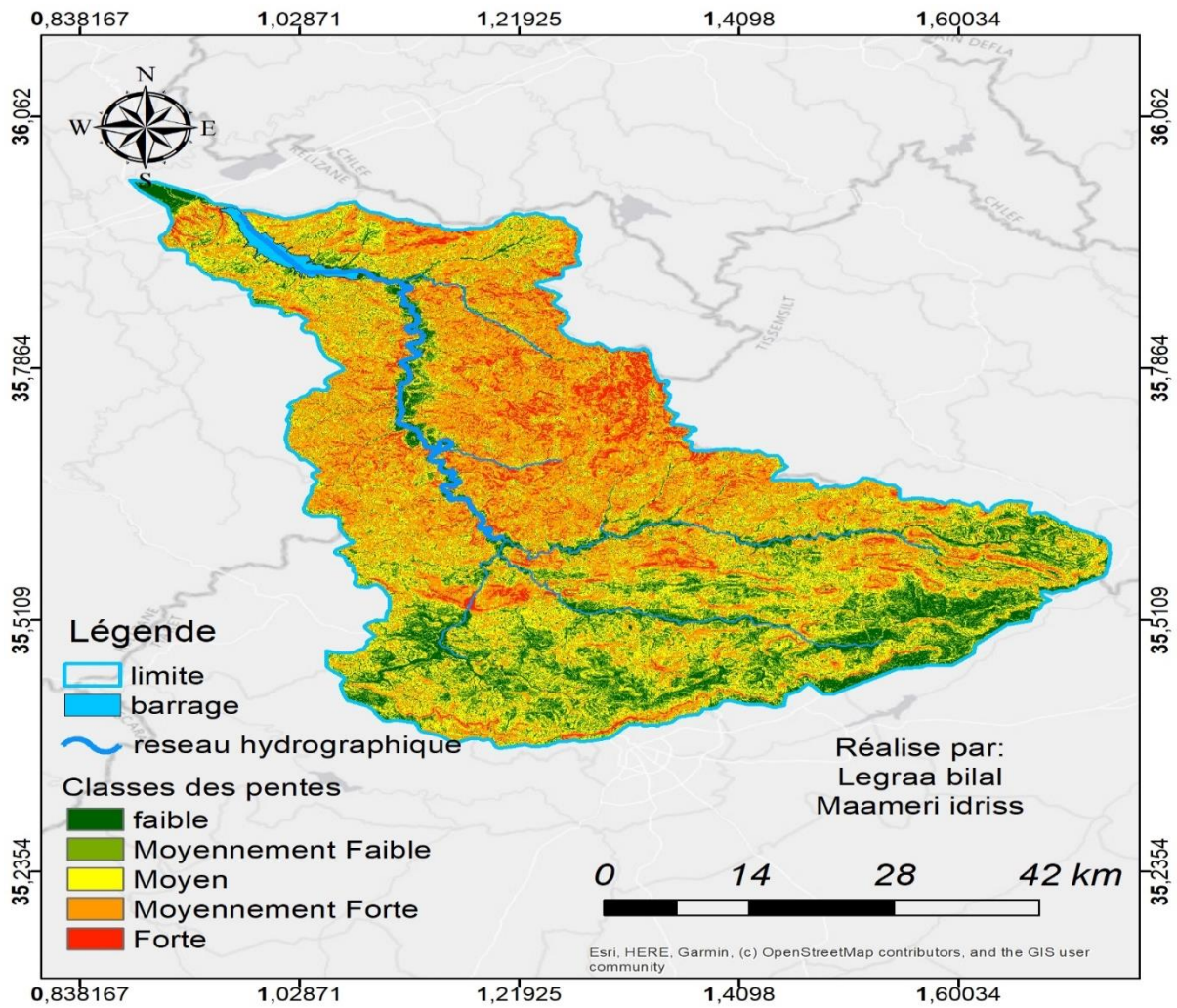


Figure II.8 : Carte de pente du bassin versant du barrage de Gargar.

D. Exposition vers le nord :

La Figure II.7 ci-dessous nous montre l'exposition vers le nord de notre sous bassin versant de l'Oued EL TLETA.

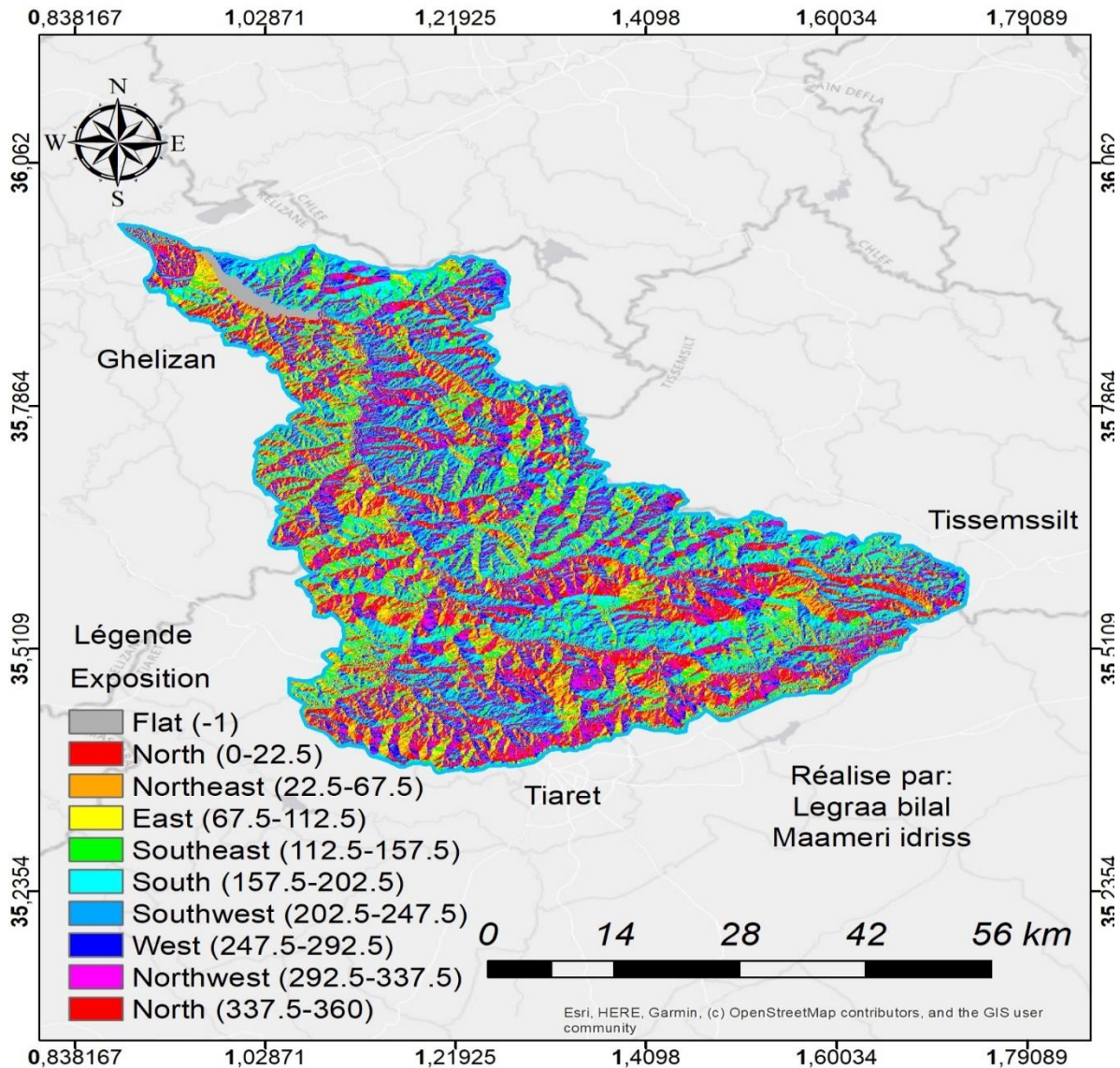


Figure II.9 : Carte d'exposition du bassin versant du bassin versant du barrage de Gargar.

E. Carte de altitudes :

Le bassin versant de Gargar présente une topographie accidentée, avec une variation d'altitude notable du nord au sud. Les altitudes maximale et minimale varient respectivement entre 48 et 1250 mètres.

L'analyse des classes d'altitude du bassin versant révèle que la plus grande proportion de la surface, soit 45,28 %, se situe dans la classe d'altitude de 550 à 850 mètres. En revanche, seule une infime partie de la surface, soit 0,034 %, se trouve dans la classe d'altitude de 1150 à 1250 mètres, concentrée principalement dans la partie extrême du bassin. [21]

D'après la figure II.8, nous pouvons déduire que la partie amont et la partie aval du bassin versant sont caractérisées par des courbes de niveaux espacées, indiquant des pentes relativement douces ou modérées. En revanche, la partie médiane de la zone d'étude est

caractérisée par des courbes de niveaux rapprochées, ce qui suggère des pentes plus raides dans cette région. Cette variation dans la densité des courbes de niveau reflète les différences de relief et de pente à travers le bassin versant.

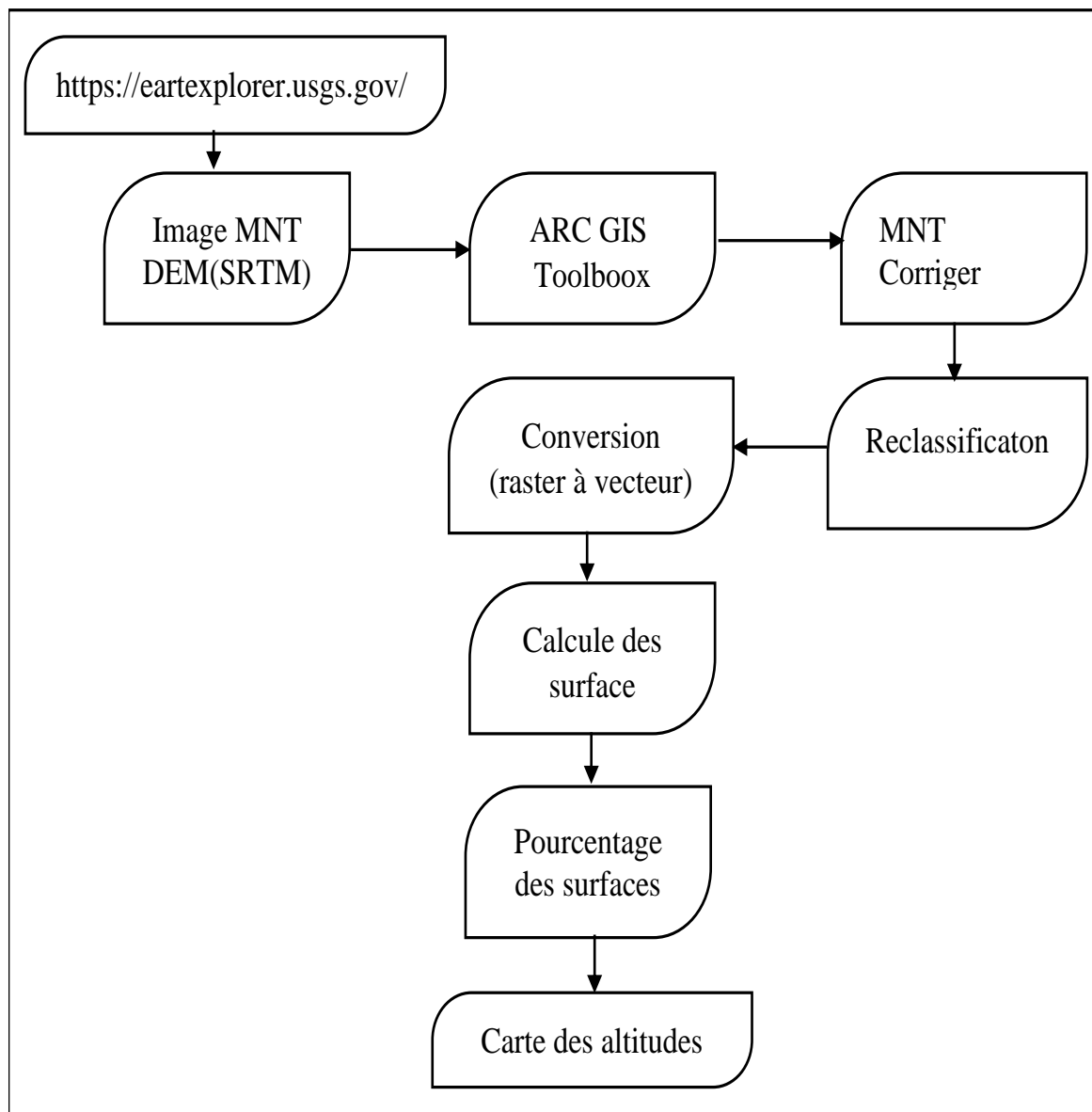


Figure II.10 : Méthodologie de la carte des altitudes.

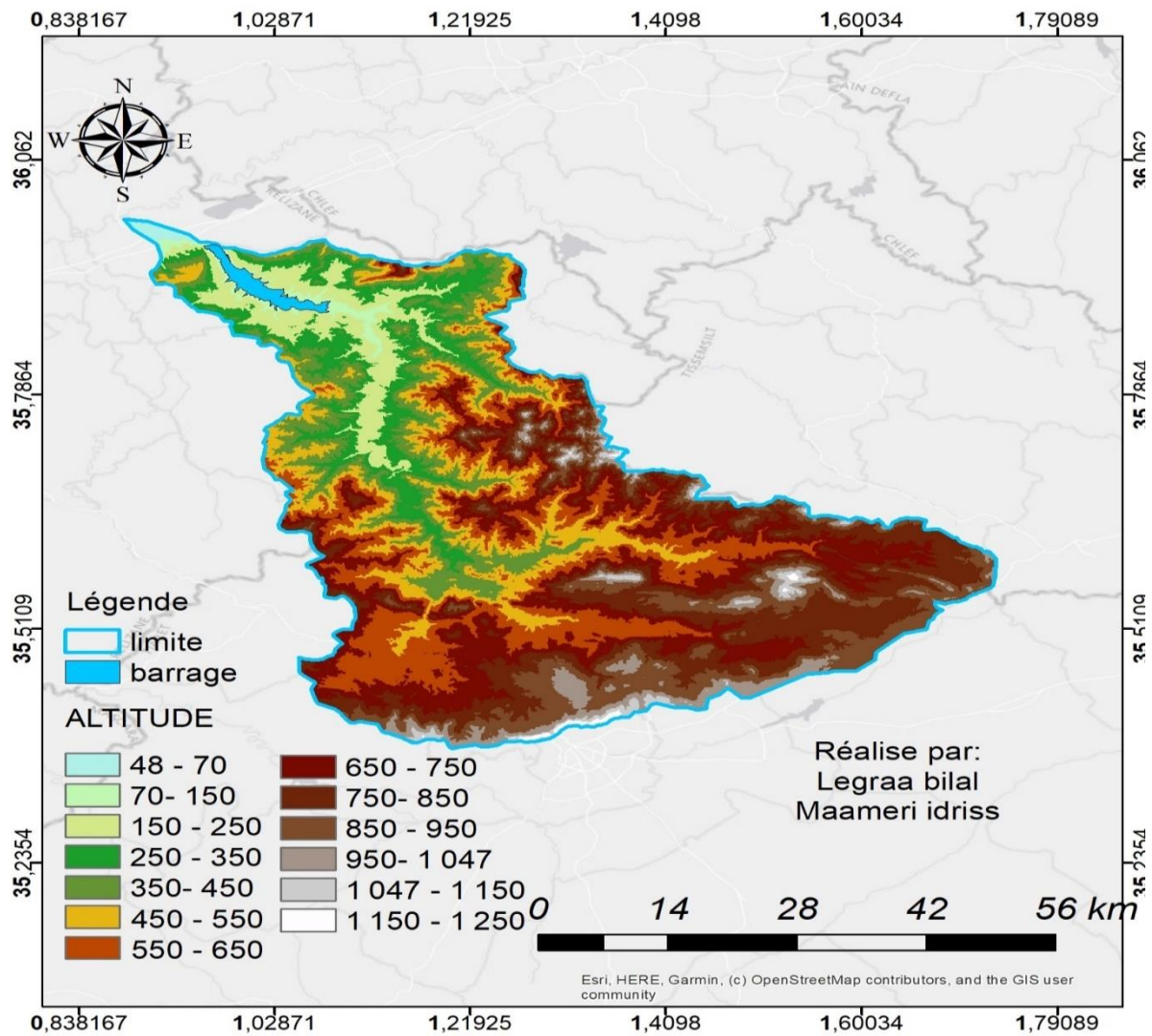


Figure II.11 : Carte des altitudes du bassin versant du barrage de Gargar.

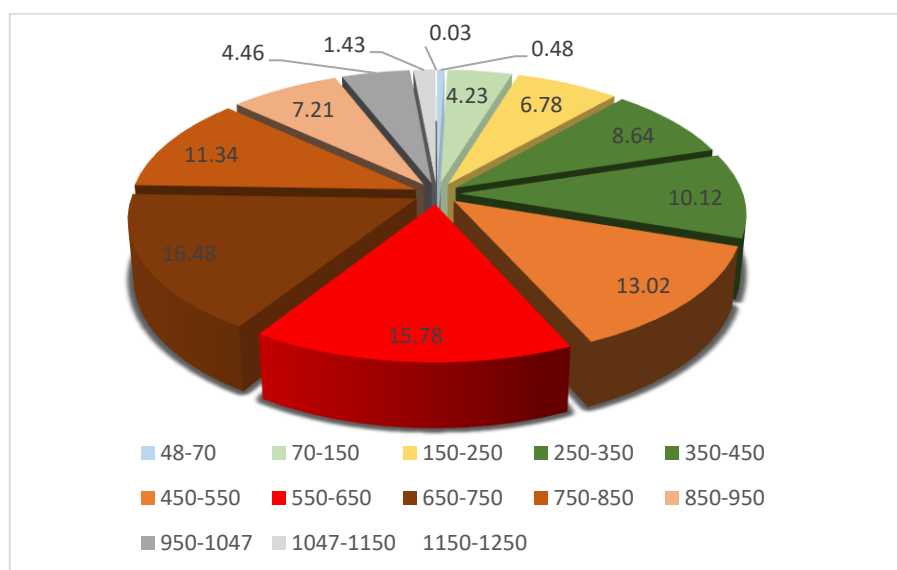


Figure II.12 : Pourcentage de surface.

II.2.2.2. Etude des paramètres du relief :

Les paramètres hydrométéorologiques, tels que les précipitations et les températures, dépendent en partie du relief. La morphologie d'un bassin versant influence la vitesse d'écoulement de l'eau. Le relief peut être analysé à l'aide d'indices et de caractéristiques spécifiques.

A. Indice de compacité « K_c »

Divers indices morphologiques permettent de caractériser un milieu et de comparer différents bassins versants. L'indice de compacité de Gravelius (1914) est l'un de ces indices. Il est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface. [22] Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre et la surface du bassin versant. La formule permettant de calculer l'indice de compacité est la suivante :

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

Avec :

K_c : coefficient de Gravelius ;

A : surface du bassin versant en (km²) ;

P : périmètre du bassin versant en (km).

Selon la valeur de K_c bon peut caractériser la forme du bassin versant comme suit :

- $k_c < 1 \Rightarrow$ bassin de forme ramassée ;
- $k_c = 1 \Rightarrow$ bassin de forme circulaire ;
- $k_c > 1 \Rightarrow$ bassin versant de forme allongée.

Notre bassin avec une valeur de $k_c = 1.70$ présente donc une forme allongée

B. Rectangle équivalent :

Cette méthode consiste à transformer géométriquement le bassin versant en un rectangle de dimensions Lr et La ayant la même surface que le bassin versant réel. [23] Si Lr et La représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors le périmètre du rectangle équivalent est :

$$P = 2(Lr+La)$$

$$A=Lr \cdot La$$

$$\text{Le coefficient de compacité } KC = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

En combinant ces trois relations, on obtient :

$$Lr = \sqrt{A} \frac{KC}{1.128} [1 + \sqrt{1 - (\frac{1.128^2}{KC})}]$$

$$La = \frac{P}{2} - Lr$$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent en (Km).

La : Largeur du rectangle équivalent en (Km).

Kc : Indice de compacité de Gravelius ;

A: Superficie du bassin versant en (Km²).

Après application numérique, les valeurs du rectangle équivalent sont comme suit :

$$L = 111.52 \text{ Km}, La=38.65\text{km}$$

C. Courbe hypsométrique :

L'analyse des courbes hypsométriques permet de comprendre la répartition des altitudes au sein d'un bassin versant. En effet, plus les points d'égaies altitudes sont rapprochés, plus la pente du terrain est forte. À l'inverse, des points d'égaies altitudes éloignés les uns des autres indiquent une pente douce et un relief plus plat.

L'exemple de la courbe hypsométrique du bassin versant du barrage Gargar illustre parfaitement ce concept. On observe une dénivelée importante, avec des altitudes dépassant 1057 mètres pour les terres les plus élevées. Cette déclivité se retrouve également dans les zones situées à 5% et 50% d'altitude, avec des valeurs respectives de 655 mètres et plus. Ces constatations confirment la présence d'un massif montagneux dans la région.

Tableau II.2 : Classes des altitudes du bassin versant Gargar.

Altitude(m)	Surface (km ²)	A (%)	A cumulée (%)
48-70	11.52	0,48	0,48
70-150	102.27	4,23	4,71
150-250	163.78	6,78	11,49
250-350	208.71	8,64	20,13
350-450	244.44	10,12	30,25
450-550	314.59	13,02	43,27
550-650	381.23	15,78	59,05
650-750	398.00	16,48	75,53
750-850	273.90	11,34	86,87
850-950	174.14	7,21	94,08
950-1047	107.77	4,46	98,54
1047-1150	34.44	1,43	99,97
1150-1250	0.83	0,03	100

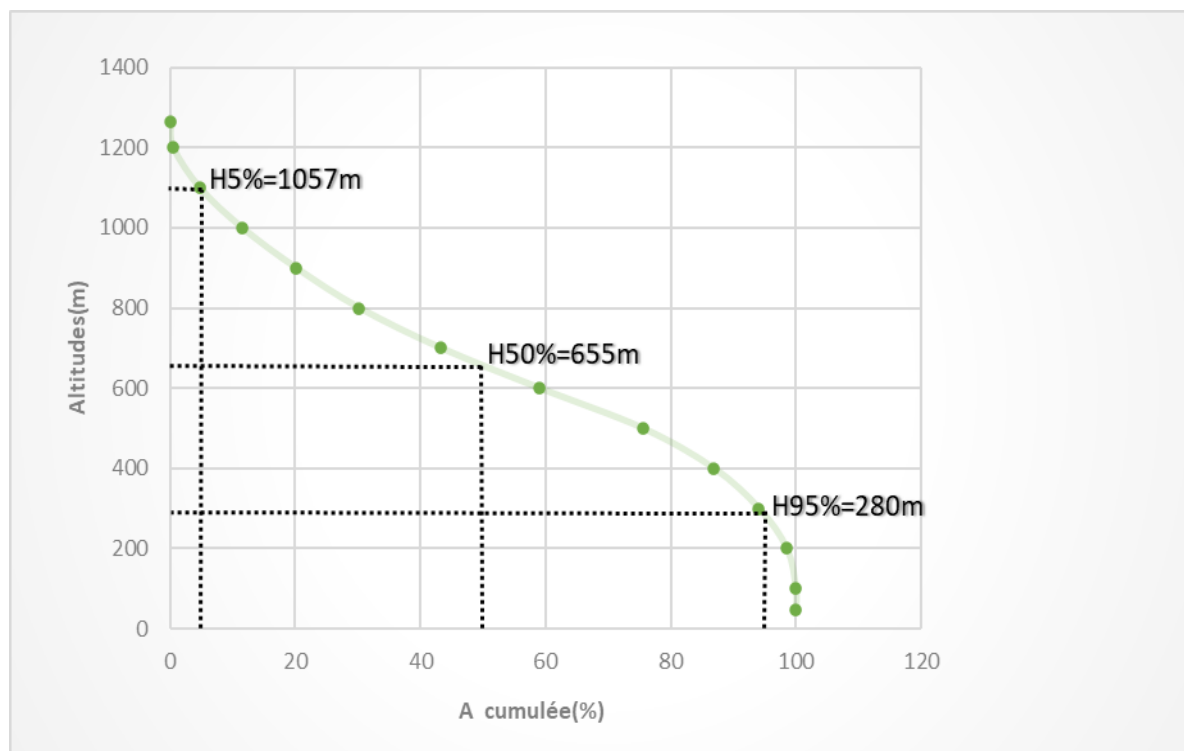


Figure II.13 : Courbe hypsométrique du bassin versant.

Modifications apportées :

- Remplacement de « L'hypsométrie consiste à joindre les points d'égales altitudes » par une phrase plus claire et concise : « L'analyse des courbes hypsométriques permet de comprendre la répartition des altitudes au sein d'un bassin versant. »

D. L'altitude médiane :

Elle correspond à l'altitude liée au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin.

Sur la courbe hypsométrique $H_{50\%} = 655 \text{ m}$

- $H_{5\%} = 1057 \text{ m}$.
- $H_{95\%} = 280 \text{ m}$.
- **L'altitude maximale :** $H(\text{max}) = 1250 \text{ m}$.
- **L'altitude minimale :** $H(\text{min}) = 48 \text{ m}$.

E. Indice de pente globale I_g :

Le paragraphe reformulé est plus clair, concis et informatif. Il explique de manière plus détaillée comment l'analyse des courbes hypsométriques permet de caractériser le relief d'un bassin versant.

Il est déterminé par la formule

$$I_g = \frac{(H_{5\%} - H_{95\%})}{L}$$

Avec :

I_g : Indice de pente globale en (m/Km) ;

L : la longueur du rectangle équivalent [km] ;

$H_{5\%}$: Altitude liée au point d'abscisse 5% de la surface totale du bassin étudié en (m) ;

$H_{95\%}$: Altitude liée au point d'abscisse 95% de la surface totale du bassin étudié en (m).

En appliquant la formule (II.7) on obtient une dénivelée spécifique $I_g = 7.39$.

F. Dénivelée spécifique « D_s »

La dénivelée spécifique est le produit de l'indice de pente global (Ig) par la racine carrée de la superficie du bassin (A) (formule I.6). On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de D_s. Le tableau II.7 présente la classification de l'O.R.S.T.O.M du relief en fonction de la dénivelée spécifique.

$$D_s = I_g \sqrt{A}$$

Avec :

D_s : Dénivelée spécifique en (m).

I_g : Indice de pente globale en (%).

A : Superficie du bassin versant en (km²).

Tableau II.3 : Classification du relief. [24]

R1	Relief très faible	D _s < 10 m
R2	Relief faible	10 m < D _s < 25 m
R3	Relief assez faible	25 m < D _s < 50 m
R4	Relief modéré	50 m < D _s < 100 m
R5	Relief assez fort	100 m < D _s < 250m
R6	Relief fort	250 m < D _s < 500m
R7	Relief très fort	500 m < D _s

En appliquant la formule on obtient une dénivelée spécifique **D_s=364,21(Relief fort)**

II.2.2.3. Synthèse Récapitulative du bassin versant de Gargar:

Le tableau II.4 synthétise les différentes caractéristiques morpo métriques, topographiques et hydrologiques du bassin versant de Gargar.

- **Les caractéristiques générales du bassin versant de gargar :**

Ce tableau résumer les caractéristiques générales du bassin versant de gargar.il couvre les aspects morphométriques (superficie de 2429² km², périmètre de 300.36 km, indice de compacité 1.70), topographiques (altitude max de 1263 m, min de 48 m, moyenne de 745 m) et hydrologiques (densité de drainage de 0.73 km/km², longueur du cours d'eau principal de 67.98 km). Ces informations sont cruciales pour l'analyse environnementale et la gestion des ressources hydriques.

Tableau II.4 : Synthèse des caractéristiques générales du bassin versant de gargar [25]

Type	Paramètres	Symbole	Unité	Valeur
Caractéristiques Morphométriques	Superficie	(A)	Km ²	2429
	Périmètre	(P)	Km	300.36
	Indice de compacité	(K _c)	-	1.70
	Longueur du rectangle équivalent	(L)	Km	111.52
	Largeur du rectangle équivalent	(I)	Km	38.65
Caractéristiques Topographiques	L'altitude max	(H _{max})	m	1263
	Altitude Min	(H _{min})	m	48
	Altitude moyenne	(H _{mov})	m	745
	Altitude Médiane	(H 50%)	m	660
	Altitude 5% de la surface	(H 5%)	m	1100
	Altitude 95% de la surface	(H 95%)	m	285
	Indice de pente globale	(I _g)	%	7.39
Caractéristiques Hydrologiques	Densité de drainage	(D _d)	Km/Km ²	0.73
	Longueur du cours d'eau principal	(L _{cp})	Km	67.98

II.3. Climatologie :

II.3.1. Les précipitations :

• **Régimes annuels**

Basé sur les données collectées à la station du barrage de Gargar, il est observé que la zone d'étude a connu, au cours des dernières décennies, des cycles de sécheresse, dont le plus marqué s'est étendu de 1981/1982 à 2022/2023. Le régime pluviométrique se caractérise par une irrégularité annuelle des précipitations, avec des proportions remarquables d'une année à l'autre. La moyenne annuelle des précipitations pour cette période est de 491mm. [26]

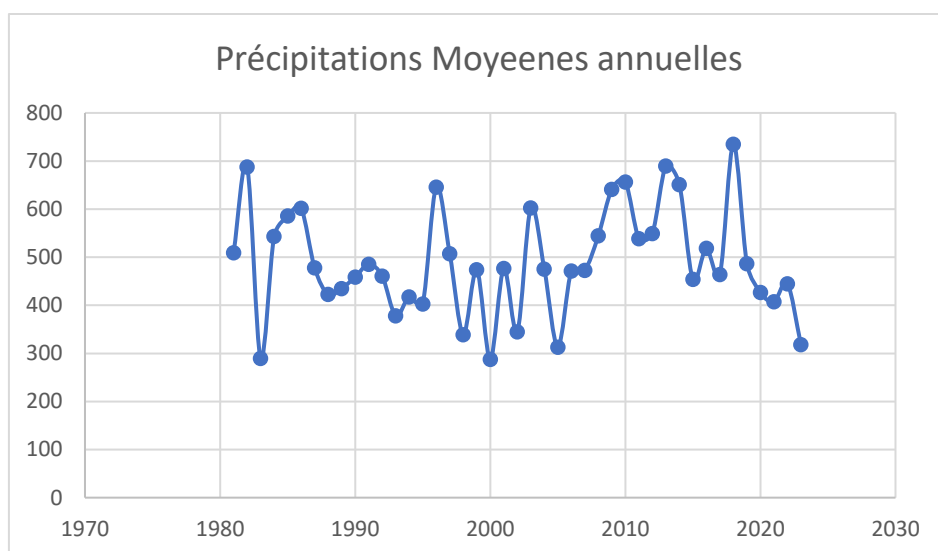


Figure II.14 : Moyennes annuelles des précipitations à la station de Barrage Gargar (1981/1982 – 2022/2023).

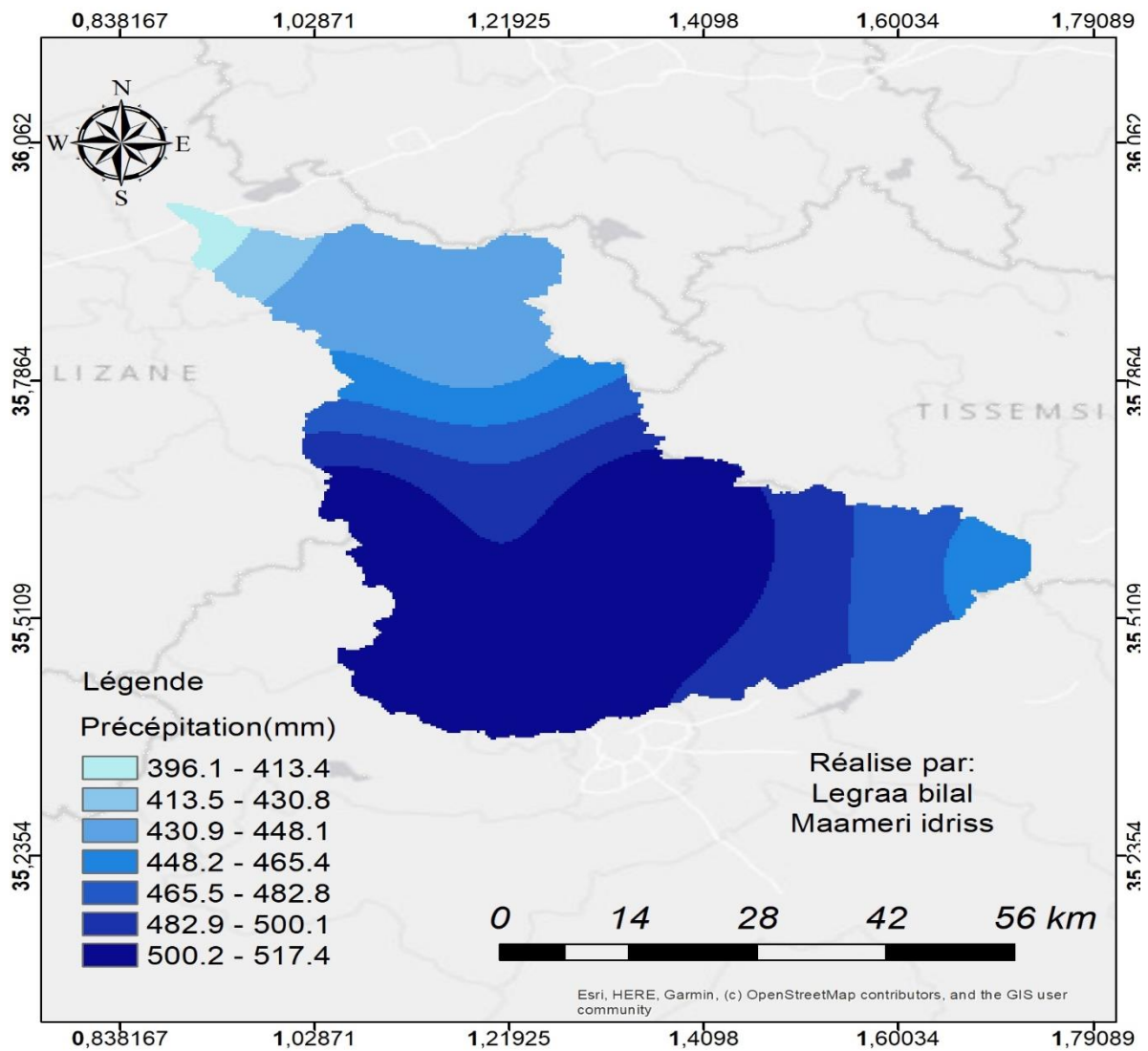


Figure II.15 : Carte de la précipitation du bassin versant du barrage de Gargar.

• Régimes mensuels

Le tableau et la figure suivants décrivent la pluviométrie moyenne mensuelle sur une période de 40 ans (1981/1982-2021/2022) des stations. [27]

Tableau II.5 : Températures mensuelles des station (1981/1982-2021/2022) :

STATION	1	2	3	4	5	6	7
X	1.145	1.7277	1.0641	1.3614	1.1842	1.2333	0.8687
Y	35.3338	35.5602	35.6032	35.6155	35.8585	35.9636	36.0014
MOIS	MOY (mm)						
JAN	74.76	65.94	74.76	74.76	58.85	58.85	49.60
FEB	70.23	61.03	70.23	70.23	57.11	57.11	48.45
MAR	65.35	59.45	65.35	65.35	53.50	53.50	48.25
APR	58.00	54.90	58.00	58.00	54.50	54.50	47.11
MAY	38.80	36.27	38.80	38.80	32.47	32.47	29.71
JUN	12.51	12.89	12.51	12.51	8.14	8.14	7.92
JUL	3.97	3.85	3.97	3.97	1.94	1.94	1.95
AUG	8.94	8.70	8.94	8.94	6.88	6.88	6.44
SEP	23.25	23.27	23.25	23.25	22.51	22.51	20.28
OCT	32.90	30.76	32.90	32.90	38.91	38.91	34.85
NOV	63.61	56.65	63.61	63.61	66.67	66.67	59.26
DEC	65.12	57.73	65.12	65.12	48.79	48.79	42.25
ANN	517.45	471.44	517.45	517.45	450.26	450.26	396.10

• Régimes saisonniers

La répartition saisonnière de la pluie au niveau des station est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.6 : Variation saisonnières des précipitations :

Station	Répartition saisonnière des pluies (mm).			
	Automne	Hiver	Printemps	Eté
1	119,76	210,11	161,65	25,42
2	110,68	184,7	150,62	25,44
3	119,76	210,11	161,65	25,42
4	119,76	210,11	161,65	25,42
5	128,09	164,75	139,97	16,96
6	128,09	164,75	139,97	16,96
7	114,39	140,3	125,07	16,31

II.3.2. Température :

La température est un paramètre crucial influençant la vie et le développement de la végétation. Deux mesures sont particulièrement importantes : la température minimale du mois le plus froid et la température maximale du mois le plus chaud. Ces extrêmes, ainsi que la température moyenne, fournissent des indications essentielles sur le climat local et ses impacts sur l'écosystème. [28]

Importance de la Température :

Température minimale du mois le plus froid : Cette mesure est essentielle pour déterminer la résistance des plantes aux conditions hivernales. Les espèces végétales ont des seuils de tolérance au froid, et une température trop basse peut endommager ou tuer certaines plantes.
 Température maximale du mois le plus chaud : Cette mesure est critique pour évaluer la tolérance des plantes à la chaleur. Des températures excessivement élevées peuvent provoquer le stress thermique, affecter la photosynthèse et réduire la croissance des plantes.

Température moyenne :

La température moyenne annuelle ou mensuelle est également un indicateur important du climat d'une région. Elle influence la saison de croissance, les cycles de reproduction des plantes, et la disponibilité de l'eau.

Tableau II.7 : Températures mensuelles de la station de Barrage Gargar (1994/1995-2019/2020).

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUI	AOU
M(°C)	29.20	27.60	23.70	15.50	15.20	15.90	19.70	21.45	26.23	36.40	34.73	39.10
m(°C)	22.12	20.40	13.81	11.79	11.10	9.90	13.80	15.80	20.35	25.83	29.40	29.10
(M+m/2)	25.66	24.00	18.76	13.65	13.15	12.90	16.75	18.63	23.29	31.12	32.06	34.10
(M-m)	7.08	7.20	9.89	3.71	4.10	6.00	5.90	5.65	5.88	10.57	5.33	10.00

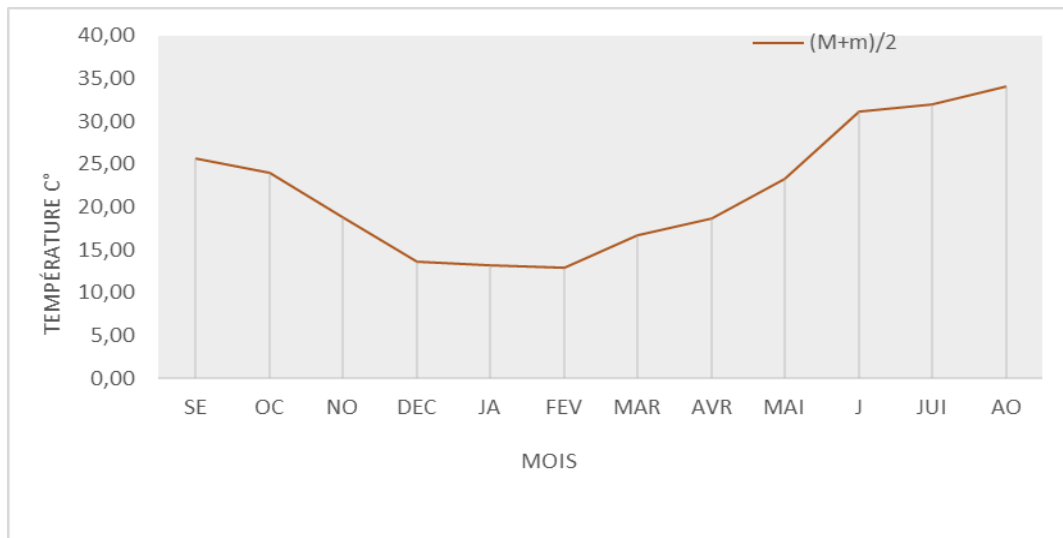


Figure II.16 : Courbe des températures moyennes mensuelles à la station de Barrage Gargar (1994/1995-2019/2020).

Méthodologie de présentation de la zone d'étude :

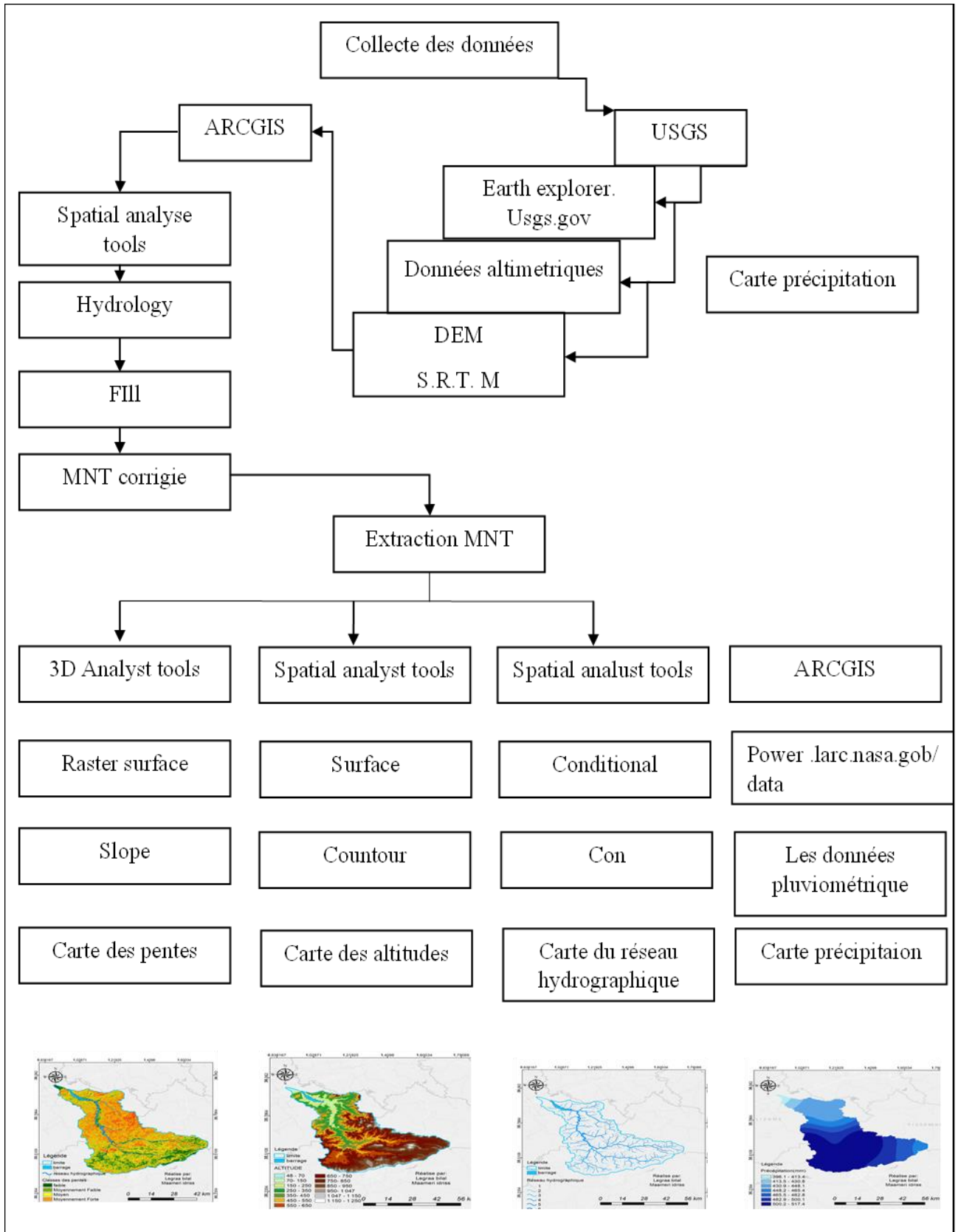


Figure II.17 : Diagramme adapter pour la présentation de la zone d'étude.

II.4. Vue générale sur Barrage gargar :

Le barrage de Gargar est situé dans la wilaya de Relizane, a 5 km au Sud- Ouest de la ville de oued Rhiou et a peu près à 3 km en amont du pont de la route nationale W 4 sur l'oued Rhiou avec un climat semi-aride. En effet, le barrage de Gargar a été implanté sur un substratum constitué de terrains miocènes qui sont, de bas en haut essentiellement gréseux et marneux, et calcaire. Les roches meubles existantes dans la région du site sont divers et comprennent des éboulis graveleux, couche d'altération sableuse et argileuse du terrain des alluvions, vases récentes, calcaires. [29]



Photos.II.1. Vue générale du barrage Algérien de Gargar.

(Photos. Maameri I,Legraa B,13 /05/2024).

II.4.1. Retenue du barrage :

La retenue du barrage de Gargar a été créée avec une capacité totale de $450 \times 10^6 \text{ m}^3$ jusqu'à la cote normale de retenue, qui est de 118 mètres. Cette retenue exploite le débit hautement saisonnier de l'Oued Rhiou, avec un apport annuel moyen au site du barrage de $185 \times 10^6 \text{ m}^3$. La régularisation annuelle de la retenue, garantie quatre années sur cinq, est de $120 \times 10^6 \text{ m}^3$. Cette retenue est principalement utilisée pour les besoins en eau d'irrigation sur 16 000 hectares dans la plaine du Bas Chélif en aval de l'emplacement du barrage, et accessoirement pour l'alimentation en eau de diverses communautés locales.

De plus, un projet de centrale hydroélectrique est en cours pour être installée au pied du barrage. Les études pour la réalisation de cette centrale, gérées par la Société Nationale de l'Electricité et du Gaz (SONELGAZ), ont adopté des solutions adéquates pour assurer l'imbrication de la

centrale avec les ouvrages des systèmes de sortie de la galerie de vidange. Cette centrale hydroélectrique permettra de valoriser l'énergie hydraulique disponible dans la retenue, contribuant ainsi à la production d'électricité tout en optimisant l'utilisation des ressources en eau dans la région. [26]



Photos.II.I.2. Vue générale de la digue du barrage Algérien de Gargar.

(Photos. Maameri I,Legraa B,13 /05/2024).

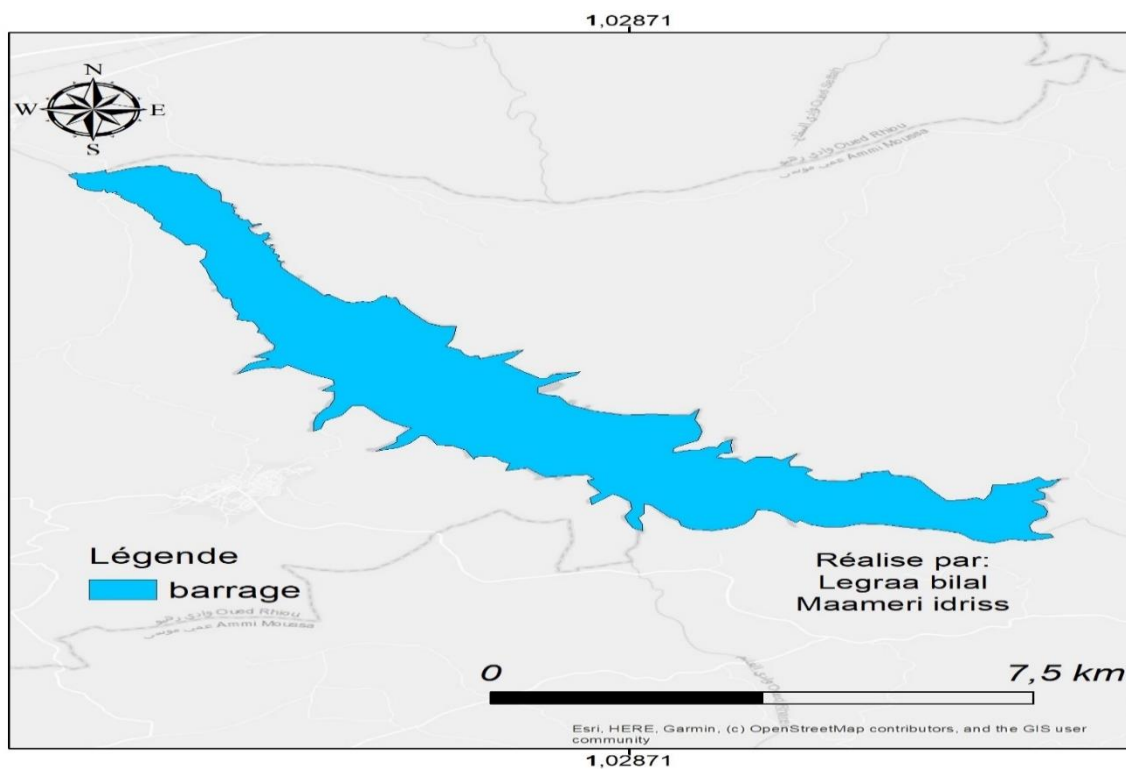


Figure II.18 : Carte de réservoir du Barrage de Gargar.

Conclusion :

L'analyse de la région du barrage de Gargar étudiée nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

Localisation : Le barrage de Gargar est situé dans la wilaya de Relizane, à environ 5 km au sud-ouest de la ville de Oued Rhiou et à environ 3 km en amont du pont de la Route Nationale W 4 sur l'Oued Rhiou.

Climat : La région bénéficie d'un climat semi-aride, caractérisé par des précipitations limitées et des températures élevées en été.

Géologie : Le barrage de Gargar a été implanté sur un substratum constitué de terrains miocènes, qui comprennent principalement, du bas vers le haut, des couches gréseuses, marneuses, et calcaires.

Nature des roches et des sols : Les roches meubles existantes dans la région comprennent une variété de matériaux tels que des éboulis graveleux, des couches d'altération sableuse et argileuse provenant des terrains alluvionnaires. On y trouve également des vases récentes et des formations calcaires.

Ces caractéristiques géologiques et climatiques ont des implications importantes pour la gestion de l'eau, l'agriculture, et la végétation dans la région environnante du barrage de Gargar.

Chapitre III :

**Cartographie De L'érosion
Hydrique Par L'utilisation
Du Modèle PAP/CAR Et Des
outils SIG**

Introduction :

L'érosion des sols représente une préoccupation environnementale majeure dans les régions semi-arides d'Algérie, notamment dans le bassin versant de Gargar. Les caractéristiques de l'érosion et de l'utilisation des sols y sont très diversifiées en raison des conditions topographiques, lithologiques, morphologiques et climatiques spécifiques. La dégradation des sols engendre dans ce bassin versant des problèmes socio-économiques et environnementaux négatifs importants. Sur le plan économique, les pertes liées à la destruction des infrastructures routières, des ouvrages d'art et à la diminution de la productivité agricole sont estimées à des milliards de dinars algériens. Sur le plan humain, la situation dans les zones rurales est critique, entraînant un appauvrissement des populations et leur migration. D'un point de vue écologique, la dégradation des milieux se traduit par une baisse de la biodiversité et de la productivité forestière.

La problématique de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Gargar résulte de la conjonction de facteurs naturels, tels que la nature friable des formations géologiques et l'accentuation des pentes, ainsi que d'une forte pression anthropique. Cette situation a engendré le développement de diverses formes d'érosion, avec des conséquences très graves.

Pour résoudre le problème d'érosion hydrique dans le bassin versant de Gargar, on applique la méthode PAP/CAR (Programme d'Activité Prioritaire / Centre d'Activités Régionales) pour cartographier le risque d'érosion. [30] Cette méthode fait appel aux outils de télédétection et de systèmes d'information géographique (SIG) permettant de modéliser et de spatialiser l'érosion hydrique de manière rentable.

Par ailleurs, la modélisation de l'érosion hydrique dans ce bassin versant a également été réalisée à l'aide du modèle RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). Ce modèle empirique prend en compte les principaux facteurs influençant l'érosion, tels que l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols, la topographie, la couverture végétale et les pratiques de conservation des sols. L'application du modèle RUSLE, [31] couplée à l'utilisation des SIG, a permis d'évaluer les taux d'érosion à l'échelle du bassin versant de Gargar et d'identifier les zones les plus vulnérables. Ces résultats constituent des éléments essentiels pour la mise en place de stratégies de gestion durable des ressources naturelles dans cette région.

III.A. Modèle PAP/CAR :**III.A.1. Définition de La Méthode PAP/CAR :**

La diversité de méthodologies et de démarches, bien souvent peu comparables les unes avec les autres étaient utilisées pour cartographier et mesurer les processus d'érosion dans les zones côtières méditerranéennes. C'est pourquoi la nécessité a été ressentie de développer une méthodologie consolidée et de la tester à travers des études de cas avant de la proposer pour usage général. C'est dans cet objectif que le projet de coopération entre le Centre d'Activités Régionales pour le Programme d'Actions Prioritaires (PAP/CAR) et le Plan d'action pour la Méditerranée (PNUE), en collaboration avec la Direction Générale de la Conservation de la Nature (DGCONA) du ministère espagnol de l'Environnement et la Division de la mise en valeur des terres et des eaux (AGL) a été mis en œuvre pour développer une méthodologie consolidée. Cette méthodologie a été testée et appliquée à travers des études de cas en Espagne, en Tunisie et en Turquie. A partir des résultats obtenus, une méthodologie de cartographie des états érosifs. La version finale de ce projet de coopération a été préparée sur la base des recommandations et suggestions réalisés en 1998. La version finale été pris comme guide.

L'approche prédictive (modèle PAP/CAR) consiste, d'une part, à intégrer les principaux facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique qui sont la topographie, la lithologie et le couvert végétal, dans le but de réaliser une carte des états de l'érosion potentielle, Elle aboutit à la cartographie d'unités homogènes des états érosifs. Les paramètres spécifiques pris en compte pour la réalisation de la carte des états érosifs sont l'érodibilité des sols et la protection du sol par le couvert végétal.[32]

L'organigramme (figure III-1) montre la description générale de la méthodologie pour la prédiction de l'érosion selon (PAP/CAR). Le produit de cette étape est la cartographie des états érosifs qui fournissant le potentiel et les tendances générales de l'érosion. Les résultats sont obtenus grâce à un traitement de données selon une séquence de 7 opérations différentes :

Opérations 1 et 2 : Elaboration des cartes des classes de pentes et de litho-faciès

L'établissement et la classification de la carte des pentes de la zone d'étude sont basés sur l'utilisation de SIG à partir d'un MNT de 30 m de résolution (USGS, 2024). La carte des lithofaciès est préparée à partir des données géologiques. Cette carte permet d'identifier les différents types de roches ou de sédiments/sols de surface, classés selon leur degré relatif de cohésion et de résistance mécanique et technique à l'érosion.[32]

Opération 3 : Carte d'érodibilité

La carte d'érodibilité est le résultat de la superposition de la carte des pentes et de la carte des lithofaciès.

Opérations 4 et 5 : Cartes d'occupation du sol et de couvert végétal

La carte d'occupation des sols (PAP/CAR) a été réalisée à partir d'une exploitation des données de télédétection (images satellitaires Landsat 8) téléchargées à l'USGS en 2024. Elle a subi une classification supervisée avec les logiciels ERDAS et ENVI. La carte de la densité de couvert végétal a été réalisée par le calcul de l'indice normalisé de végétation (NDVI) et leur classement a été réalisé sur la base des pourcentages et des recommandations de (PAP/CAR).

Opération 6 : Carte de protection des sols

La carte de degrés de protection des sols est obtenue grâce à l'application et un assemblage entre la carte d'occupation des sols et de la densité de couvert végétal.[33]

Opération 7 : Carte des états érosifs

La carte des états érosifs est le produit final de la cartographie prédictive d'érosion selon (PAP/CAR), résultant de la superposition de la carte d'érodibilité et de la carte des degrés de protection des sols.[32]

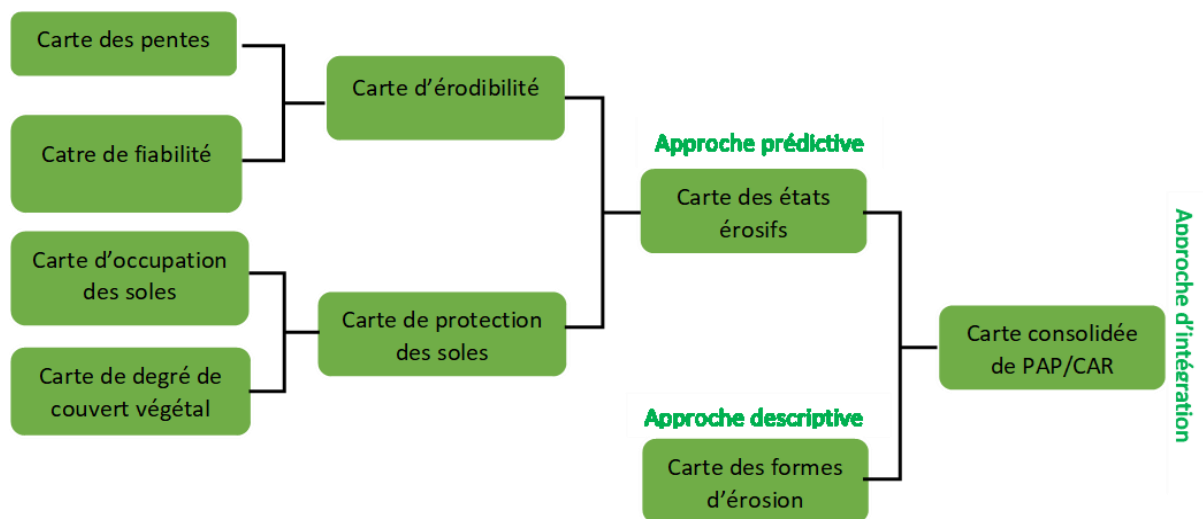


Figure III-1. Organigramme des étapes utilisées dans le modèle PAP / CAR

III.A.2. Caractéristiques Géologiques :

• **Carte géologique :**

Le bassin versant de Gargar, situé en Algérie, présente une géologie variée qui influence fortement les processus hydrologiques et les dynamiques d'érosion dans la région. Une carte géologique de ce bassin versant est un outil essentiel pour comprendre la répartition des différentes formations rocheuses et les processus géologiques en cours.[34]

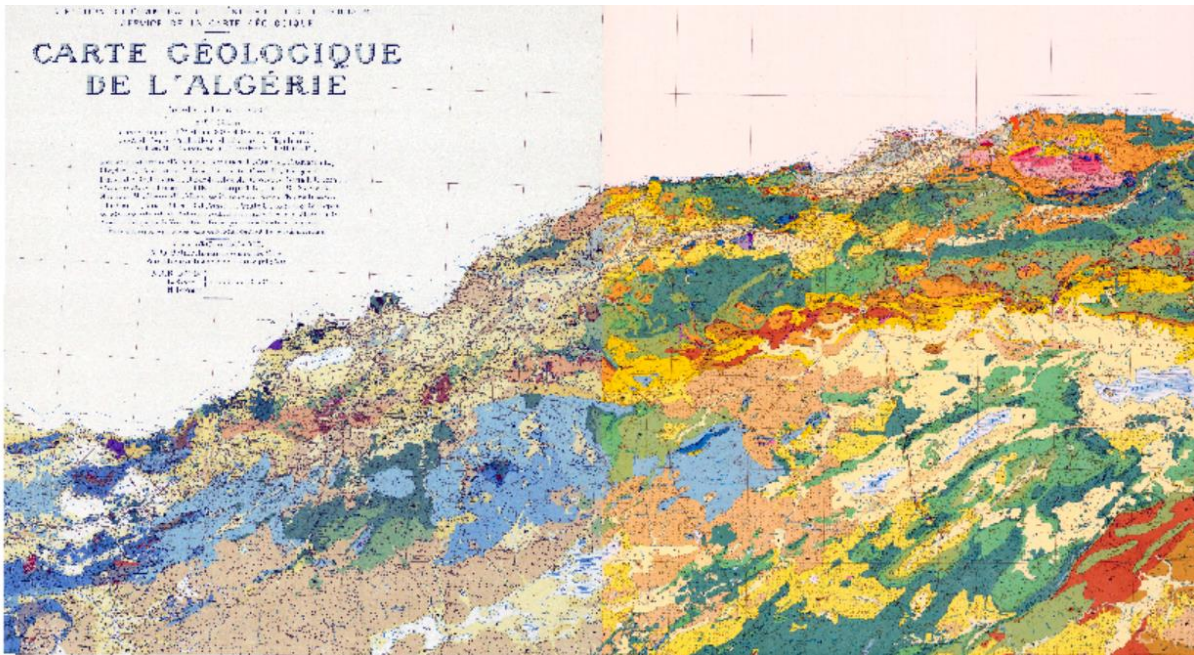


Figure III.A.2 : Carte géologique de Nord d'Algérie.

• **Lithologie :**

-Formations Sédimentaires : Les roches sédimentaires, telles que les calcaires, les grès et les schistes, sont prédominantes dans certaines parties du bassin. Ces formations sont généralement caractérisées par des strates bien définies et une variabilité dans leur composition et leur dureté.[35]

-Formations Métamorphiques : Présence de roches métamorphiques comme les marbres et les quartzites, résultant de la transformation de roches sédimentaires ou ignées sous l'effet de la pression et de la température.

-Formations Ignées : Les roches ignées, telles que les basaltes et les granites, sont également présentes, formant des intrusions et des couches volcaniques.

- **Structure Géologique :**

-Failles et Fractures : Le bassin est traversé par plusieurs failles et fractures, résultant de l'activité tectonique. Ces structures influencent la circulation de l'eau souterraine et peuvent être des zones de faiblesse facilitant l'érosion.[36]

-Plis : Les plis géologiques, résultant de la compression tectonique, sont visibles dans certaines formations rocheuses, indiquant les mouvements tectoniques passés.

- **Relief et Topographie :**

-Pentes : La topographie du bassin est variée avec des zones de pentes abruptes qui favorisent le ruissellement rapide et l'érosion.

-Vallées et Plateaux : Le bassin comprend des vallées encaissées et des plateaux, créant une diversité de microenvironnements.

- **Influence sur l'Hydrologie et l'Érosion**

Hydrologie : La géologie du bassin versant influence fortement le régime hydrologique, affectant l'infiltration, le ruissellement et la disponibilité de l'eau souterraine. Les formations perméables comme les calcaires favorisent l'infiltration, tandis que les roches imperméables comme les argiles entraînent un ruissellement de surface important.[37]

Érosion : Les types de roches et la structure géologique déterminent les zones sensibles à l'érosion. Les roches tendres comme les schistes sont plus susceptibles à l'érosion, tandis que les roches dures comme les granites sont plus résistantes.

- **Applications de la Carte Géologique**

Gestion des Ressources en Eau : Identification des aquifères et des zones de recharge pour la gestion durable des ressources en eau.

Aménagement du Territoire : Planification des infrastructures en tenant compte des zones à risque géologique et hydrologique.[38]

Conservation des Sols : Développement de stratégies pour prévenir l'érosion et protéger les sols.

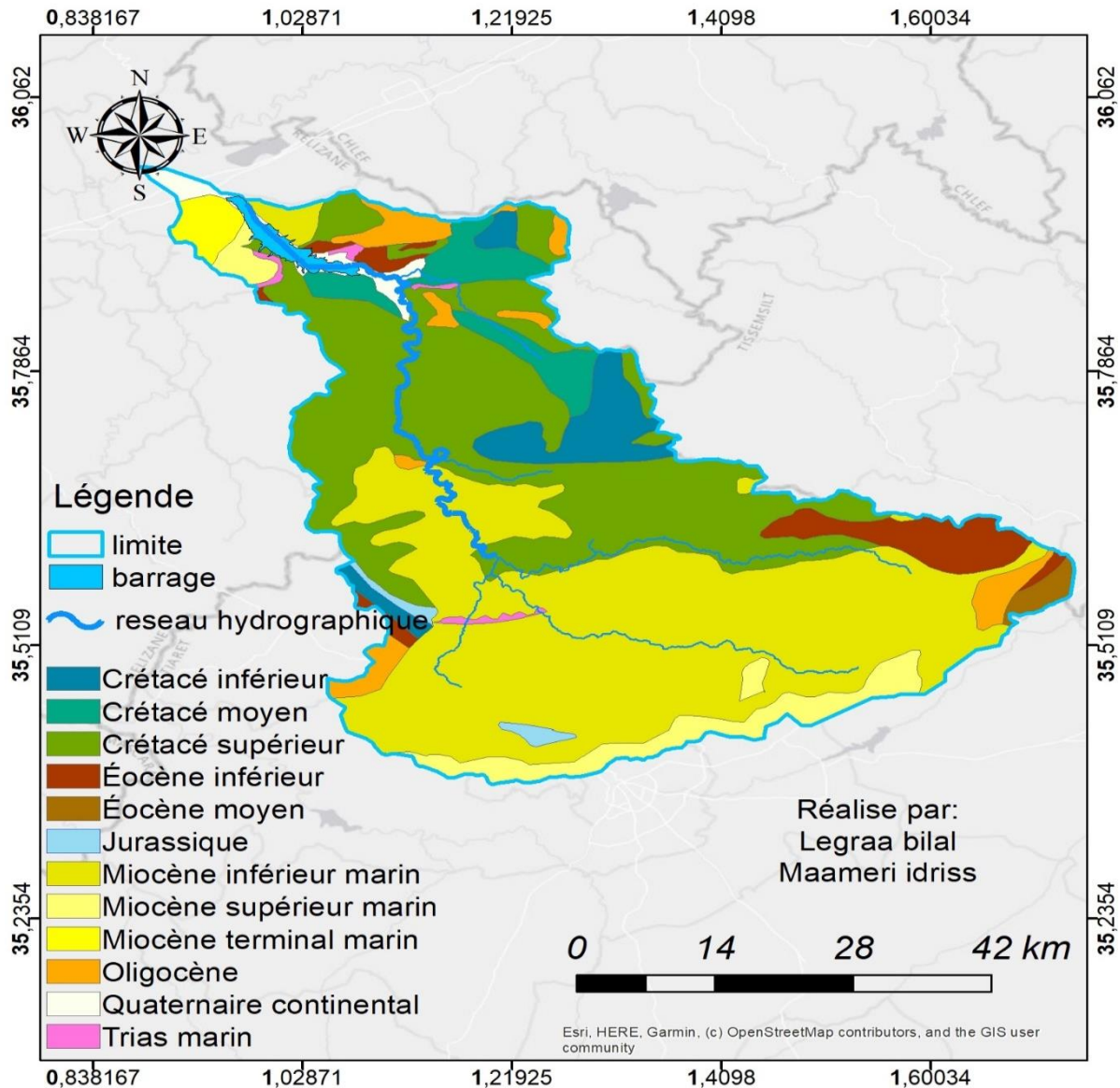


Figure III.A.3 : Carte géologique du bassin versant du barrage de Gargar.

III.A.3. Approche prédictive :

Elle consiste à identifier, évaluer et intégrer tous les paramètres fondamentaux pour déterminer des hypothèses préliminaires, ainsi que d'obtenir des informations sur l'état actuel de dégradation des terres sur la base de degré d'influence de différents facteurs qui contrôlent l'érosion (Lithologie, pente, utilisation des terres, protection des sols...).

Elle aboutit à la cartographie des unités homogènes des états érosifs, fournissant le canevas pour la cartographie du potentiel et des tendances générales.[32]

3.1. Carte des pentes :

La délimitation de tous les thalwegs identifiables sur la base de la carte topographique de référence ou courbes de niveau de la carte topographique, la réalisation d'un modèle numérique de terrain (MNT), l'élaboration de la carte des pentes à partir de l'MNT réalisée.

Tableau III.A.1 : Classification des paramètres de l'approche prédictive selon PAP/CAR (1998).

Pente			Résistance		
Classes	Inclinaison	Degré	Classes		
1	Faible	(0-3%)	Très faible		
2	Moyennement faible	(3%-12%)	Faible		
3	Moyenne	(12-%20%)	Moyenne		
4	Moyennement forte	(20%-35%)	Forte		
5	Forte	(>35%)	Très forte		

Occupation du sol			Degré de couvert végétal		
Classes	Protection	Type de couverture	Classes	Protection	Degré de couvert végétal
1	Très faible	Végétation	1	Faible	<25%
2	Faible	Zone bâtie	2	Moyenne	25%-50%
3	Moyenne	Eau	3	Forte	50%-75%
4	Fort	Sol nu	4	Extrême	>75%
5	Très forte	Culture			
6	Extrême	Arbre			
7	Très extrême	Naige			

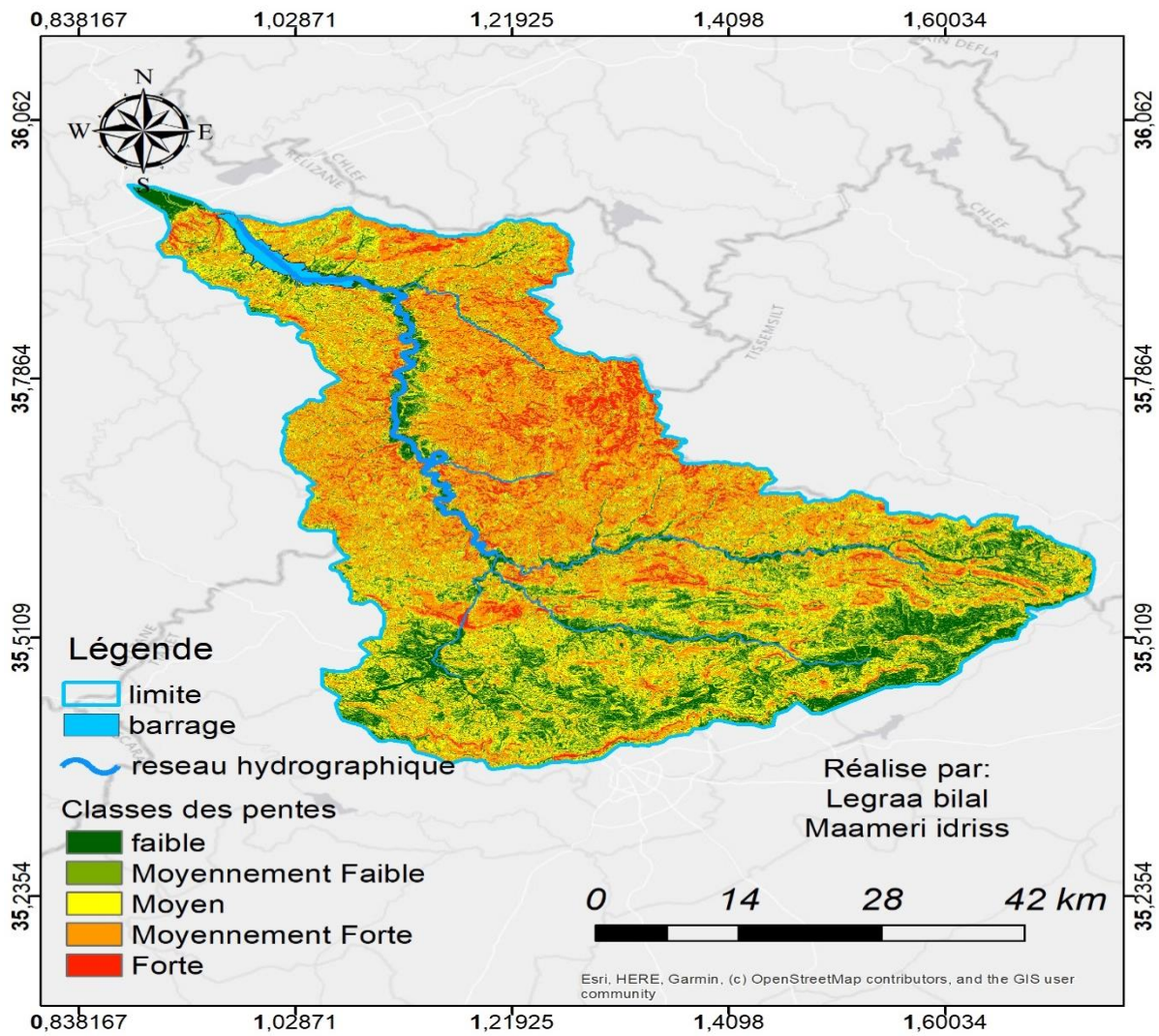


Figure III.A.4 : Carte des pentes du bassin versant du barrage de Gargar.

3.2. Catre de friabilité :

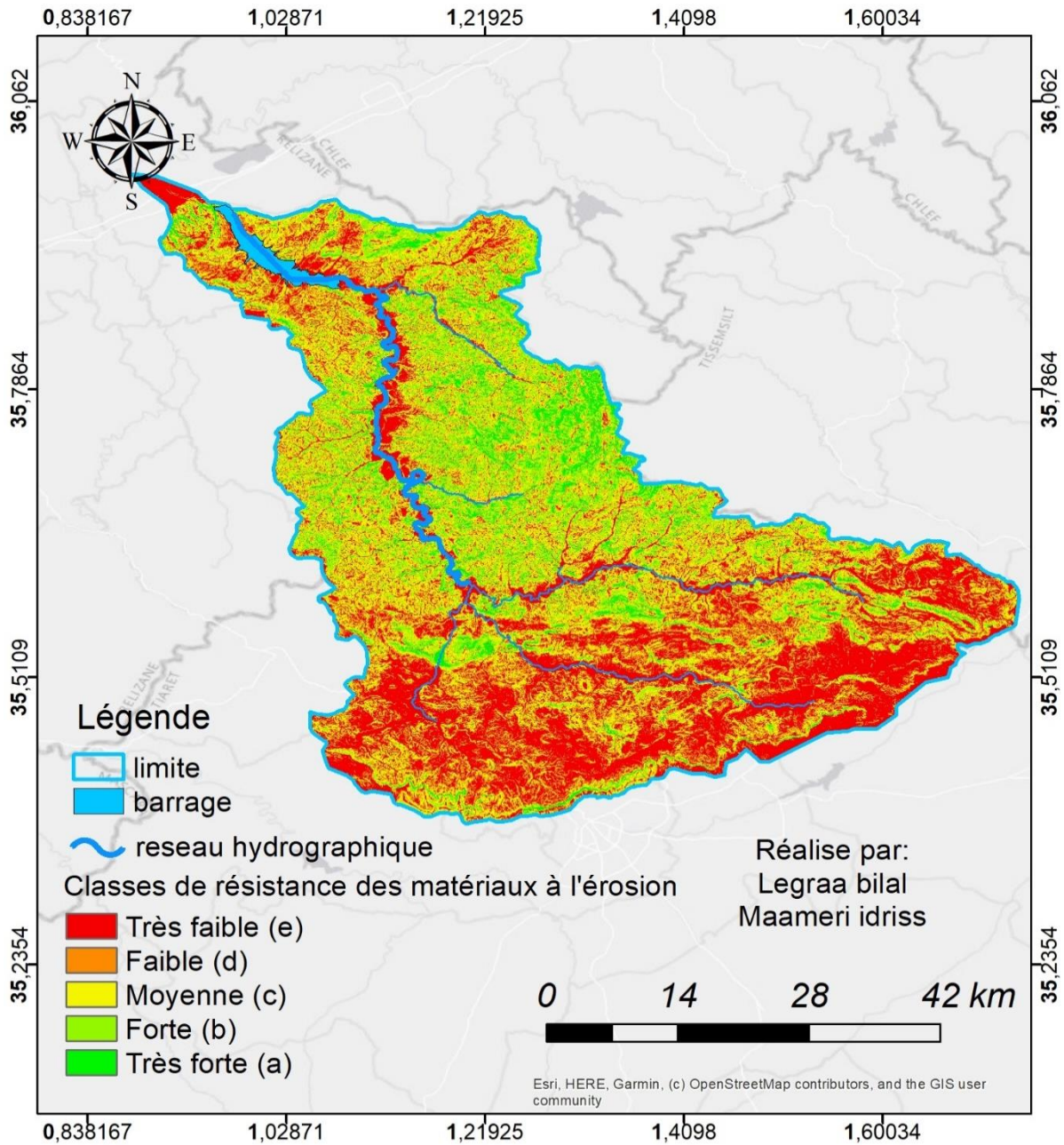


Figure III.A.5 : Carte du degré de résistance du bassin versant du barrage de Gargar.

3.3. Carte d'occupation des sols :

Elle est identifiée au moyen de la photo-interprétation (Google Earth Pro ou TerraIncognita), ensuite transférée à la carte du sous bassin.

Plusieurs occupations des sols coexistent dans le bassin versant de Gargar

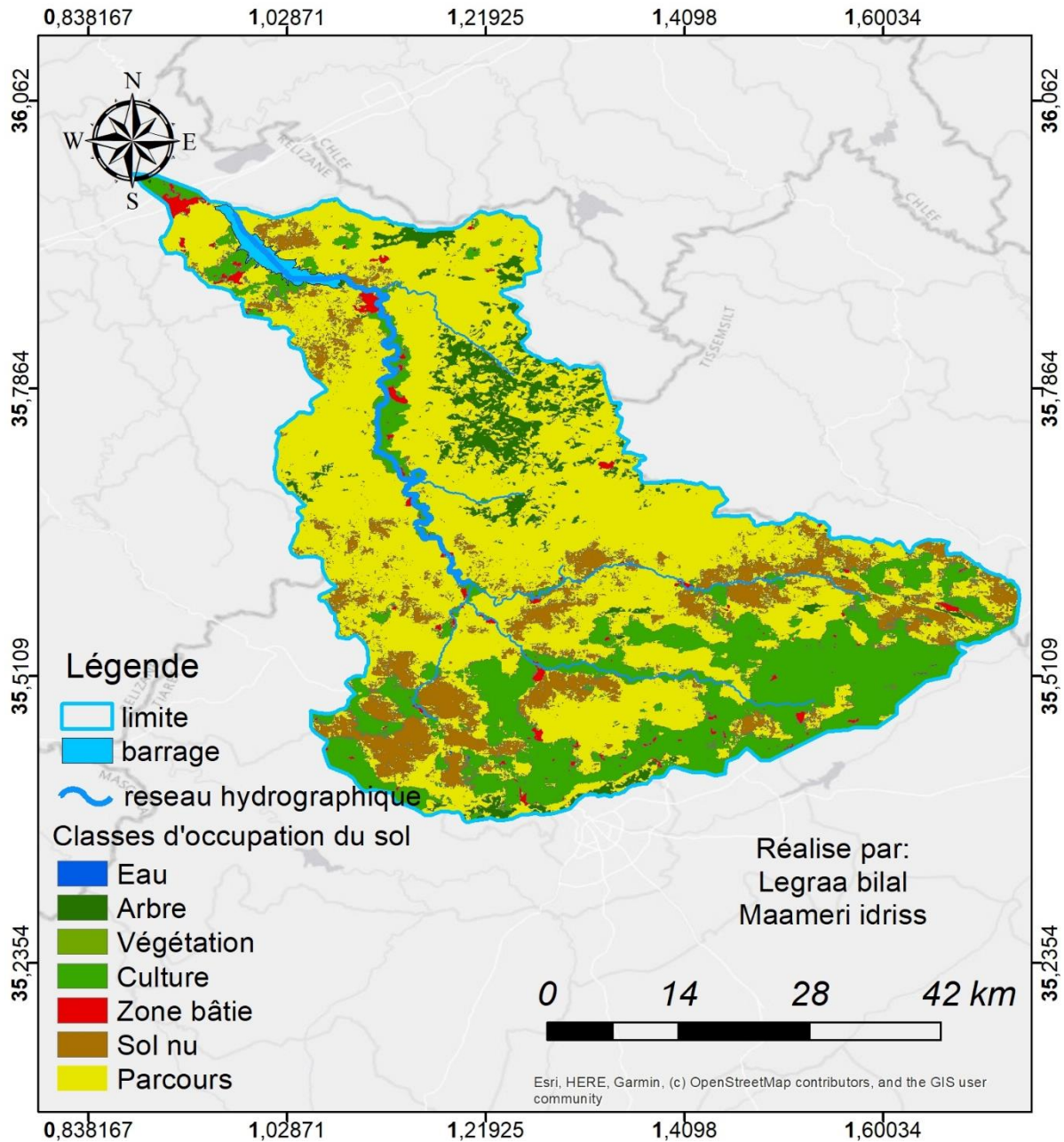


Figure III.A.6 : Carte de d'occupation des sols du bassin versant du barrage de Gargar.

3.4 Carte de degré de couvert végétal :

La réalisation de cette carte, intègre une classification basée sur l'observation directe des catégories d'utilisation des terres.

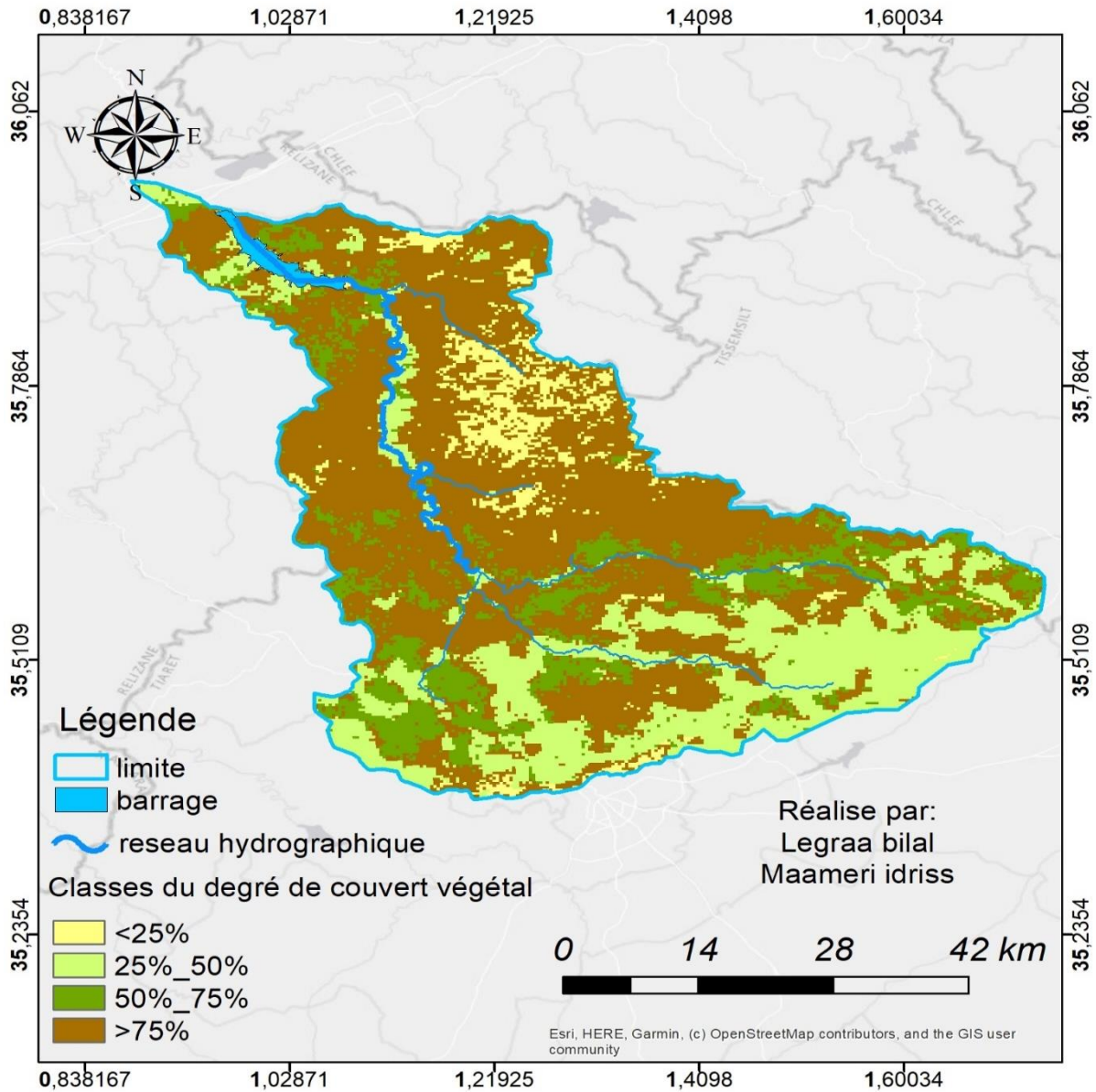


Figure III.A.7: Carte de degré de couvert végétal du bassin versant du barrage de Gargar.

3.5. Carte d'érodibilité :

C'est le résultat de la superposition de la carte des pentes et celle des Sols.

Les polygones résultant de la superposition des deux cartes de référence sont classés suivant la matrice d'érodibilité des sols.

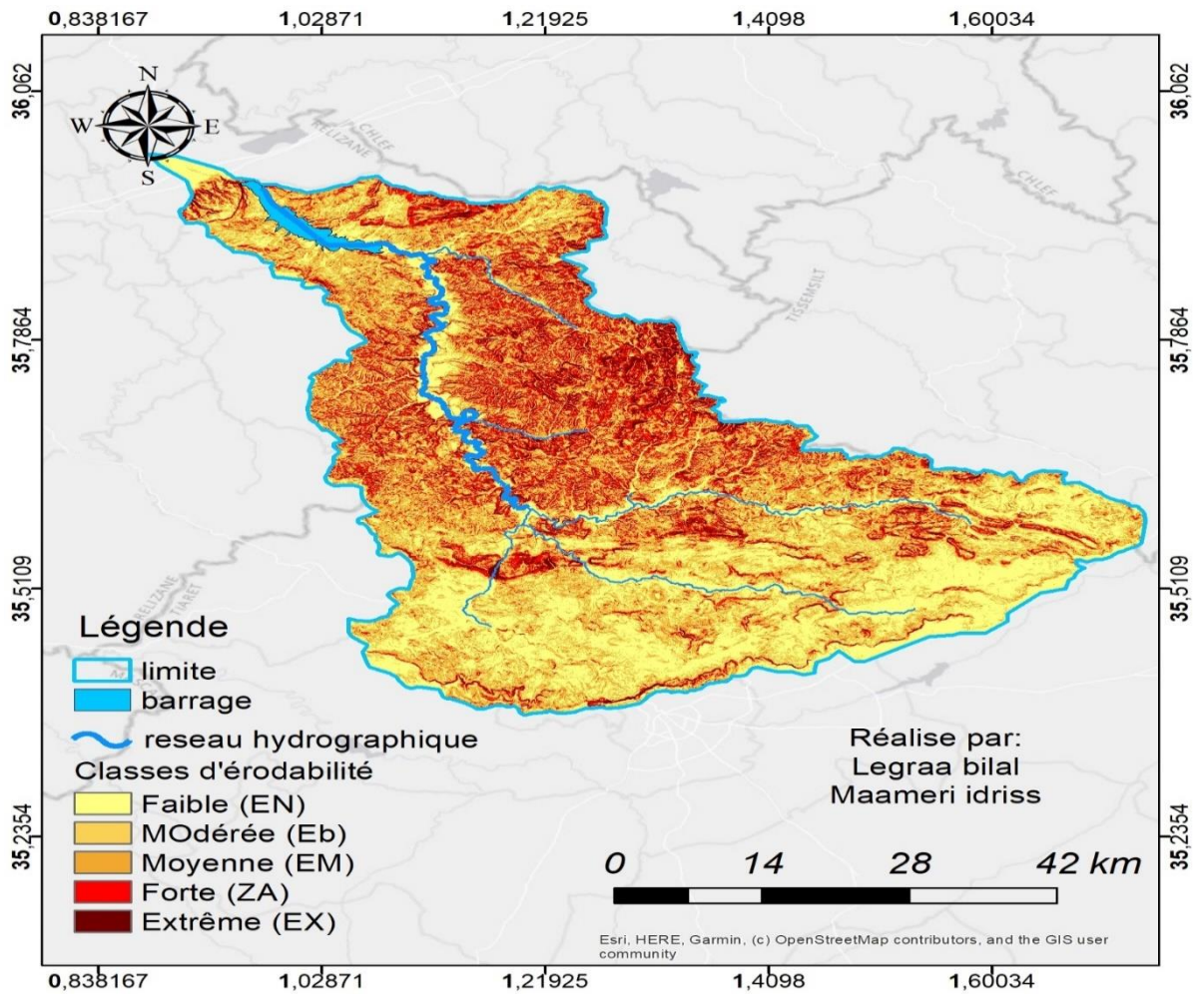


Figure III.A.8 : Carte d'érodibilité du bassin versant du barrage de Gargar.

3.6. Carte de protection des sols :

La carte de protection des sols représente le résultat de superposition de la carte d'occupation des sols et celle de la carte densité du couvert végétal, selon le type et le degré de répartition de la végétation.

L'objectif de la réalisation de cette carte, est d'hierarchiser la surface du bassin versant de Gargar, selon le degré de protection que peut conférer le couvert végétal.

L'application de cette étape s'avère nécessaire, car il permet de cerner le rôle du couvert végétal.

•Élaboration de la Carte de protection

- La superposition des deux cartes, se fait en appliquant la matrice représentative dans le tableau (matrice de protection des sols), qui permet d'effacer les limites séparant les polygones avec le même degré de protection des sols.

- La protection des sols est définie comme la résistance qu'offre la nature du couvert végétal au substrat, elle dépend de l'occupation du sol et de leur degré de protection.

Tableau III.A.2 : Matrice d'occupation du sol Vs couvert végétal.

Occupation Du sol	Degré de couvert végétal			
	1	2	3	4
1	5(MB)	5(MB)	4(B)	4(B)
2	5(MB)	5(MB)	4(B)	3(M)
3	3(M)	2(A)	1(MA)	1(MA)
4	4(B)	3(M)	2(A)	1(MA)
5	5(MB)	4(B)	3(M)	2(A)
6	5(MB)	4(B)	3(M)	2(A)

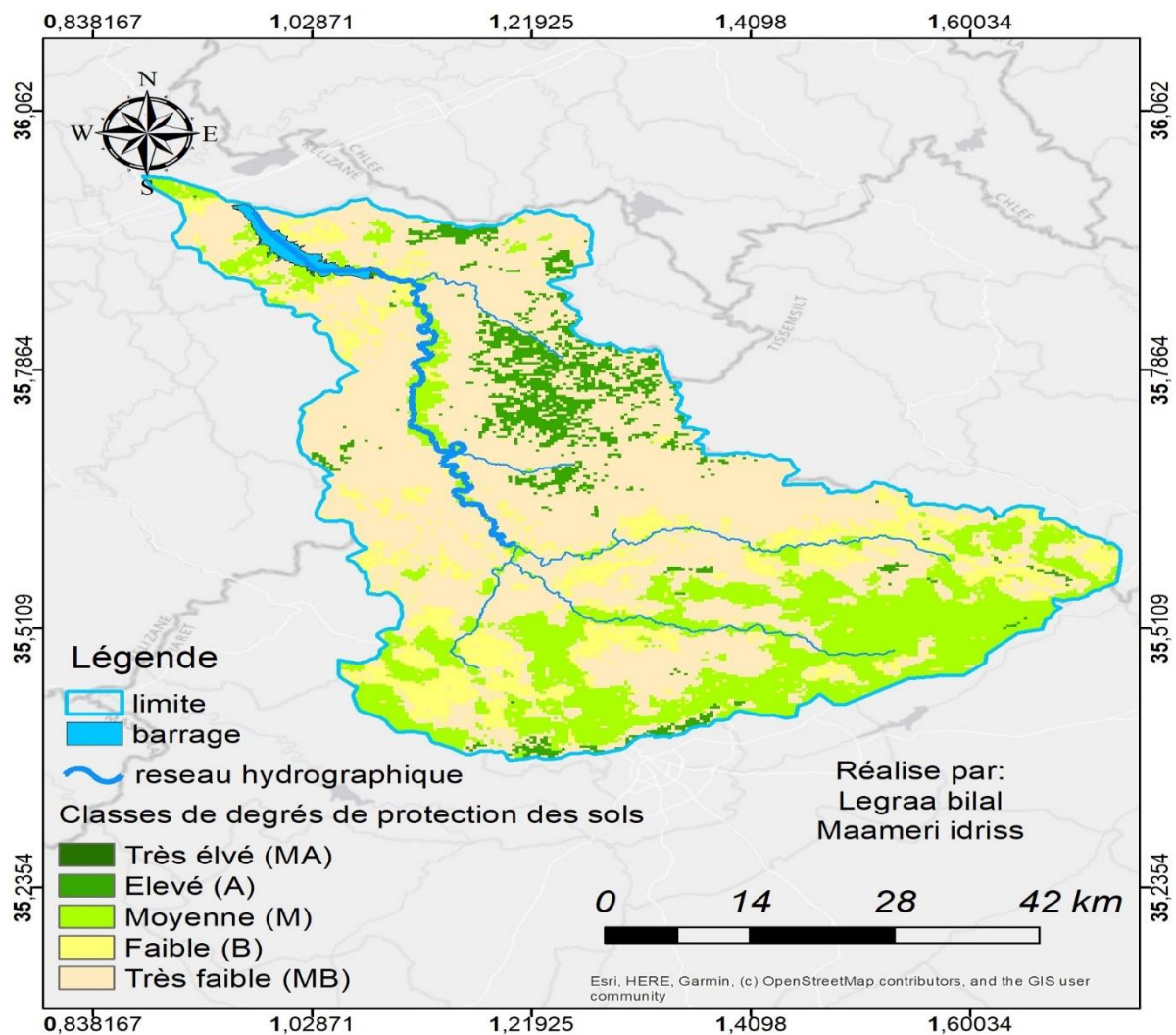


Figure III.A.9: Carte de protection des sols du bassin versant du barrage de Gargar.

III.A.4. APPROCHE PRÉDICTIVE :

4.1. Carte des états érosifs :

La carte des états érosifs est le produit final de la phase prédictive, résultant de la superposition de la carte d'érodibilité et de la carte de degré de protection des sols.

La superposition se fait en appliquant la matrice présentée dans par le tableau.

Tableau III.A.3 : Matrice de degré de protection des sols Vs degré d'érodibilité.

Degré de protection des sols	Degré d'érodibilité				
	1(EN)	2(EB)	3(EM)	4(EA)	5(EX)
1 (MA)	1	1	1	2	2
2 (A)	1	1	2	3	4
3 (M)	1	2	3	4	4
4 (B)	2	3	3	5	5
5 (MB)	3	3	4	5	5

- La légende codifiant est signalée par la carte des états érosifs, suivant le tableau [39]

Cette carte a pour but de :

-Ressortir les différentes combinaisons des degrés d'influence des facteurs qui contrôle l'érosion hydrique : Pente, type de sols, densité de couvert, type d'occupation.

-d'hierarchiser la surface du bassin versant de Gargar, en unité selon le degré de l'état érosif.

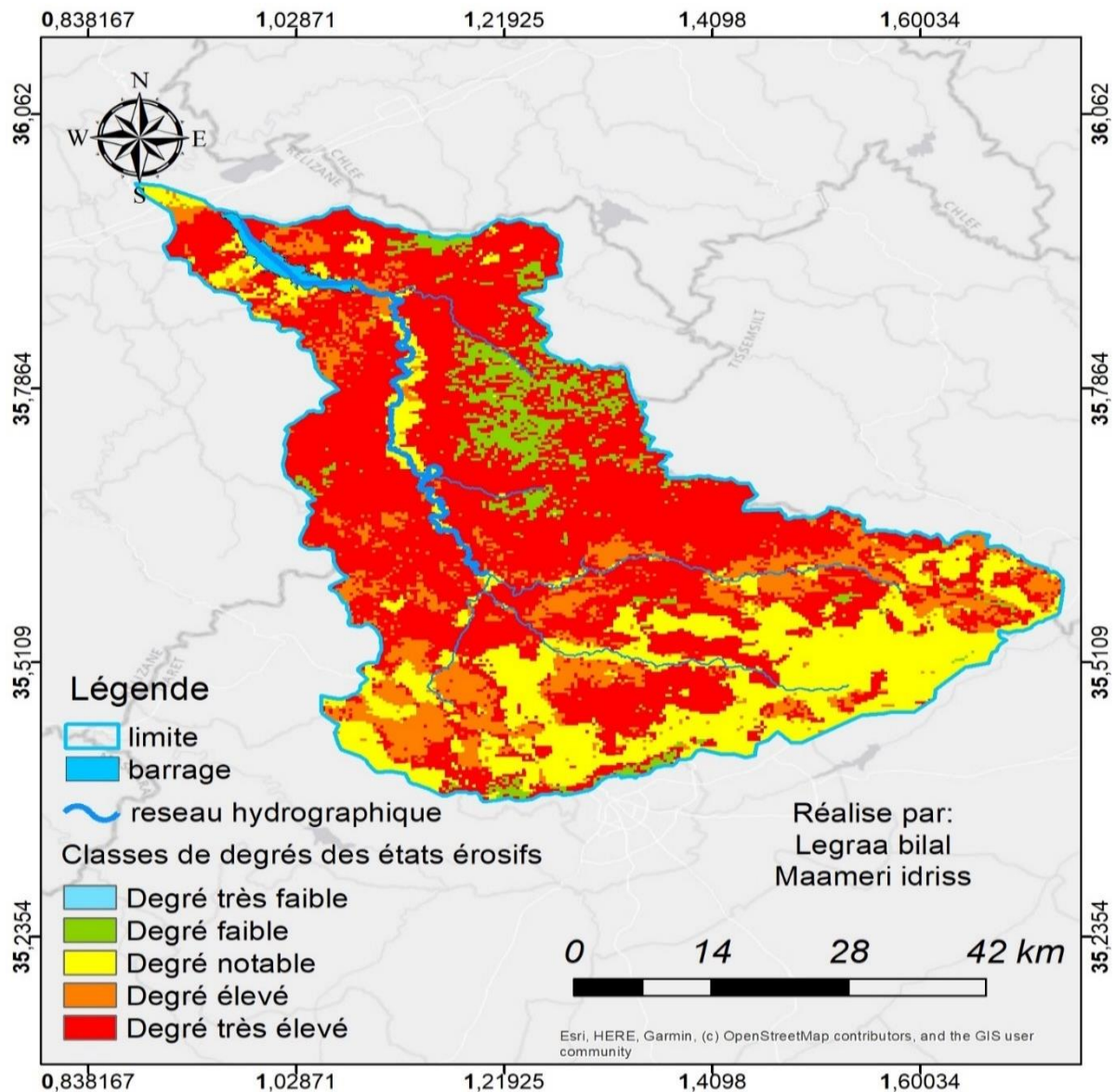


Figure III.A.10 : Carte des états érosifs du bassin versant du barrage de Gargar.

III.A.5. Approche descriptive des formes d'érosion :

L'approche descriptive est basée sur la délimitation cartographique des formes d'érosion et les processus érosifs

5.1. Carte des formes d'érosion :

La carte des formes d'érosion est réalisée à partir des observations de terrain, ainsi que l'utilisation des navigations satellitaires « Google Earth », qui permet la digitalisation in-situ des formes d'érosion.

Tableau III.A.4 : Codification des formes d'érosion rencontrée au niveau du bassin versant de Gargar.[40]

Indication PAP/CAR	Forme d'érosion au BV GARGAR
L1	Erosion faible, couvert végétal restreint, érosion en nappe
L2	Erosion faible, érosion en nappe intense
L3	Erosion lente, découpage, ruissèlement diffuse, érosion en nappe
D1	Erosion lente, rigoles, ravinements superficiels sur versant.
C1	Erosion grave, ravinement moyennement profond.
MX	Erosion importante, Solifluxion.
CX	Erosion grave, zone à Bad-lands.

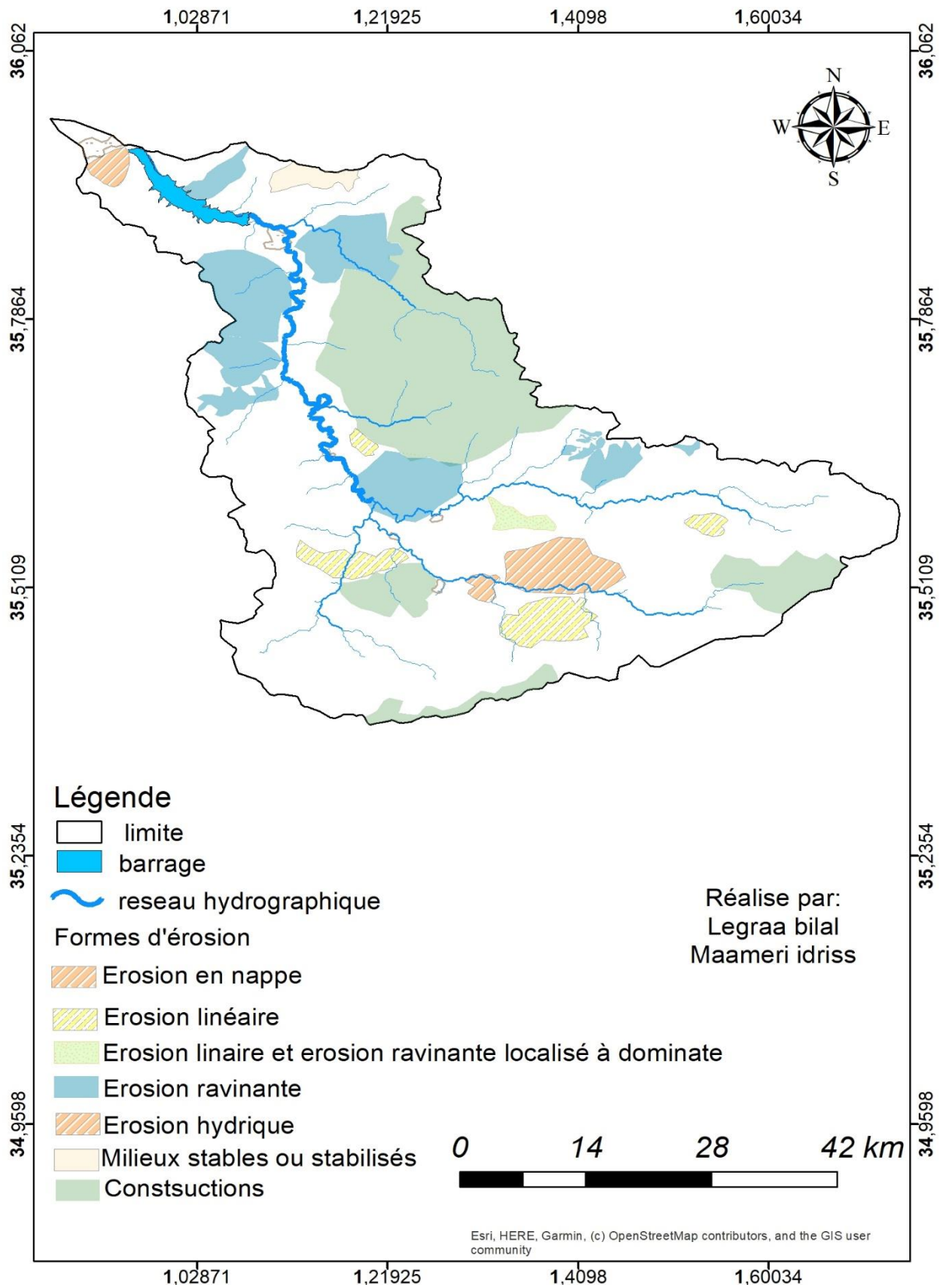


Figure III.A.11: Carte des formes d'érosion du bassin versant du barrage de Gargar.

III.A.6. Approche d'intégration : Réalisation de la carte consolidée d'érosion PAP/CAR :

6.1. Carte consolidée de PAP/CAR :

La carte finale est une carte qualitative, combinant les données descriptives et prédictives, et contenant des informations complètes sur les différents aspects des phénomènes d'érosion.

La description des formes de l'érosion active et les risques d'érosion plus spécifiques (milieu identifiable à travers leur principaux facteurs causaux), sont complémentaire aux données fournies par la cartographie prédictive, ce qui implique le diagnostic final d'érosion doit s'exprimer par un symbole.[41]

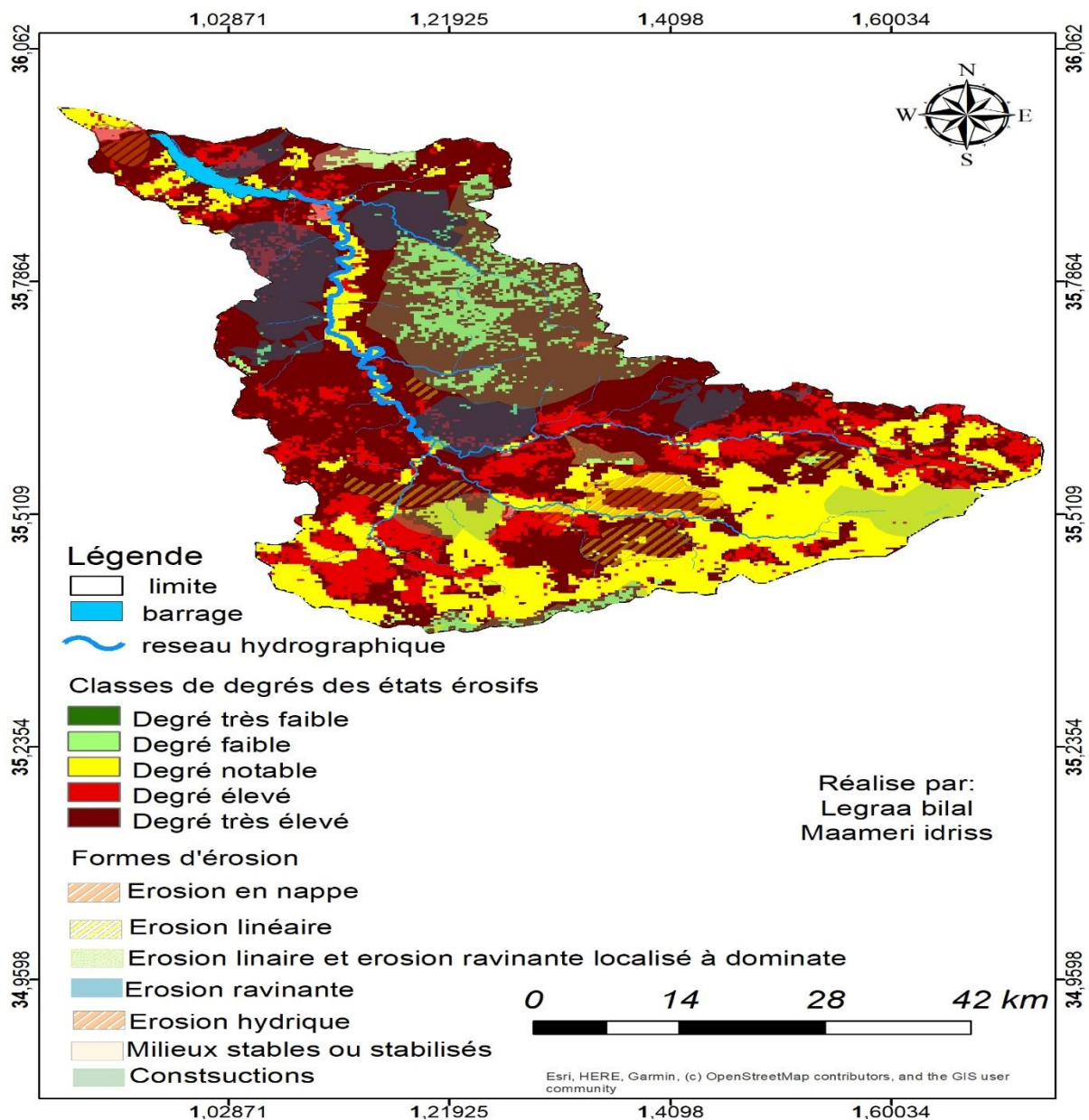


Figure III.A.12: Carte consolidée de PAP/CAR du bassin versant du barrage de Gargar.

Conclusion :

L'étude qualitative de l'érosion par la méthode PAP/CAR, basée sur les facteurs naturels (pente, litho-faciès, couvert végétal et occupation des sols) a permis d'analyser et d'identifier les zones à risque d'érosion dans le Bassin versant de l'Oued Gargar. La carte d'érodibilité qui résulte de la superposition de la carte des pentes et celle de litho-faciès montre que le bassin versant étudié présente une érodibilité forte à extrême sur une partie significative de sa superficie.

Cependant, la carte de protection montre que la majorité de la superficie totale du bassin présente une protection moyenne à élevée, bien qu'une part non négligeable soit mal protégée (protection faible à très faible).

La carte des états érosifs montre que la majeure partie du bassin versant de l'Oued Gargar présente une érosion élevée à très élevée, tandis qu'une proportion plus faible présente une érosion faible à moyenne. Les zones les plus menacées par le risque d'érosion se situent principalement dans la partie sud du bassin versant, ce qui confirme le rôle important de la pente, de la lithologie et de la couverture végétale dans la protection du sol contre l'érosion hydrique.

Le modèle RUSLE

III.B.1. Définition d'RUSLE :

Le modèle RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) est un modèle empiriquement basé utilisé pour estimer l'érosion hydrique des sols. Il est dérivé du modèle USLE (Universal Soil Loss Equation) initialement développé dans les années 1960 et 1970 par l'USDA (United States Department of Agriculture).[42] RUSLE a été révisé pour inclure de nouvelles connaissances et technologies. Voici les composantes principales du modèle RUSLE :


1.1. Formule de base :

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Où :

- **A** : est la perte de sol moyenne annuelle (tonnes par hectare par an).
- **R** : est le facteur d'érosivité des précipitations.
- **K** : est le facteur d'érodibilité du sol.
- **LS** : est le facteur de longueur et de pente de la pente.
- **C** : est le facteur de couverture et de gestion des cultures.
- **P** : est le facteur de pratiques de gestion de conservation.


1.2. Facteurs de RUSLE :

 **Facteur R** (Erosivité des précipitations) :

Représente l'effet des précipitations sur l'érosion. Il est calculé en fonction de l'intensité et de la quantité des pluies, généralement à partir de données climatiques historiques.

 **Facteur K** (Erodibilité du sol) :

Indique la susceptibilité du sol à l'érosion. Il dépend de la texture du sol, de la structure du sol, de la perméabilité et de la teneur en matière organique.

 **Facteur LS** (Longueur et inclinaison de la pente) :

Combine l'effet de la longueur de la pente (L) et de l'inclinaison de la pente (S). Plus la pente est longue et raide, plus l'érosion est importante.

 **Facteur C** (Couverture et gestion des cultures) :

Reflète l'effet des types de végétation et des pratiques de gestion des cultures sur l'érosion. Une couverture végétale dense peut réduire considérablement l'érosion.

 **Facteur P** (Pratiques de conservation) :

Représente l'effet des pratiques de gestion des terres qui réduisent l'érosion, comme les terrasses, les cultures en bandes, et les ensemencements en contour.

III.B.2. Application du modèle RUSLE :

Le modèle RUSLE est largement utilisé pour :

- La planification de la conservation des sols et de l'eau.
- L'évaluation des impacts environnementaux des projets de développement.
- La prévision des pertes de sol sous différents scénarios de gestion des terres.
- La recherche sur l'érosion des sols et le développement de politiques de gestion des sols.

III.B.3. Outils et logiciels :

Il existe plusieurs logiciels qui implémentent le modèle RUSLE, facilitant son utilisation pour les chercheurs et les praticiens :

- **RUSLE1** : La version originale développée dans les années 1990.
- **RUSLE2** : Une version améliorée avec une interface plus conviviale et des capacités de modélisation étendues.
- **GeoWEPP** : Un outil SIG (Système d'Information Géographique) qui intègre le modèle WEPP (Water Erosion Prédiction Project) avec des fonctionnalités de RUSLE.[43]

Le modèle RUSLE continue d'évoluer avec l'intégration de nouvelles données et technologies, permettant des estimations plus précises et des applications plus larges dans le domaine de la gestion des sols et de l'environnement.

III.B.4. Méthodologie :

Pour estimer et cartographier l'érosion potentielle à l'échelle du bassin versant de GARGAR en utilisant la méthodologie RUSLE, combinée avec les techniques de SIG et de télédétection, la procédure suit plusieurs étapes clés. Ces étapes permettent de créer une carte des pertes en sol prenant en compte les facteurs de l'équation de Wischmeier et Smith (1978), représentés sous forme de cartes thématiques. L'intégration de ces cartes numériques via le SIG permet d'estimer le taux de pertes en sol dans le bassin versant de GARGAR.

1.Étapes de la Méthodologie :

1.1. Collecte des Données Initiales :

- Identification des zones à haut risque d'érosion et proposition de mesures de gestion et de conservation.

Cette méthodologie permet de quantifier et de visualiser les pertes en sol, facilitant ainsi la prise de décisions pour la gestion durable des ressources du bassin versant.

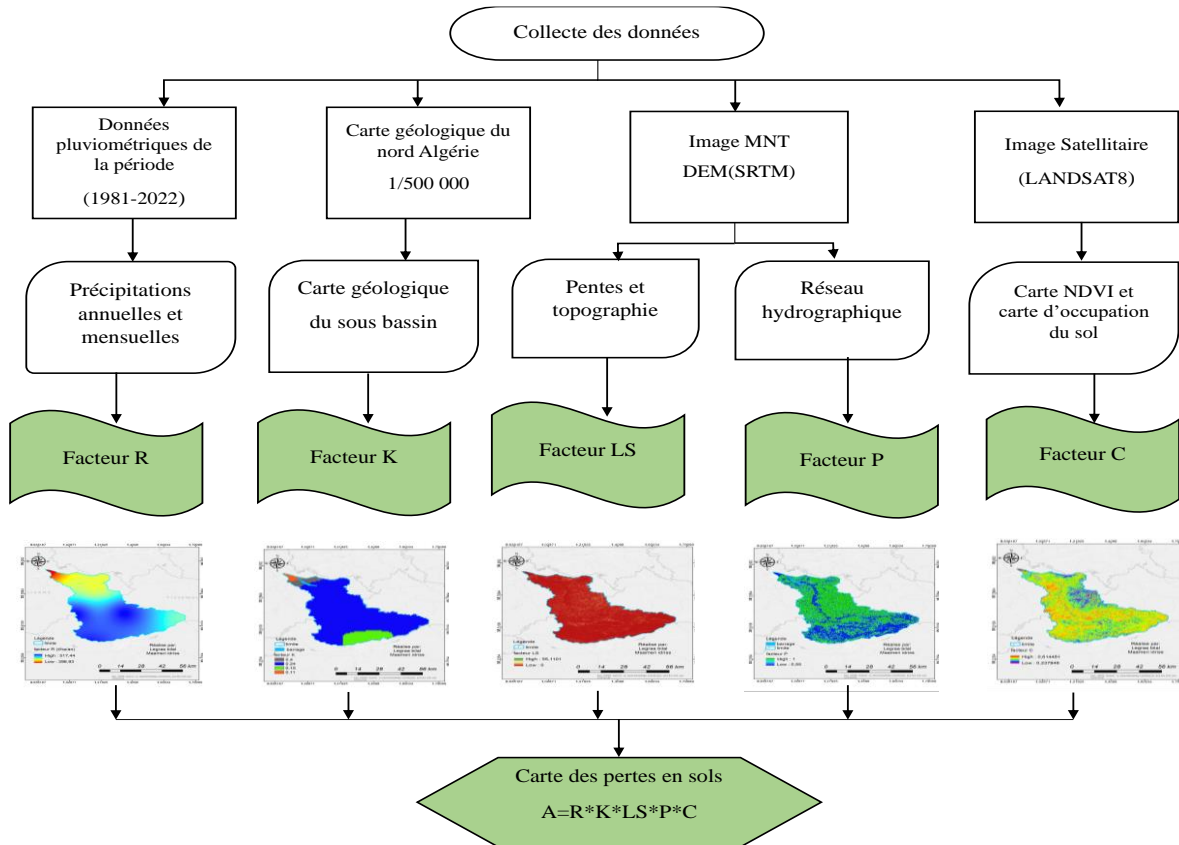


Figure III.B.1: Schéma de la Méthodologie de modèle RUSLE.

III.B.5. Résultats et Applications :

Dans cette partie seront présentés les résultats des traitements ainsi que les calculs effectués pour la spatialisation des taux de pertes en terre dans le bassin versant

5.1-Facteur C :

Le facteur C de l'équation RUSLE, représentant l'impact du couvert végétal et des pratiques culturales sur l'érosion du sol, a été estimé à partir de l'indice NDVI (Normalise Différence Végétation Index) dérivé d'images satellites Landsat-8.[44]

Une image Landsat-8 couvrant le bassin versant de GARGAR a été obtenue et l'indice NDVI a été calculé avec une résolution spatiale de 30 mètres. L'analyse de la carte NDVI générée révèle une plage de valeurs allant de -0,09 à 0,49 Les valeurs négatives du NDVI, observées sur les plans d'eau, s'expliquent par la différence de réflectance entre les domaines du proche infrarouge et du rouge pour ces surfaces.

Les valeurs du NDVI obtenues seront intégrées dans l'équation RUSLE pour estimer le facteur C et, par conséquent, la contribution du couvert végétal et des pratiques culturales à l'érosion hydrique dans le bassin versant de GARGAR.

L'utilisation de l'indice NDVI dérivé d'images satellites Landsat-8 constitue une approche efficace pour évaluer le facteur C de l'équation RUSLE dans le bassin versant de GARGAR. Cette analyse permettra d'identifier les zones à risque d'érosion hydrique et de guider la mise en place de stratégies de gestion durables du sol.

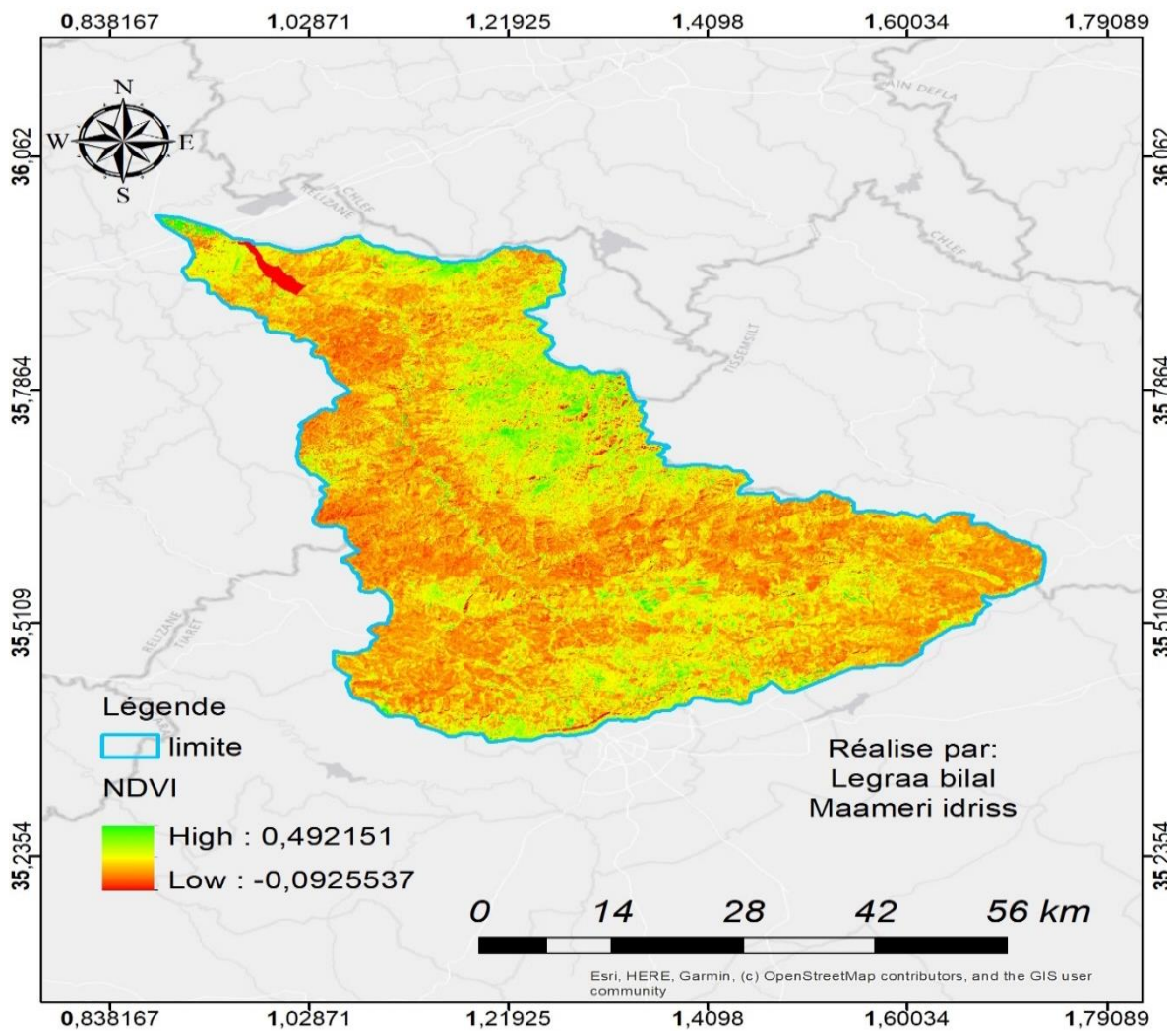


Figure III.B.2: Carte du NDVI dans le bassin versant d'après les images Landset8.

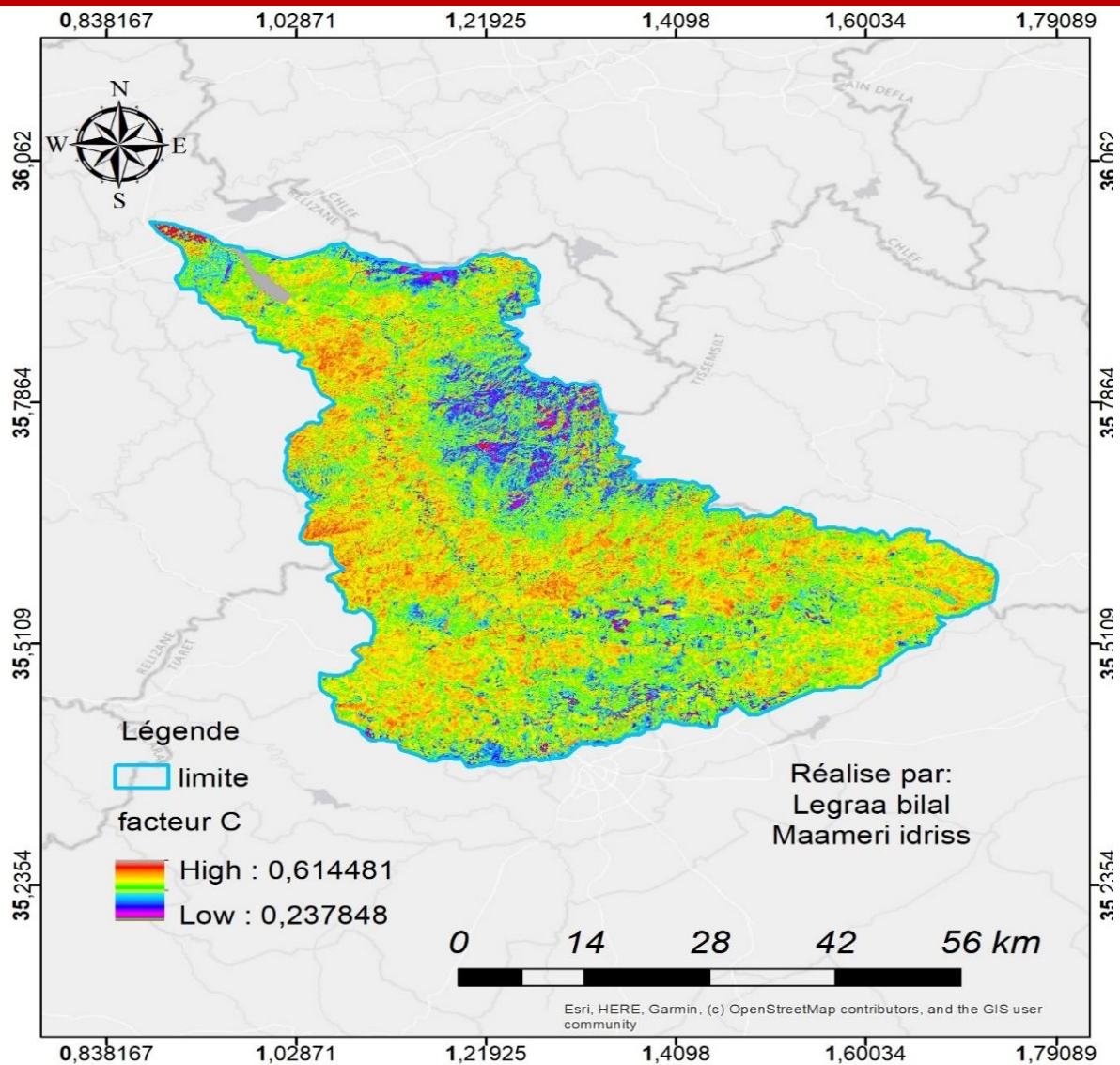


Figure III.B.3: Carte de couvert végétale (facteur C) du bassin versant du barrage de Gargar.

5.2-Facteur P :

Le facteur P prend en compte les pratiques de conservation du sol qui concernent toutes les techniques culturales mises en œuvre pour diminuer le ruissellement et l'érosion, telles que le labour en courbes de niveau, GCES (gestion conservatoire des eaux et des sols).

Dans cette étude, la carte de facteur P a été dérivée à partir des pourcentages de classes des pentes.

Les valeurs obtenues sont de l'ordre 0.55 à 1 dont les plus élevées sont attribuées à des domaines sans pratiques de conservation tandis que les valeurs minimales correspondent à l'accumulation des sols et les zones de plantation et de culture.[45]

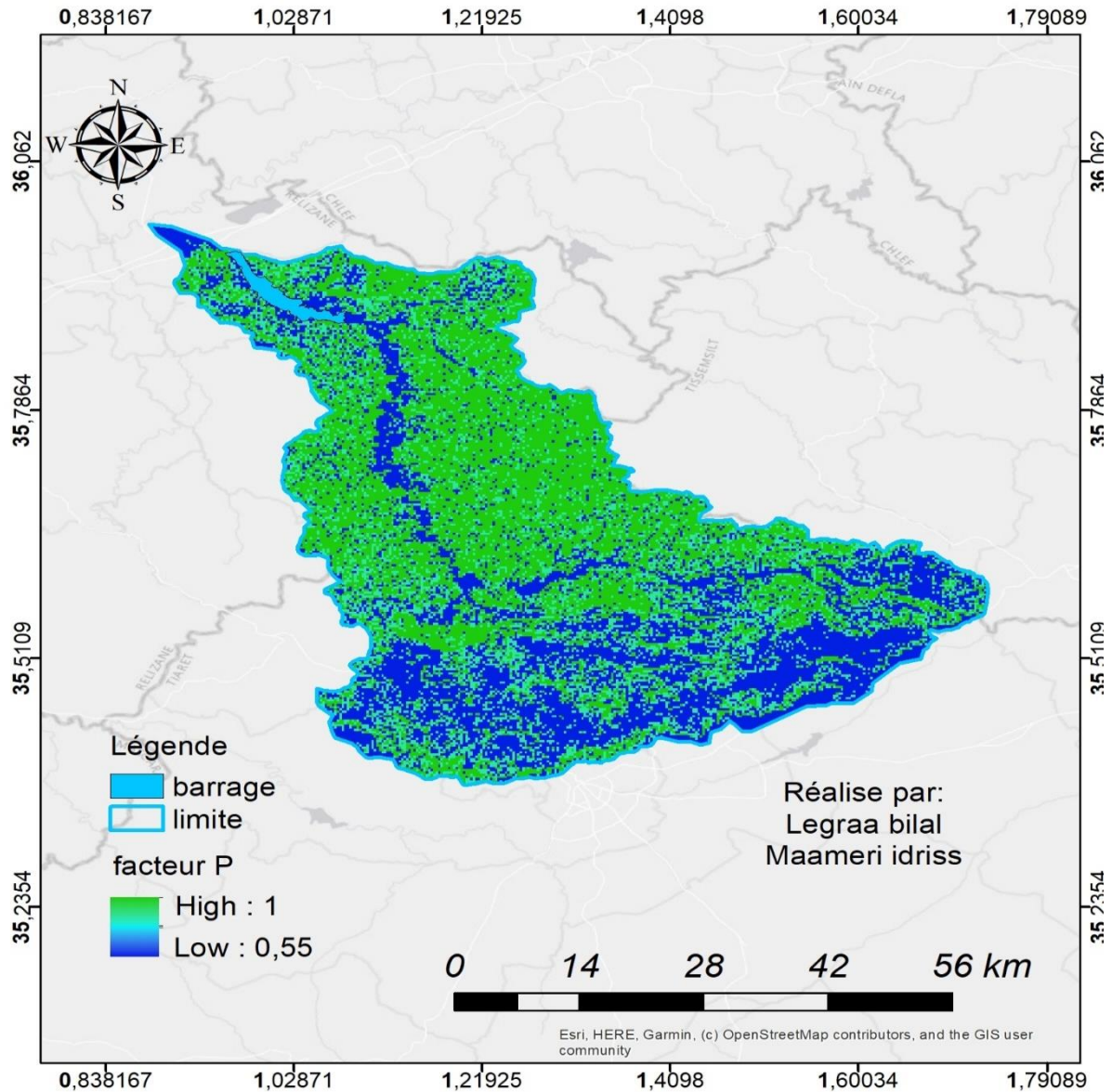


Figure III.B.4: Cartes des pratiques antiérosives (facteur P) du bassin versant du barrage de Gargar.

5.3-Facteur LS :

La longueur et l'inclinaison de la pente influencent le rendement des sédiments, ce qui est déterminé par le facteur LS dans le modèle USLE. En plus de l'inclinaison et de la longueur, d'autres facteurs tels que le compactage, la consolidation et la perturbation du sol sont également considérés lors de la génération du facteur LS. L'érosion augmente avec l'inclinaison de la pente.

La formule utilisée pour la détermination du facteur LS c'est :

$$LS = (As / 22.13)^m * (\sin \beta / 0.0896)^n$$

A été choisie car elle peut être effectuée avec les outils intégrés sur ArcGIS. Cette méthode propose deux équations $(As / 22.13)^m$ et $(\sin \beta / 0.0896)^n$ pour L et S.[46]

Ce facteur LS montre l'importance de l'inclinaison et de la longueur de pente dans les processus d'érosion en nappe et en rigole. On constate, en aval du bassin versant, que les pentes faibles sont peu sensibles au processus d'érosion, tandis que les reliefs escarpés en amont révèlent une sensibilité plus importante aux processus érosifs. Les valeurs les plus faibles du facteur topographique, entre 0 et 5, sont naturellement attribuées à la plaine du bassin ainsi qu'au lit du cours d'eau. À l'inverse, les valeurs plus élevées de LS, supérieures à 5, sont associées au massif forestier, à la haute vallée et aux versants les plus abrupts des affluents.

Les données sur les pentes, dont représentées sur la carte des pentes, sont obtenues à partir du Modèle Numérique de Terrain du bassin versant. Cette carte est obtenue par l'outil Slope dans Spatial analyst, qui sera ensuite utilisée pour calculer la raideur des pentes.

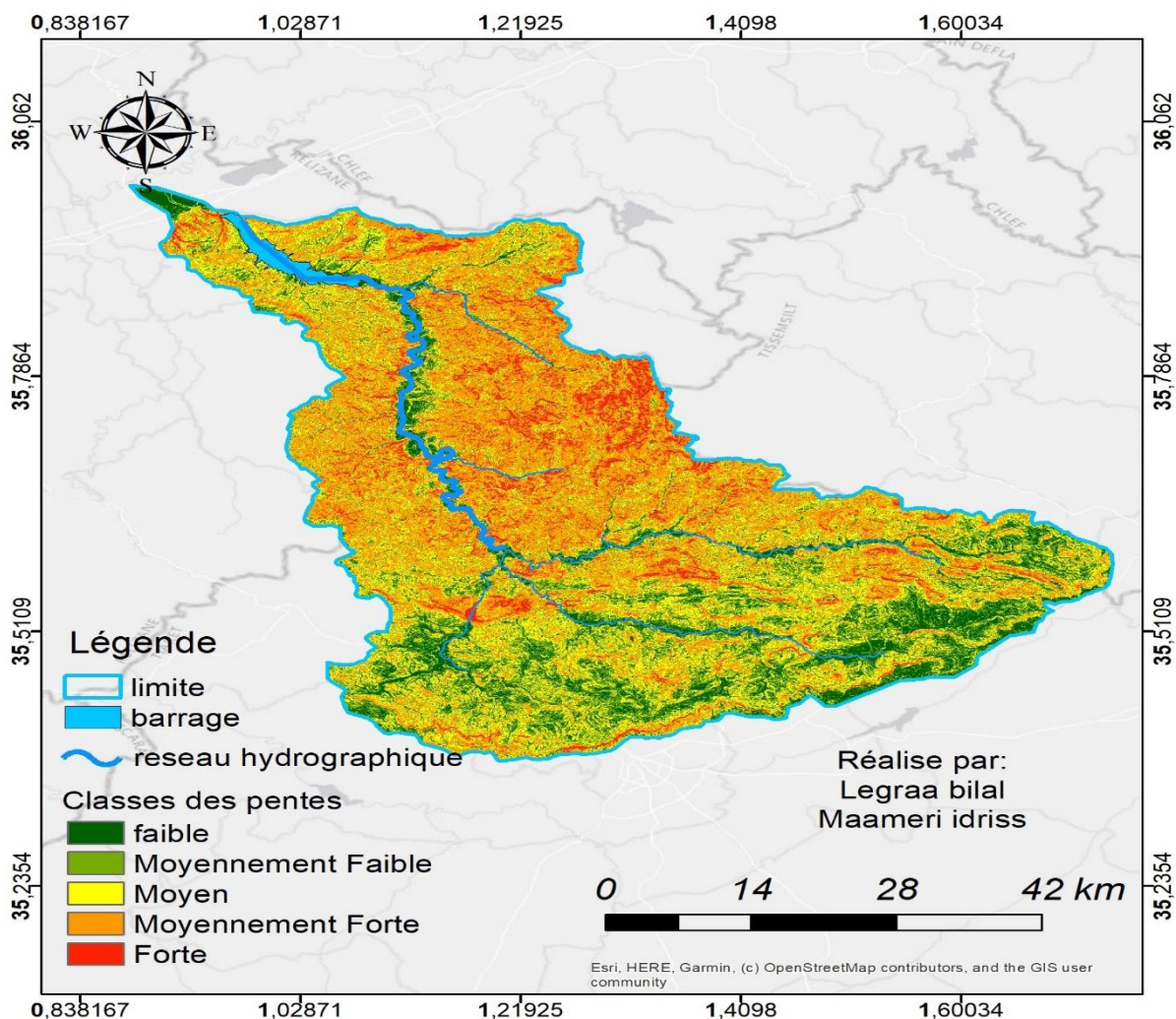


Figure III.B.5: Carte des pentes et répartition en classes de pente du bassin versant du barrage de Gargar.

Une carte de pente et ainsi élaborés. 4 classes sont identifiées :

Faible (0-3 %) ;

Moyennement faible (3 % à 12 %) ;

Moyen (12 % à 20 %) ;

Moyennement forte (20 % à 35 %) ;

Forte (>35 %)

Sachant que le facteur LS est le produit dérivé des deux équations (L) et (S), l'équation de ce produit est formulée sur *Map Algebra* suivant la syntaxe :

$$LS = \text{Power}(\text{"flowacc"} * 30/22.13, 0.4) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"slope"} * 0.01745)/0.09, 1.4) * 1.4$$

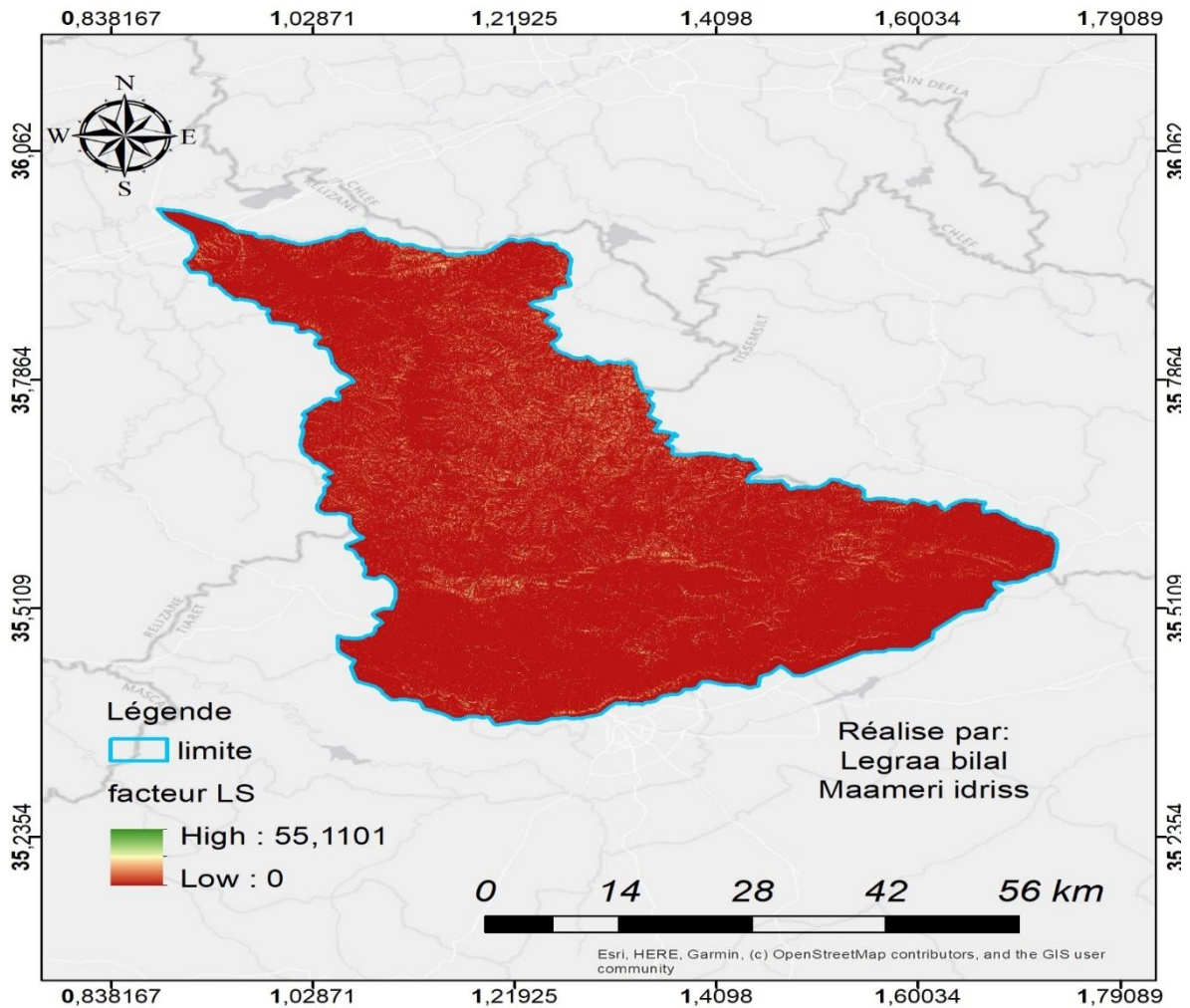


Figure III.B.6: Carte de facteur topographique (facteur LS) du bassin versant du barrage de Gargar.

5.4-Facteur K :

L'érodibilité des sols est une estimation quantitative des particules de sol, le principal facteur qui influe sur la capacité du sol à éroder. Cependant, les autres facteurs qui influent sur le facteur K, sont la structure du sol, la perméabilité et le contenu en matière organique. La carte de facteur K a été préparée à partir de la carte de sol de la zone d'étude basée sur les différentes textures de sol et la base de données DSMW (Digital Soil Map of the World).

La distribution des types de sols dans la zone d'étude est regroupée en plusieurs grandes classes de texture à savoir, de limon, d'argile limoneuse, argile et sable limoneux. Généralement, les sols argileux ont des valeurs modérées de K parce qu'ils sont résistants au détachement.

Les sols sableux ont également de faibles valeurs de K en raison des taux d'infiltration et le ruissellement réduit, et parce que les sédiments érodés de ces sols ne sont pas faciles à transporter.

Les valeurs d'érodibilité des sols ont été attribuées à différents types de sol en fonction des textures, perméabilités et humidités antérieures du sol.

n. L'équation utilisée pour la détermination de

K est celle de Williams comme suit :

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} (12 - MO) M^{1,14} + 3,25 (S - 2) + 2,5 (P - 3)] / 100$$

Où :

K : représente l'érodibilité du sol (tonne/ha) ;

MO : le taux de matière organique dans le sol ;

M : est le produit des fractions de particules primaires et se calculant de la manière suivante :

$$M = (\% \text{ limon} + \% \text{ sable fin}) * (100 - \% \text{ argile})$$

S : le code de structure ;

P : le code de perméabilité ;

Certaines surfaces montrent une grande quantité d'éléments grossiers qui ralentissent l'érosion en interceptant les gouttes de pluie et réduisent la vitesse de ruissellement. Ainsi, dans le cas des sols peu évolués et des sols bruns fersialitiques, pour obtenir un facteur K plus proche de la réalité, on a utilisé la formule ajustée (Dumas 1964, Römken et al., in Renard et al., 1996).

$$K_a = K (0,983 - 0,01898 X + 0,000973 X^2)$$

Où :

K_a : Erodibilité ajustée,

K : Erodibilité estimée à partir de la formule de Wischmeier,

X : Pourcentage d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm à la surface du sol.

Les sites d'échantillonnage et d'observation ont été choisis sur la base de la carte des unités homogènes, élaborée à partir de la superposition de la carte géologique, la carte du couvert végétal et la carte physiographique. A chaque unité homogène est attribuée la valeur de K qui lui correspond [44]

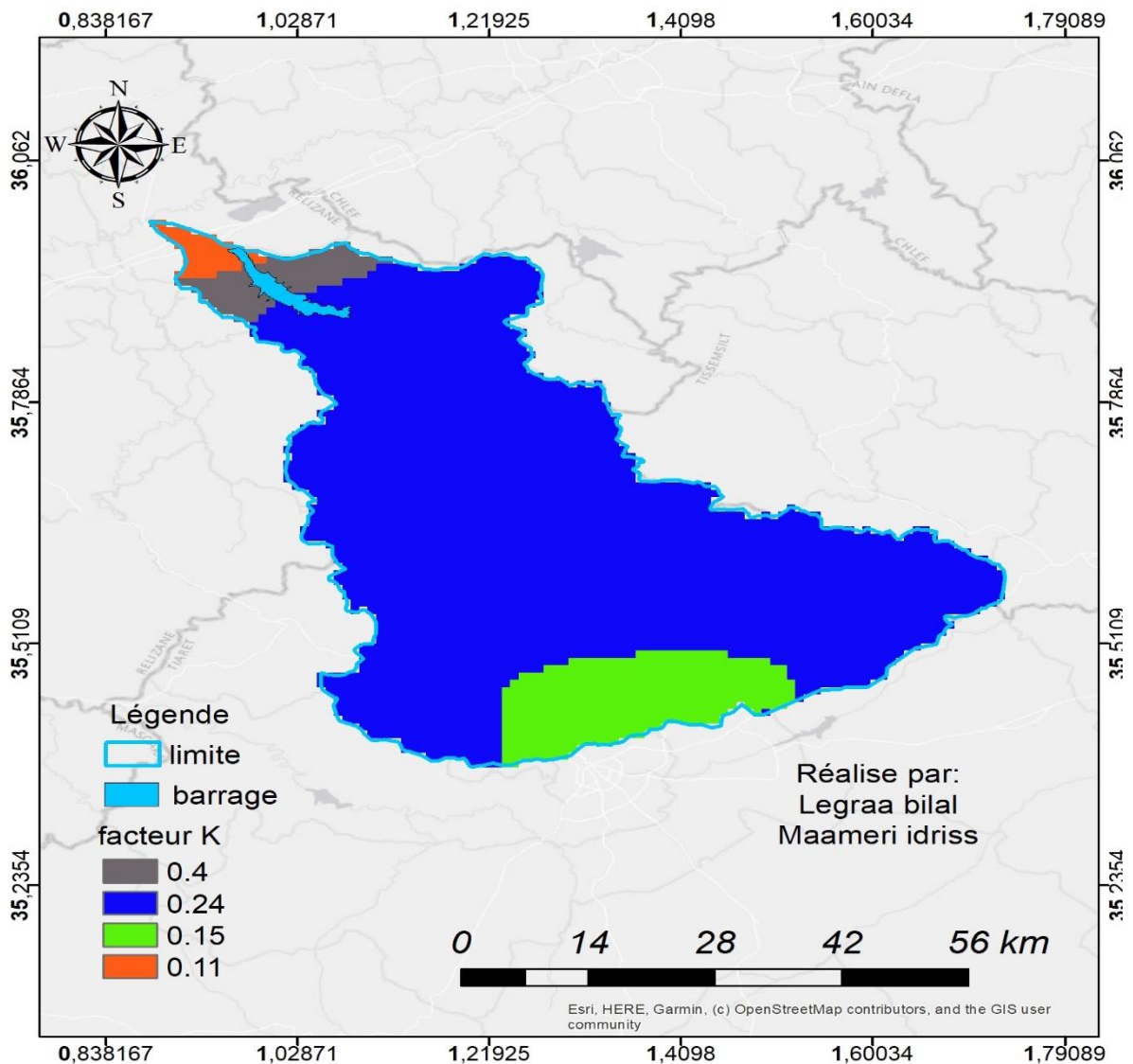


Figure III.B.7: Carte d'érodibilité des sols (facteur K) du bassin versant du barrage de Gargar.

5.5-Facteur R :

Le facteur d'érosivité des pluies (facteur R) quantifie les effets de l'agressivité des pluies, reflétant ainsi la quantité et le taux de ruissellement associé à un événement pluvieux. Ce facteur peut être calculé à partir de données de précipitations moyennes mensuelles et annuelles enregistrées sur une période donnée.[44]

Dans le bassin versant de GARGAR, les valeurs du facteur R varient de 396,93 à 517,44 MJ.mm/ha.h.an, avec une valeur moyenne de 445.59 t/ha/an. La valeur maximale est observée au nord-est du bassin versant, près des localités d'ElOulja et d'Ammi Moussa, à la limite du bassin. Les valeurs sont moyennes au centre du bassin et faibles en amont et en aval.

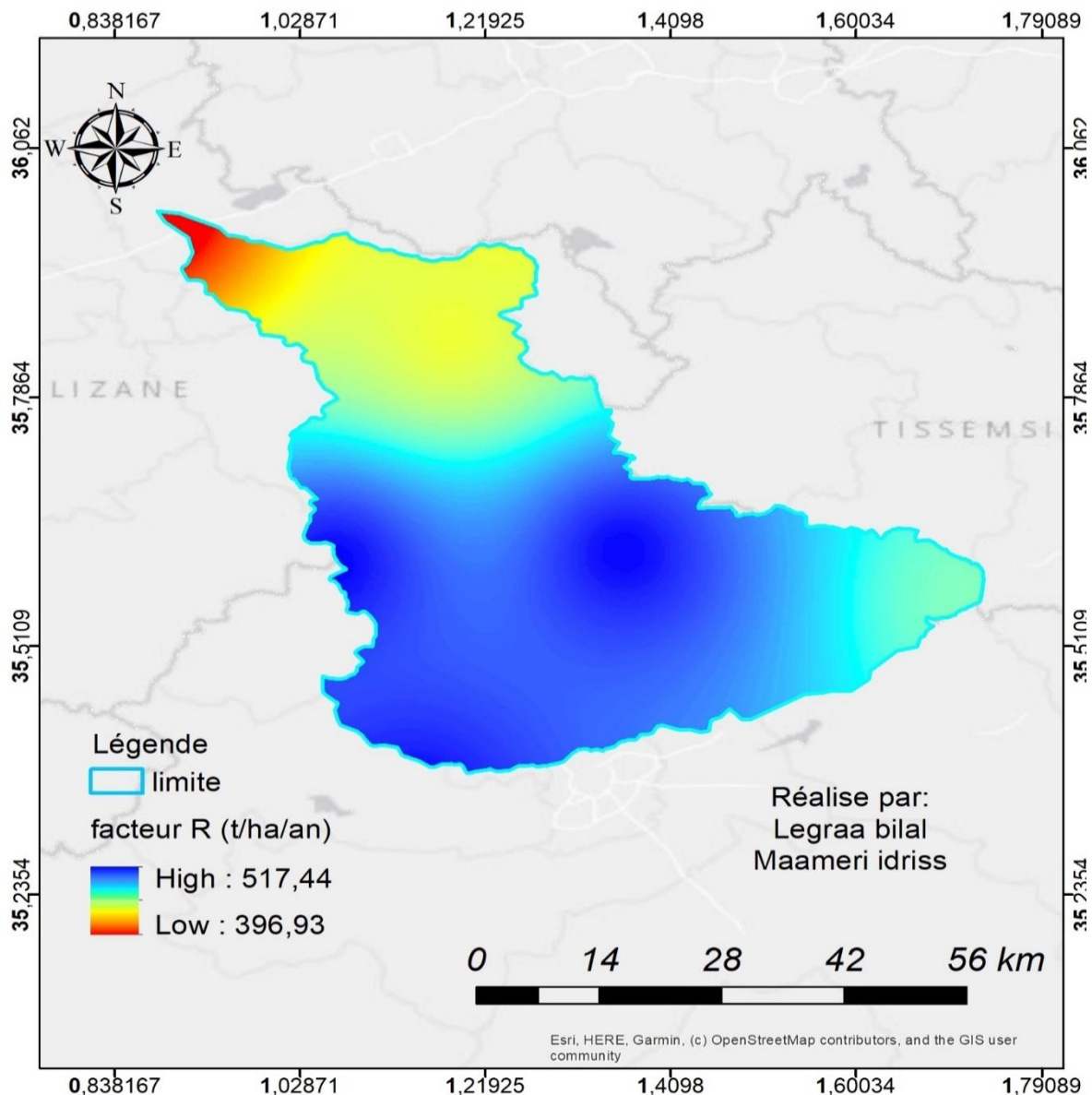


Figure III.B.8: Carte de l'érosivité des pluies (facteur R) du bassin versant du barrage de Gargar.

III.B.6. Quantification de l'érosion dans le bassin versant du gargar :

Le modèle RUSLE fournit une estimation de la valeur moyenne de perte en terre, exprimée en tonne par hectare par an, sur une échelle d'étude donnée. Cette estimation repose sur le produit des cinq facteurs décrits précédemment. Dans cette étude, la modélisation est principalement effectuée sur ArcGIS.

Pour estimer et cartographier la distribution spatiale des pertes en terre dans la zone d'étude, les cartes des cinq facteurs, vues dans la section précédente, ont été projetées sur un même système de coordonnées avec une résolution spatiale de 30 mètres x 30 mètres chacune. Ces opérations sont impératives pour ne pas altérer les résultats du traitement.[47]

Ensuite, les couches sont superposées afin de procéder au calcul pixel par pixel, en utilisant l'équation avec l'outil Raster calculatoire et la fonction Map Algebra dans ArcMap. L'application du modèle a généré la figure 17, affichant les valeurs moyennes et la répartition des taux de pertes en terre dans le bassin versant du Gargar.

En appliquant le modèle empirique et spatialisé RUSLE sur ArcGIS, une plage de valeur moyenne de pertes en terre dans le bassin versant a été obtenue, variant de 0 à une valeur maximale de 59,23t/ha/an. Ces résultats ont été subdivisés en 4 classes.

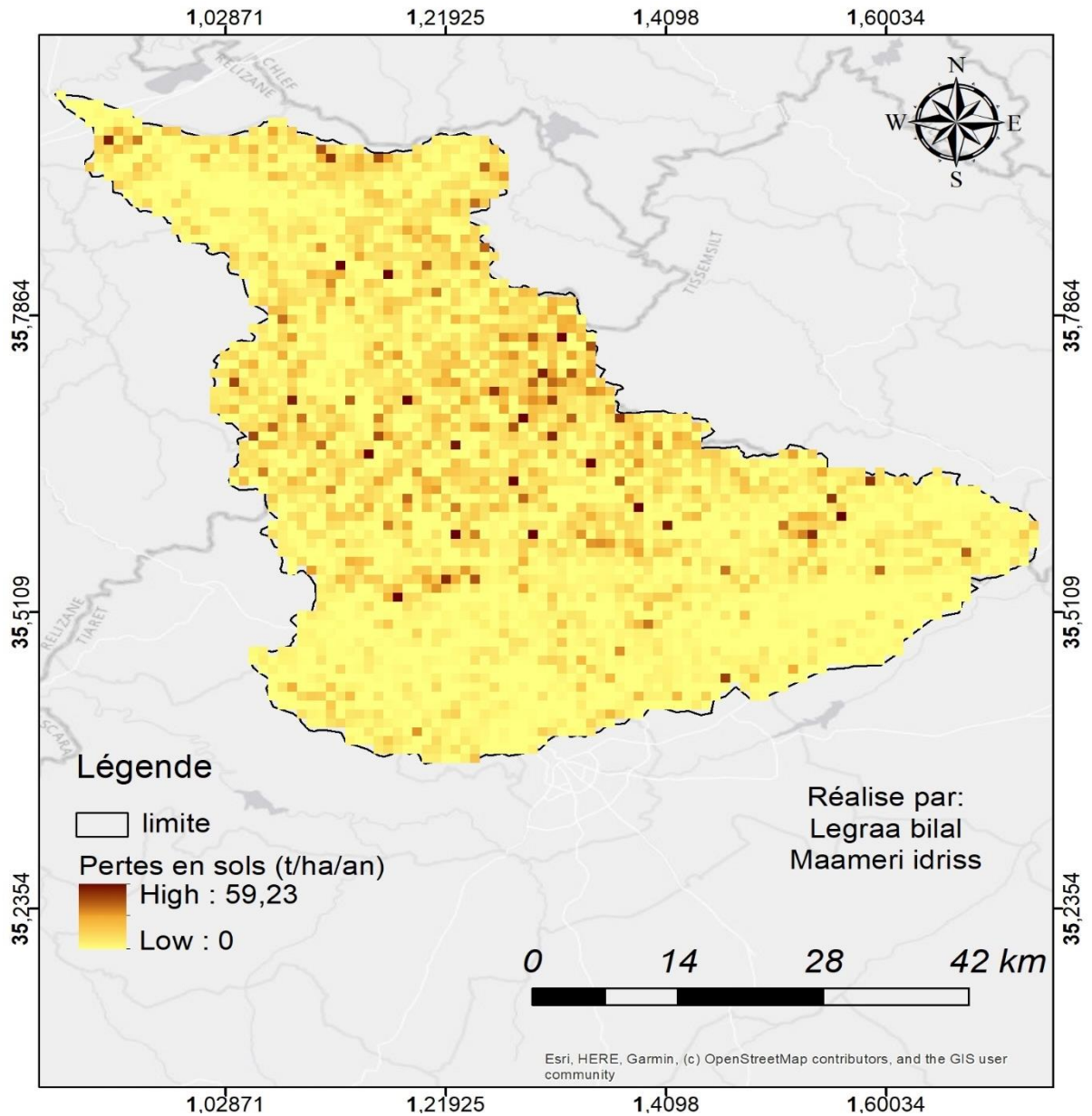


Figure III.B.9: Carte de perte en sol en (t/ha/an) du bassin versant du barrage de Gargar.

Tableau III.B.2 : Classification des taux de pertes en terre du bassin versant du barrage de Gargar.

Perte en sol (t/ha/an)	Degrés de Sensibilité	Superficies Érodables (km ²)	Pourcentage (%)
0 -0,742	Faible	2337.23	96.22
0,742 - 3,311	Modéré	80.73	3.32
3,311 - 9,743	Elevé	8.28	0.34
9,743- 59,23	Très Elevé	2.76	0.11

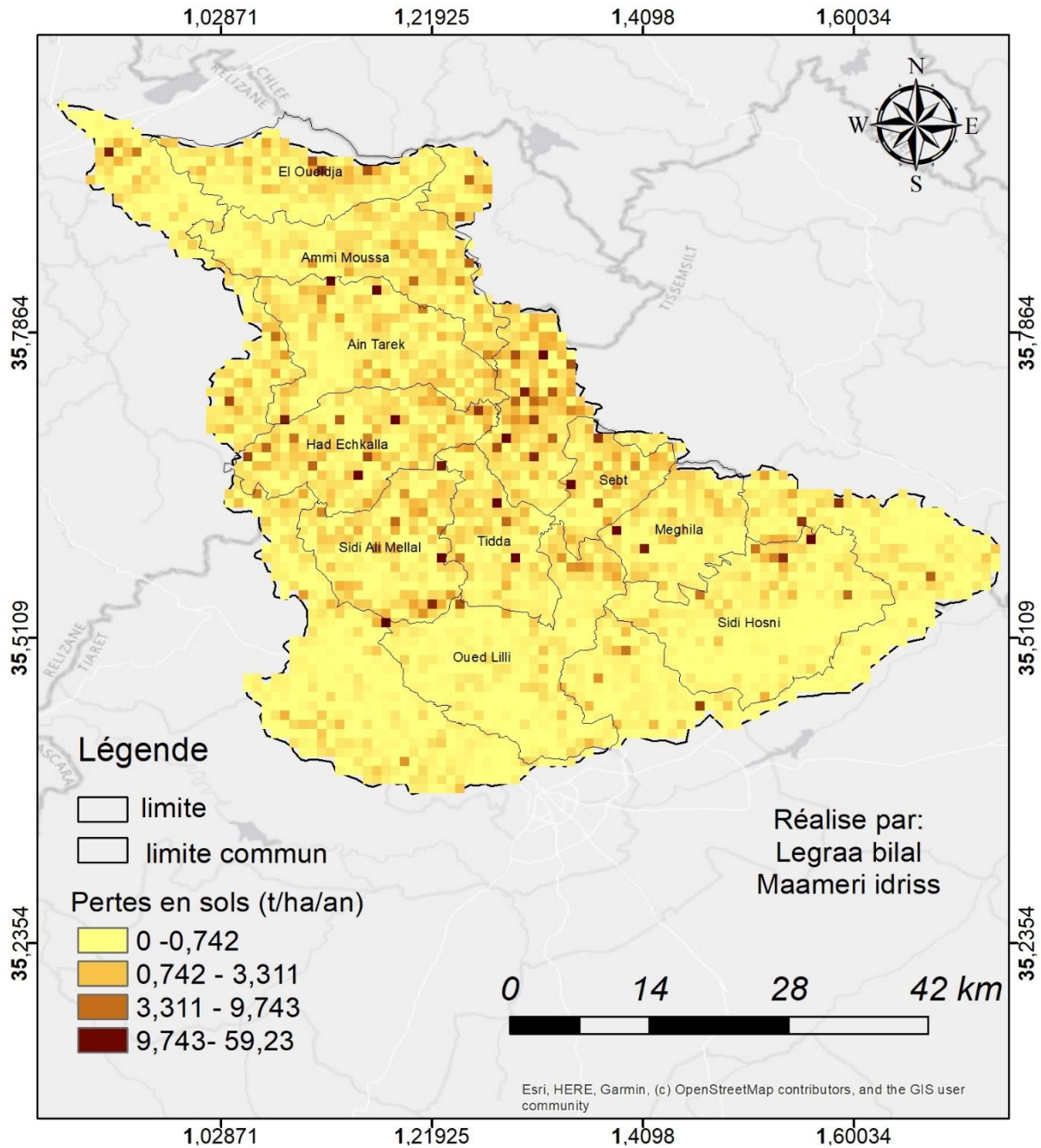


Figure III.B.10: La carte de sensibilité des terrains à l'érosion du bassin versant du barrage de Gargar.

Les pertes moyennes en sols dans le bassin versant de Gargar sont évaluées à 721.093 t/ha/an avec un moyen de 0.2155 t/ha/an, ce qui témoigne de l'importance et de la grande variabilité du phénomène d'érosion hydrique dans le bassin. Les pertes en sols (t/ha/an) dans le bassin ont été regroupées en 4 classes des valeurs. La première classe concerne les zones dont la perte en sol est inférieure à 0.742 t/ha/an. Elle représente 96.22% de la superficie du bassin et couvre la majorité de la superficie du bassin versant. La deuxième classe concerne les zones dont la perte

en sol est comprise entre 0.7 et 3.3 t/ha/an. Elle représente 3.32% de la superficie du bassin. La troisième classe concerne les zones dont la perte en sol est comprise entre 3.3 et 9.74 t/ha/an. Elle représente 0.34 % de la superficie du bassin. La quatrième classe regroupe les zones dont la perte en sol est entre 9.74 t/ha/an et la valeur maximum dans le bassin 59.23 t/ha/an. Elle ne constitue que 0.11% de la superficie du bassin versant. Ces deux dernières classes concernent les zones montagneuses.

Tableau III.B.3 : Résultats de l'application du modèle RUSLE.

Perte en Sol [t / ha / an]	Valeurs
Minimum	0
Moyen dans le BV	0.2155
Maximum	59.23

III.B.7. Cartographie des zones sensibles à l'érosion :

Il semble que vous décriviez un processus de cartographie des zones sensibles à l'érosion, en utilisant des images satellites et une échelle de 200 mètres. La première étape semble être la création d'une carte de l'érosion elle-même, puis la définition des zones sensibles à l'érosion en fonction des classes précédemment établies. Ensuite, vous avez utilisé des images satellites pour visualiser la sensibilité des zones à l'érosion, conformément à ce qui est représenté sur la carte (figure19).[48]

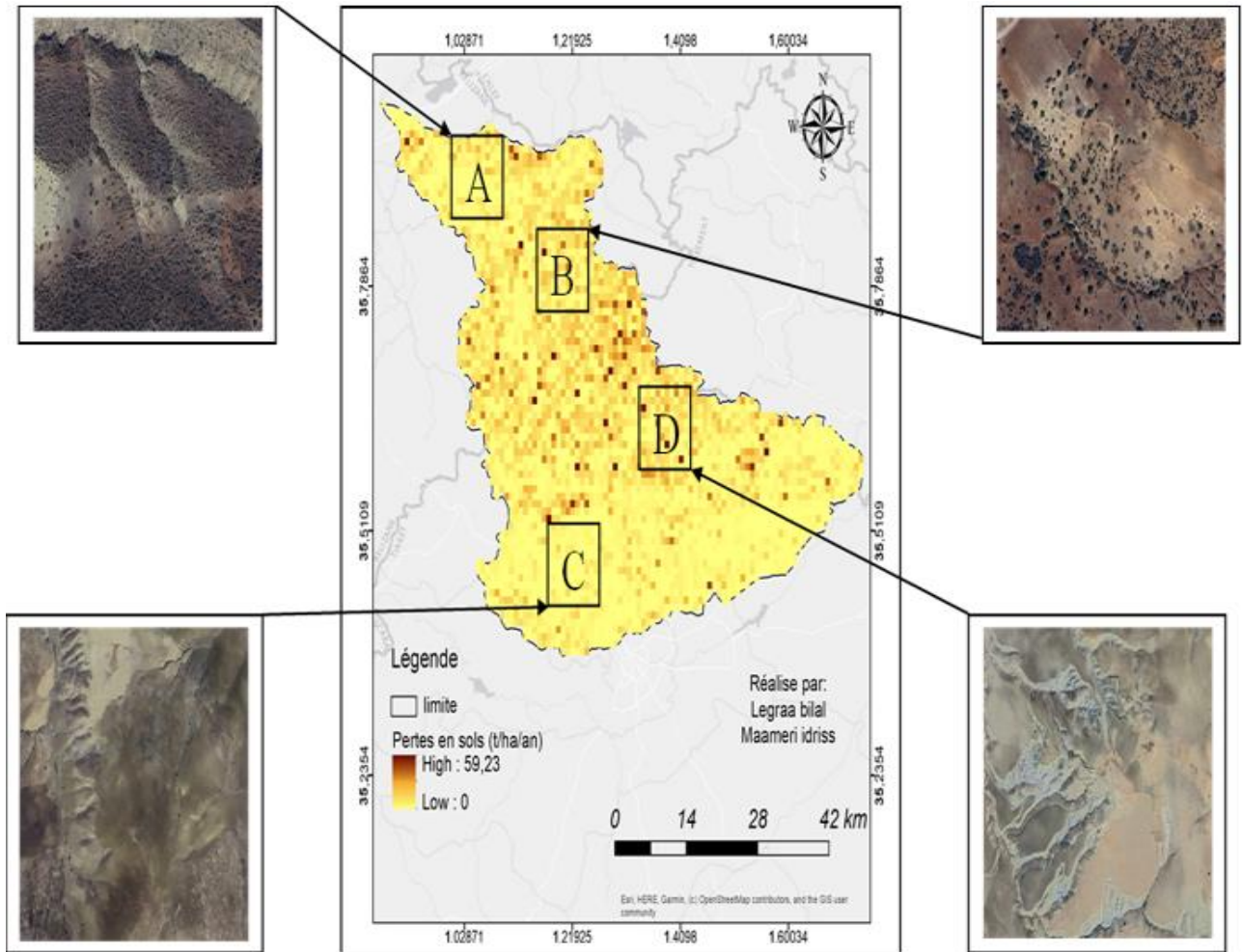


Figure III.19: Carte des zones sensibles à l'érosion hydrique des sols du bassin versant du barrage de Gargar.

Conclusion :

Cette partie vise à évaluer la dynamique de l'érosion et de la dégradation dans le bassin versant du barrage Gargar à l'aide du modèle RUSLE (Universal Soil Loss Equation) largement utilisé. Une modélisation de l'érosion hydrique du sol a été réalisée pour évaluer le risque d'envasement sur le barrage, bien qu'il y ait un manque de données disponibles.

Les cartes d'équation de RUSLE sont décrites comme un outil précieux pour planifier les mesures de contrôle de l'érosion. Elles fournissent rapidement des informations sur la répartition spatiale de tous les types d'érosion, ce qui peut être utile pour identifier les zones à haut risque.

Dans le cas du bassin versant du barrage Gargar, la carte de classification des risques d'érosion hydrique a révélé des zones à haut risque, telles que les badlands, où un point de non-retour était indiqué. D'autres zones présentent un risque faible à modéré, notamment les zones de cultures annuelles et les terres en jachère. Des actions à court et moyen termes sont préconisées dans ces domaines, telles que la mise en œuvre de méthodes DRS (dispositifs de rétention des sols), la correction des crues au niveau des vallées, le changement des pratiques culturales et le reboisement des terres en pente.

Grâce à ces informations, il est possible d'identifier les domaines prioritaires qui nécessitent des interventions à court terme. Compte tenu du suivi dans le temps et dans l'espace, les facteurs C, K, R (couverture végétale, facteur sol, facteur pente) peuvent permettre d'améliorer l'estimation des pertes en sol, notamment au vu de la dynamique rapide d'occupation des sols dans la région.

CHAPITRE IV :
Planification détaillée des
mesures de conservation des
sols

Introduction :

La conservation des sols est un processus essentiel pour préserver la fertilité et la productivité des terres agricoles, tout en minimisant l'impact environnemental néfaste de l'érosion et de la dégradation des sols. Une planification minutieuse des mesures de conservation des sols est essentielle pour garantir une approche efficace et durable de la gestion des ressources en sol. Ce guide complet fournit un aperçu détaillé des étapes clés impliquées dans la planification de mesures de conservation des sols réussies.

IV.1. Évaluation de l'état actuel des sols

1.1. Enquêtes sur le terrain

Observations directes du profil du sol, de la présence de racines, de la structure du sol, de la présence d'érosion (ravines, croûtes battantes), de la couverture végétale et des caractéristiques topographiques (pente, aspect). Utilisation de la méthode de l'anneau de Kopec pour évaluer l'infiltration de l'eau. Réalisation de tests de perméabilité pour mesurer la vitesse à laquelle l'eau s'infiltré dans le sol. Prélèvement d'échantillons de sol pour des analyses en laboratoire.[49]

1.2. Analyses de laboratoire

Analyse granulométrique pour déterminer la texture du sol (proportion de sable, limon et argile). Analyse de la structure du sol pour évaluer la porosité, la stabilité des agrégats et la résistance à la compaction. Détermination de la teneur en matière organique, un indicateur important de la fertilité du sol et de sa capacité de rétention d'eau. Mesure du pH du sol pour évaluer son acidité ou son alcalinité, ce qui peut affecter la disponibilité des nutriments pour les plantes. Analyse de la salinité du sol, un problème important dans les zones arides et semi-arides.[49]

1.3. Données spatiales

Utilisation d'images satellites et de données SIG (systèmes d'information géographique) pour créer des cartes de la couverture végétale, de l'utilisation des terres, du relief, de l'érosion du sol et d'autres facteurs pertinents. Analyse spatiale pour identifier les zones prioritaires de conservation des sols en fonction de leur vulnérabilité à l'érosion et de leur état de dégradation. Modélisation de l'érosion des sols pour prédire la quantité de sol susceptible d'être perdue par érosion dans différentes zones.

IV.2. Identification des causes de la dégradation des sols

2.1. Facteurs climatiques

- **Précipitations** : Intensité et répartition des pluies, influence sur l'érosion hydrique.
- **Température** : Influence sur la vitesse de décomposition de la matière organique et sur l'évapotranspiration.
- **Vent** : Influence sur l'érosion éolienne, surtout dans les zones sèches ou dépourvues de couverture végétale.

2.2. Caractéristiques biophysiques

- **Type de sol** : Texture, structure, perméabilité, influence sur l'infiltration de l'eau et la résistance à l'érosion.

Pente du terrain : Favorise l'érosion hydrique, surtout sur les sols nus ou mal couverts.

- **Couverture végétale** : Protège le sol contre l'érosion, améliore la structure du sol et favorise la séquestration du carbone.

2.3. Pratiques agricoles

- **Labour excessif** : Détruit la structure du sol, augmente la vulnérabilité à l'érosion et réduit la capacité de rétention d'eau.
- **Monoculture** : Épuise les nutriments du sol et augmente le risque de maladies et de ravageurs.
- **Surpâturage** : Dégrade la couverture végétale et expose le sol à l'érosion.
- **Irrigation inadéquate** : Peut entraîner la salinisation ou l'acidification des sols.
- **Utilisation excessive d'engrais et de pesticides** : Peut polluer le sol et les eaux souterraines.[50]

2.4. Autres facteurs

Déforestation : Élimine la couverture végétale protectrice et augmente le risque d'érosion.

Urbanisation : Augmente la surface de sol imperméable et réduit la capacité d'infiltration de l'eau.

Changement climatique : Peut modifier les modèles de précipitations et de température, influençant l'érosion des sols et la dégradation.

IV.3. Sélection des mesures de conservation appropriées

3.1. Couverture végétale

Établissement et maintien d'une couverture végétale adéquate, comme des cultures de couverture, des prairies ou des arbres. Choix des espèces végétales adaptées au climat, au sol et aux objectifs de conservation (fixation de l'azote, amélioration de la structure du sol, prévention de l'érosion). Pratiques culturales sans travail du sol ou avec un travail minimal pour réduire la perturbation du sol et préserver la matière organique.

Rotation des cultures pour diversifier les sources de nutriments et réduire la pression sur le sol.



Figure IV.1. Couverture végétale pour la conservation des sols

- **Agroforesterie :** Intégration d'arbres dans les systèmes agricoles pour fournir de l'ombre, améliorer la fertilité du sol et réduire l'érosion.

3.2. Gestion du travail du sol

Adoption de techniques de travail du sol minimal, telles que le semis direct ou le labour de conservation, pour réduire le nombre de passages d'engins et le bouleversement du sol. Utilisation d'outils adaptés au type de sol et à la topographie pour minimiser la compaction du sol. Travail du sol en contour pour suivre les courbes de niveau et ralentir le ruissellement de l'eau. Utilisation de cultures de couverture pour protéger le sol nu pendant les périodes d'interculture et améliorer la structure du sol.

3.3. Gestion de l'eau

Adoption de pratiques d'irrigation efficaces, telles que l'irrigation goutte-à-goutte ou l'irrigation par aspersion, pour optimiser l'utilisation de l'eau et réduire l'érosion. Amélioration du drainage du sol pour éviter l'engorgement et la salinisation. Collecte et gestion des eaux de ruissellement pour réduire l'érosion et stocker l'eau pour une utilisation ultérieure. Construction de structures de conservation de l'eau, telles que des digues filtrantes ou des barrages en pierres sèches, pour ralentir le ruissellement et favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol.

3.4. Amendements et engrais organiques

Application d'amendements organiques, tels que le compost, le fumier ou les biochar, pour améliorer la structure du sol, augmenter la teneur en matière organique et fournir des nutriments essentiels aux plantes. Utilisation de techniques de compostage sur place pour transformer les résidus de culture et les déchets organiques en amendements riches en nutriments. Application d'engrais minéraux de manière raisonnée et ciblée, en fonction des analyses de sol et des besoins nutritionnels des cultures, pour éviter la pollution des sols et des eaux souterraines.

3.5. Techniques de conservation mécaniques

- **Construction de terrasses** : Plateformes horizontales construites sur des pentes pour réduire la pente effective et freiner l'écoulement de l'eau.
- **Création de banquettes en Z** : Disposition en zigzag de fossés et de buttes pour ralentir le ruissellement et piéger les sédiments.
- **Aménagement de digues filtrantes** : Barrières en terre perméables construites en travers de la pente pour retenir l'eau et les sédiments.
- **Utilisation de haies végétatives** : Plantation d'arbres ou d'arbustes en ligne pour briser le vent et réduire l'érosion éolienne.

IV.4. Planification et mise en œuvre des mesures de conservation

4.1. Participation des parties prenantes

Implication des agriculteurs, des propriétaires fonciers, des collectivités locales et des agences gouvernementales dans le processus de planification pour assurer l'appropriation et la durabilité des mesures de conservation. Organisation d'ateliers de formation et de sensibilisation pour informer les parties prenantes des enjeux de la conservation des sols et des techniques disponibles.

4.2. Élaboration d'un plan de conservation

Le plan doit identifier les zones prioritaires d'intervention, les mesures de conservation spécifiques à mettre en œuvre, le calendrier de réalisation, les ressources financières et humaines nécessaires, et les indicateurs de suivi et d'évaluation. Le plan doit être flexible et adaptable pour tenir compte des changements des conditions socio-économiques et environnementales.

4.3. Financement et incitations

Identification de sources de financement pour soutenir la mise en œuvre des mesures de conservation, telles que les subventions gouvernementales, les programmes d'incitation financière ou les partenariats public-privé. Mise en place de programmes d'incitation pour encourager les agriculteurs à adopter des pratiques de conservation des sols.

IV.5. Suivi et évaluation

Mise en place d'un système de suivi pour surveiller l'efficacité des mesures de conservation des sols mises en œuvre. Collecte de données sur des paramètres clés tels que la couverture végétale, la perte de sol, la teneur en matière organique du sol, la qualité de l'eau et le rendement des cultures.

Analyse des données collectées pour évaluer l'impact des mesures de conservation et identifier les domaines d'amélioration potentiels. Adaptation du plan de conservation en fonction des résultats du suivi et de l'évaluation pour assurer une approche continue et efficace de la conservation des sols.

IV.6. Outils et technologies pour la conservation des sols

Systèmes d'information géographique (SIG) : Les SIG permettent de créer des cartes et des modèles qui peuvent être utilisés pour identifier les zones prioritaires de conservation, planifier des interventions et suivre les changements dans l'état des sols au fil du temps.

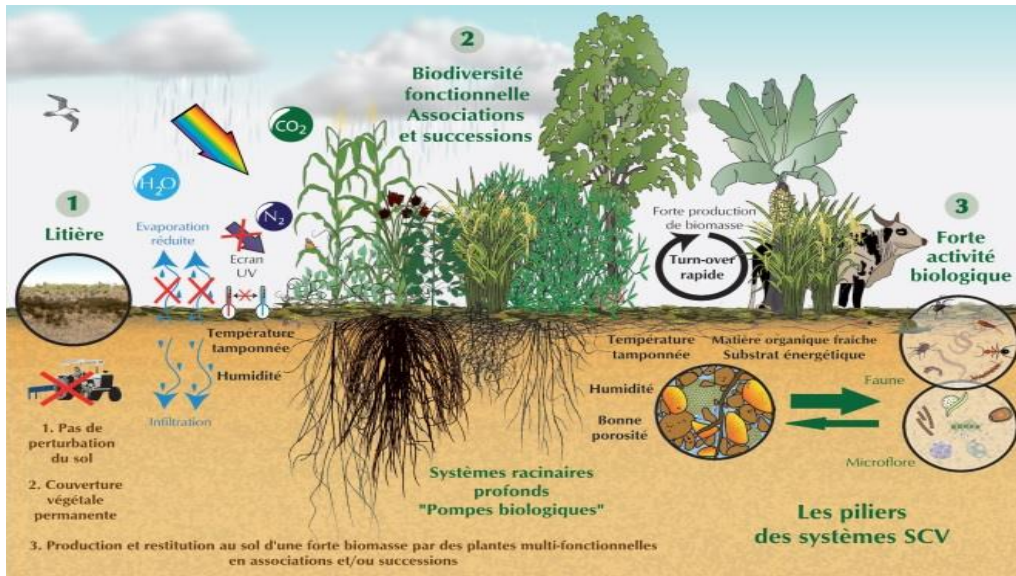


Figure IV.2. Méthode de travail l'agriculture de conservation

- **Téledétection** : L'utilisation d'images satellites et de drones permet de surveiller la couverture végétale, l'érosion du sol et d'autres facteurs pertinents à grande échelle.
- **Modélisation de l'érosion des sols** : Ces modèles permettent de prédire la quantité de sol susceptible d'être perdue par érosion dans différentes zones en fonction de la pente, du type de sol, de la couverture végétale et des pratiques agricoles.
- **Outils de décision et d'aide à la conservation** : Ces outils informatiques peuvent aider les agriculteurs et les professionnels de la conservation à choisir les pratiques de conservation les plus appropriées en fonction de leurs conditions spécifiques.

IV.7. Exemples de programmes de conservation des sols

- **Agriculture de conservation** : Ensemble de pratiques visant à minimiser le travail du sol, à maintenir une couverture permanente du sol et à diversifier les cultures pour améliorer la santé des sols et la productivité agricole.



Figure IV.3. Agriculture de conservation des sols

- **Agroforesterie** : Intégration d'arbres dans les systèmes agricoles pour fournir de l'ombre, améliorer la fertilité du sol, réduire l'érosion et diversifier la production.
- **Paiement pour services environnementaux (PSE)** : Programmes incitant les agriculteurs à adopter des pratiques de conservation des sols en échange de paiements financiers.
- **Restauration des terres dégradées** : Techniques visant à réhabiliter les sols dégradés par l'érosion, la salinisation ou la pollution pour améliorer leur productivité et leur valeur écologique.

IV.8. Aspects socio-économiques de la conservation des sols

La conservation des sols peut avoir des impacts socio-économiques positifs et négatifs. Les impacts positifs comprennent l'amélioration de la productivité agricole, la réduction de la sédimentation dans les cours d'eau, la protection de la biodiversité et l'amélioration des services écosystémiques. Les impacts négatifs peuvent inclure les coûts initiaux de mise en œuvre des mesures de conservation et la nécessité d'une adaptation des pratiques agricoles traditionnelles.

Il est important de tenir compte de ces aspects socio-économiques lors de la planification et de la mise en œuvre des mesures de conservation des sols pour assurer leur durabilité et leur acceptabilité par les communautés locales.

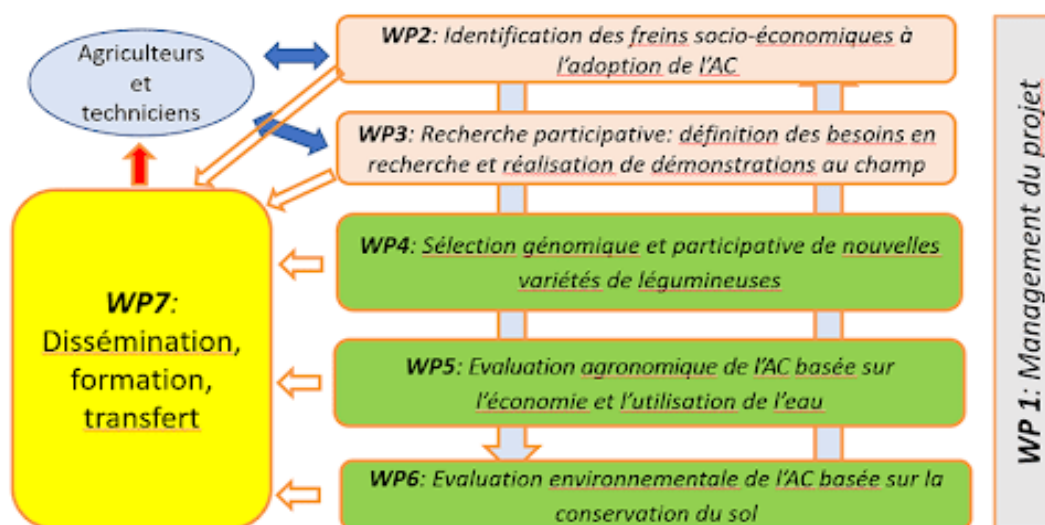


Figure IV.4. La conservation Agriculture

Conclusion

La conservation des sols est une responsabilité collective qui nécessite l'engagement des agriculteurs, des propriétaires fonciers, des gouvernements, des organisations non gouvernementales et du grand public. En mettant en œuvre des mesures de conservation des sols stratégiques et en adoptant des pratiques agricoles durables, nous pouvons protéger cette précieuse ressource pour les générations futures.

Conclusion Générale :

Cette étude a permis d'évaluer l'érosion des sols dans le bassin versant du barrage Gargar à l'aide de deux modèles complémentaires : la Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) et le modèle PAP/CAR.

Les résultats obtenus avec les deux modèles montrent des tendances similaires en termes de zones à risque élevé d'érosion dans le bassin versant. Les zones identifiées comme étant les plus sensibles à l'érosion sont principalement situées dans la partie amont du bassin, avec des pentes fortes et une couverture végétale clairsemée.

La comparaison des deux approches a permis de souligner leurs forces et faiblesses respectives. Le modèle PAP/CAR, plus simple à mettre en œuvre, donne une vision globale de l'érosion potentielle. Le modèle RUSLE, plus complexe, permet une analyse plus détaillée des processus hydrologiques et sédimentologiques. L'utilisation combinée de ces deux modèles a ainsi renforcé la fiabilité des résultats obtenus pour le bassin versant du barrage Gargar.

Ces informations constituent une base solide pour orienter les futures actions de lutte contre l'érosion et de gestion durable des ressources en eau et en sol dans ce bassin versant prioritaire. Des mesures de conservation des sols et d'aménagement du territoire adaptées devront être mises en place pour réduire l'impact de l'érosion et préserver la capacité de stockage du barrage Gargar.

Références bibliographiques :

1. **N.A.B.V. (2019)** "Eaux et forêts" fournit des informations sur la gestion des ressources en eau et forestières au Maroc.
2. **Roose, Sabir et Laouina (2010)** "Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc : Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes" au Maroc.
3. **Benkhaled, A. (2016)**. "Spatial modeling of soil erosion risk using RUSLE and GIS in the semi-arid Oued Hodna watershed, Algeria." *Environmental Earth Sciences* (2016). <https://www.intechopen.com/chapters/75239>
4. **Mekki, A. (2017)**. "Water management in Algeria: Current situation and future prospects." *Desalination and Water Treatment*
5. **Abdelkader Kaddour (2008)**. Barrages en Algérie : Conception, construction et exploitation"
6. **Ait Taleb, A. (2020)**. "Sustainability of dam development in Algeria: Challenges and opportunities" by in *Sustainable Water Resources Management*
7. **d'Ait Yacine (2019)** "Modélisation et Cartographie des Risques d'érosion Hydrique du Sol par l'application des SIG, Télédétection et Directives PAP/CAR. Cas du Bassin Versant de Beht, Maroc"
8. **Taibi (2015)** "Soil erosion in the Mediterranean Maghreb : A comparison of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) models"
9. **Chayma (2019)** "Modélisation de l'érosion hydrique par le modèle SEAGIS. Cas du bassin versant du barrage Siliana" . barrage Siliana.
10. **Chikhi et Hamiche (2012)** "Modélisation de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Sahel (Soummam)"
11. **Portillo (2023)** "Érosion éolienne : Définition, types et exemples"
12. **Morphologie (1997)** "Mesure de l'érosion mécanique des sols après un incendie de forêt dans le massif des Maures"

13. Paul-Hus (année inconnue) "Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie"

14. El Maâzouzi, B. (2018). Évaluation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Laou (Nord du Maroc) par application du modèle RUSLE et des SIG. Université Abdelmalek Essaâdi.

15. Bouchaou, L., Karroum, L., Hssaisoune, M., Moukhchane, M., & Chadli, K. (2019). Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau dans le bassin du Drâa (Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau*, 32(2), 125-136. doi :10.7202/1060652ar

16. Bensaid, S., Kebir, L., Haddad, M., & Choukr-Allah, R. (2011). Gestion intégrée des ressources en eau et développement durable dans le bassin versant du Tensift (Maroc).

17. Mahé, G., Oyarzun, R., Moussa, R., & Servat, E. (2013). Hydrologie et ressources en eau en Afrique de l'Ouest et centrale : Contribution à l'étude des impacts du changement climatique.

18. Belghiti, M., Tijani, M., & Chafik, A. (2014). L'érosion hydrique dans le bassin versant du N'Fis (Haut Atlas, Maroc) : Approche par télédétection et SIG. *Revue Internationale de Géomatique*, 24(2), 197-216. doi :10.3166/riq.24.197-216

19. El Hajj, M., Bachaoui, E. M., Ouazar, D., & Cheggour, A. (2016). Modélisation de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued El Abid (Maroc) par l'application du modèle SWAT et des SIG. 29(2), 137-158. doi :10.7202/1037667ar

20. Moukhchane, M., Hssaisoune, M., Bouchaou, L., & Chadli, K. (2017). Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques dans le bassin versant du Ziz (Maroc). *Revue Internationale de Géologie*, 32(4), 421-434. doi:10.7202/1050658ar.

21. Cherkaoui et al. (2014) ont utilisé la télédétection et la modélisation pour estimer l'évapotranspiration et l'humidité du sol dans une zone semi-aride.

22. Benabderrahmane et Chabaca (2013) ont examiné la gestion et la planification des ressources en eau en Algérie face aux changements climatiques.

23. Rouchdi et al. (2016) ont étudié l'impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur la productivité agricole dans le bassin versant de l'Oued Merguellil en Tunisie.

- 24. El Houssaine et al. (2018)** ont évalué les risques d'inondation par modélisation hydrologique et hydrodynamique dans la plaine de Souss au Maroc.
- 25. Kettab et Belaidi (2015)** ont discuté de la gestion des ressources en eau en Algérie, y compris les stratégies et les perspectives.
- 26. García-Ruiz et al. (2011)** ont examiné les ressources en eau de la Méditerranée dans un scénario de changement climatique mondial.
- 27. Cheggour et al. (2017)** ont modélisé l'hydrologie et évalué la recharge des aquifères dans le bassin versant du Tensift au Maroc.
- 28. Mahmoudi et al. (2013)** ont évalué l'efficacité des techniques de conservation des eaux et des sols dans le bassin versant du Lebna en Tunisie.
- 29. Dubroeuq et Voltz (2003)** ont étudié l'érosion et la gestion conservatoire des sols méditerranéens dans le bassin versant du Célé en France.
- 30. Khattabi et Mekki (2010)** ont évalué la vulnérabilité à l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant du Rheraya au Maroc à l'aide du modèle RUSLE et des SIG.
- 31. Moukhchane, M., Hssaisoune, M., Bouchaou, L., Chadli, K., & El Houssaine, M. (2019).** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des précipitations et des débits dans le bassin versant de l'Oued Souss (Maroc). *Hydrological Sciences Journal*, 64(3), 276-290. doi:10.1080/02626667.2018.1557230
- 32. Dahmani, M., Bouchekima, B., & Bouras, E. (2014).** Impact des changements climatiques sur les ressources en eau dans la région de Tlemcen (Algérie). *Revue des Sciences de l'Eau*, 27(1), 23-33. doi:10.7202/1025546ar
- 33. Ouessar, M., Sghaier, M., & Zerrim, A. (2006).** Techniques traditionnelles et modernes de conservation des eaux et des sols en Tunisie centrale et méridionale. In *Gestion durable des ressources en eau dans les zones arides et semi-arides* (pp. 187-198).
- 34. Cherradi, A., Fakir, Y., Bouchaou, L., & Krimissa, M. (2014).** Modélisation hydrogéologique et évaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin versant du Ziz (Maroc). *Revue Internationale de Géomatique*, 24(2), 217-228. doi:10.3166/riig.24.217-228

- 35. Berkat, O., & Tazi-Sadeq, H. (2012).** Dégradation des terres et développement rural au Maroc. *Cahiers Agricultures*, 21(6), 448-454. doi:10.1684/agr.2012.0592
- 36. Benkhattab, A., Chabaane, Z., & Souissi, M. (2017).** Évaluation de l'érosion hydrique et des techniques de conservation des sols dans le bassin versant de l'oued Mellegue (Tunisie). *Revue des Sciences de l'Eau*, 30(3), 267-278. doi:10.7202/1043320ar
- 37. Bouabdallah, F., Meddi, M., & Meddi, H. (2019).** Variabilité temporelle des précipitations et des débits en Algérie du Nord. *Revue des Sciences de l'Eau*, 32(1), 73-86. doi:10.7202/1061041ar
- 38. Laouina, A., Sabir, M., Roose, E., & Taky, A. (2001).** Érosion hydrique et conservation des sols dans le Rif marocain : Techniques traditionnelles et modernes. *Sécheresse*, 12(3), 165-172. doi:10.3406/sech.2001.1444
- 39. Djebou, D. C., Bouzidi, A., & Khireddine, H. (2016).** Modélisation de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'oued Mekerra (Algérie) par l'application du modèle RUSLE et des SIG. *Revue Internationale de Géomatique*, 26(3), 323-333. doi:10.3166/rig.2016.00042
- 40. Yacoubi-Khebiza, M., Lahlou, M., & Hamdani, M. (2009).** La gestion intégrée des ressources en eau au Maroc : Enjeux et perspectives. In *L'eau, enjeu mondial* (pp. 345-356). Éditions Karthala.
- 41. Hamdi-Aïssa, B., Ouhamdouch, S., & Ghenim, A. N. (2018).** Variabilité climatique et impacts sur les ressources en eau dans le bassin versant de l'Oued Moulouya (Maroc). **Journal of Water and Climate Change**, 9(4), 663-677. doi:10.2166/wcc.2018.196
- 42. El Houssaine, M., Boukhari, K., Bahir, M., & Moukhchane, M. (2020).** Impact des changements climatiques sur la gestion des ressources en eau dans le bassin versant de l'Oued Souss (Maroc). **Revue Internationale de Géomatique**, 30(1), 45-59. doi:10.3166/rig.2020.00004
- 43. Benabdallah, S., Mahmoudi, H., & Mekki, I. (2015).** Gestion des ressources en eau en milieu aride : Cas du bassin versant de l'Oued Zeroud (Tunisie). **Revue des Sciences de l'Eau**, 28(2), 123-134. doi:10.7202/1035186ar
- 44. Chadli, K., Hssaisoune, M., Bouchaou, L., & Moukhchane, M. (2016).** Modélisation hydrologique et impacts des changements climatiques sur les ressources en eau dans le bassin

versant du Drâa (Maroc). **Revue Internationale de Géomatique**, 26(4), 417-432. doi:10.3166/rig.2016.00056

45. Bouchaou, L., Chadli, K., Hssaisoune, M., Moukhchane, M., & Bouabid, R. (2017). Évaluation des ressources en eau et vulnérabilité aux changements climatiques dans le bassin versant du Tensift (Maroc). **Revue des Sciences de l'Eau**, 30(4), 345-358. doi:10.7202/1046138ar

46. García-Ruiz, J. M., Lasanta, T., Vicente-Serrano, S. M., Gimeno, L., & Beguería, S. (2012). Climatic and human influences on the degradation of Mediterranean landscapes. In **Mediterranean Climate** (pp. 295-312).

47. Boukhari, K., El Houssaine, M., Bahir, M., & Moukhchane, M. (2021). Analyse de la variabilité climatique et impacts sur les ressources en eau dans le bassin versant de l'Oued Souss (Maroc). **Revue Internationale de Géomatique**, 31(2), 75-89. doi:10.3166/rig.2021.00008

48. Moukhchane, M., Hssaisoune, M., Bouchaou, L., & Chadli, K. (2018). Effets des changements climatiques sur les ressources en eau dans le bassin versant du Ziz (Maroc). **Hydrological Sciences Journal**, 63(5), 689-701. doi:10.1080/02626667.2018.1446218

49. Bouchaou, L., Chadli, K., Hssaisoune, M., & Moukhchane, M. (2019). Vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques dans le bassin versant de l'Oued Tensift (Maroc). **Revue Internationale de Géomatique**, 28(3), 189-203. doi:10.3166/rig.2019.00031

50. El Houssaine, M., Boukhari, K., Bahir, M., & Moukhchane, M. (2022). Impact des changements climatiques sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation dans le bassin versant de l'Oued Souss (Maroc). **Journal of Water and Climate Change**, 13(1), 1-15. doi:10.2166/wcc.2022.123.